

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства»
(ПГУАС)

А.И. Еремкин, С.В. Баканова

ОТОПЛЕНИЕ

Учебно-методическое пособие
к лабораторным работам
по направлению подготовки 08.03.01 «Строительство»

Пенза 2016

УДК 697.921, 452+621. 65(075.8)

ББК 38.672.2+31.76+31.56я73

Е70

Рекомендовано Редсоветом университета
Рецензент – доктор технических наук, профессор
кафедры «Теплогазоснабжение и вентиляция» А.Г. Аверкин (ПГУАС)

Еремкин А.И.

Е70 Отопление: учеб.-метод. пособие к лабораторным работам по направлению подготовки 08.03.01 «Строительство» / А.И. Еремкин, С.В. Баканова. – Пенза: ПГУАС, 2016. – 60 с.

Изложены основы наладки и эксплуатации систем отопления. Приведена методика проведения лабораторных работ, включающих элементы учебной научно-исследовательской работы студентов (УНИРС).

Учебно-методическое пособие подготовлено на кафедре теплогазоснабжения и вентиляции, предназначено для использования студентами, обучающимися по направлению подготовки 08.03.01 «Строительство», при изучении дисциплины «Отопление».

© Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства, 2016

© Еремкин А.И., Баканова С.В., 2016

ПРЕДИСЛОВИЕ

В настоящем учебно-методическом пособии обобщен опыт проведения лабораторных занятий со студентами по курсу «Отопление» на кафедре «Теплогазоснабжение и вентиляция» Пензенского государственного университета архитектуры и строительства.

Учебно-методическое пособие подготовлено с учетом современной методологии в области создания микроклимата помещений и обеспечения технического уровня оборудования, производимого отечественными и зарубежными фирмами.

Представлены лабораторные стенды для проведения лабораторных работ.

Перечень и содержание лабораторных работ, приведенных в настоящем пособии, соответствуют основной образовательной программе в части требования подготовки бакалавров по направлению 08.03.01 «Строительство».

В описании лабораторной работы приведены: цель работы; краткие теоретические сведения по рассматриваемой проблеме; перечень приборов и принадлежностей, используемых при выполнении опытов; устройство и принцип действия лабораторной установки (стенда); последовательность выполнения экспериментальных исследований; порядок обработки полученных результатов и форма их представления.

В конце каждой лабораторной работы даны контрольные вопросы для самоподготовки.

Выполненная лабораторная работа должна быть оформлена в соответствии с требованиями внутреннего стандарта, после чего преподаватель проводит собеседование.

К выполнению лабораторных работ допускаются студенты, прошедшие вводный инструктаж и инструктаж на рабочем месте по технике безопасности и противопожарной безопасности.

При подготовке учебно-методического пособия использовались труды ведущих учёных, основоположников специальности «Теплогазоснабжение и вентиляция» А.И. Сканина, В.Н. Богословского, Е.Я. Соколова, О.Я. Кокорина, Б.А. Пермякова, Ю.Я. Кувшинова, Г.Н. Делягина и др.

В результате выполнения лабораторных работ по дисциплине «Отопление» студент должен **знать** особенности режимов работы различных систем отопления и пути повышения их надежности и эффективности, а также современные конструкции отопительного

оборудования, тенденции его совершенствования, направления и перспективы развития данной отрасли строительной индустрии.

На базе полученных знаний студент должен **уметь** выбирать соответствующие современные и эффективные способы отопления здания в зависимости от его назначения, архитектурных особенностей и конструкций, размещать в нем отопительное оборудование и конструировать систему отопления.

В результате выполнения лабораторных работ студент обязан **овладеть** навыками выполнения теплового и гидравлического расчетов систем отопления, подбора оборудования с использованием действующей нормативной документации и справочной литературы.

Над пособием работали д.т.н., профессор А.И. Еремкин и к.т.н., доцент С.В. Баканова – преподаватели кафедры «Теплогазоснабжение и вентиляция» Пензенского государственного университета архитектуры и строительства.

Авторы выражают искреннюю признательность за ценные замечания и советы, сделанные при рецензировании учебно-методического пособия, д.т.н., профессору Аверкину А.Г.

Лабораторная работа № 1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ВОДЫ, ВЫНОСЯЩЕЙ ПУЗЫРЬКИ ВОЗДУХА, ПРИ РАЗЛИЧНЫХ УКЛОНАХ ТРУБ

Цель работы – определить скорость движения пузырьков воздуха, содержащихся в воде, при различных уклонах труб.

Для установок отопления в качестве теплоносителя может применяться любая жидкая или газообразная среда, которая удовлетворяет ряду специфических требований:

- максимально аккумулирует тепло;
- транспортабельна;
- имеет низкую стоимость;
- допускает возможность регулирования тепловых параметров.

В современных отопительных системах широко применяются: вода, водяной пар, атмосферный воздух и газы, образованные продуктами сгорания. Наиболее полно перечисленным требованиям удовлетворяет вода, которая является основным видом теплоносителя.

Скорость движения воды по трубам отопительных систем изменяется от сотых долей метра в секунду до максимально допустимой – 1,5 м/с [2].

От величины скорости и от уклона труб зависят условия удаления из системы воздуха, который оказывает отрицательное действие на ее работу. Чем больше скорость, тем меньший уклон необходим для удаления воздуха. При скорости воды около 0,25 м/с допускается уклон не предусматривать [3]. Поэтому важно знать, при каких сочетаниях величин скоростей движения воды и уклонов труб начинается транспортирование (вынос) пузырьков воздуха. Величины уклонов в практике предусматриваются от 0,01 до 0,002.

Выполнение работы происходит в два этапа: сначала производятся экспериментальные замеры, а затем обработка полученных данных с построением графика и определением величины ошибки в одной из серий замеров.

Описание лабораторной установки

Схема лабораторного стенда показана на рис. 1.1. Он состоит из резервуара 1 вместимостью 10 литров, в который заливается вода. Уровень воды контролируется по шкале 2, протарированной в литрах. Стеклообразная труба 3 имитирует трубопровод. Ее уклон устанавливается регулируемой подставкой 4. На конце трубы установлен вентиль 5,

который служит для регулирования расхода, а следовательно, и скорости воды через трубу.

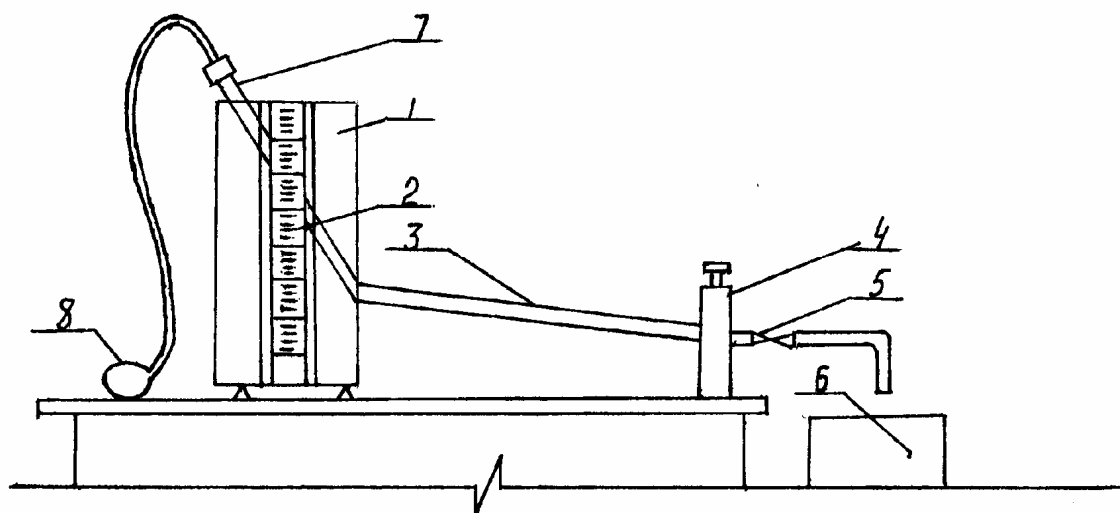


Рис. 1.1. Схема экспериментального стенда для определения скорости воды при различных уклонах труб

Для приема отработанной воды предусмотрен резервуар 6. Пузырьки воздуха вводятся в начальный участок трубы с помощью резиновой трубки 7 и резиновой груши 8.

Порядок выполнения работы

Для выполнения работы на установке необходимо иметь секундомер, рулетку и штангенциркуль.

Сначала нужно заполнить водой резервуар, измерить наружный диаметр стеклянной трубы и установить с помощью регулируемой подставки один из исследуемых уклонов. Уклон определяется отношением превышения одного конца трубы над другим к ее длине. Величины диаметра, превышений и длины заносят в табл. 1.1.

С помощью резиновой груши в начало стеклянной трубы запускается пузырек воздуха. Медленно открывая вентиль, добиваются такой скорости воды, при которой пузырек начинает плавно передвигаться по трубе. С момента начала движения пузырька вентиль оставляют в данном открытом положении, засекают время по секундомеру, определяют уровень воды по шкале на данный момент. Через 4-5 секунд фиксируют установившийся уровень воды в резервуаре. Уровень воды и время истечения заносят в табл. 1.1. Затем вентиль закрывают. Описанные действия экспериментатора определяют выполнение одного замера. В таком же порядке производят еще не менее 3-х замеров при

установленном уклоне. После выполнения первой серии замеров уклон с помощью регулируемой подставки изменяют и переходят ко второй серии замеров. Всего рекомендуется проводить четыре серии замеров, после чего можно приступать к обработке результатов.

Т а б л и ц а 1.1

Номер серии опытов	Номер опыта в каждой серии	Наружный диаметр трубы, мм	Длина трубы l , м	Высота начальной точки трубы, мм	Высота конечной точки трубы, мм	Превышение одного конца трубы над другим Δh , мм	Уровень воды в начале замера, л	Уровень воды в конце замера, л	Время истечения, с
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Обработка результатов опытов

По данным табл. 1.1 вычисляют внутреннее поперечное сечение стеклянной трубы как разность площадей, определяемых по наружному диаметру и внутреннему. Толщина стенки трубы 3 мм.

По разности уровней в резервуаре (графы 8 и 9 табл. 1.1) определяют объем воды, вытекающей из резервуара. По объему воды, внутреннему поперечному сечению трубы и времени истечения (графа 10 табл. 1.1) вычисляют скорость воды в трубе:

$$v = \frac{V}{1000Ft}, \quad (1.1)$$

где v – скорость воды в стеклянной трубе, м/с;

V – объем воды, вытекающей из резервуара;

F – внутреннее поперечное сечение стеклянной трубы, м²;

t – время истечения, с.

Далее находят уклон трубы:

$$i = \frac{\Delta h}{l}, \quad (1.2)$$

где i – уклон трубы;

Δh – превышение одного конца трубы над другим, мм;

l – длина трубы, мм.

Вычисленные величины внутреннего поперечного сечения трубы, объема воды, вытекающей из резервуара, скорости истечения и уклонов трубы заносят в табл. 1.2.

Таблица 1.2

Номер серии опытов	Номер опыта в каждой серии	Внутреннее поперечное сечение F трубы, м^2	Объем воды V , вытекающей из резервуара, л	Скорость истечения v_i в каждом опыте, м/с	Среднее значение скорости \bar{v} в каждой серии, м/с	Отклонение $v_i - \bar{v}$ в каждом опыте, м/с	Уклон трубы i
1	2	3	4	5	6	7	8

Далее находят ошибку определения скорости и построения графика. Рассеивание случайной величины, каковой является ошибка данных измерений, определяется как среднее значение квадратов отклонений [1]:

$$\sigma_v^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (v_i - \bar{v})^2}{n-1},$$

где σ_v^2 – дисперсия серии замеров;

v_i – значение i -го замера скорости воды, м/с;

\bar{v} – среднее значение скорости воды, м/с;

n – число замеров в одной серии.

Положительное значение корня квадратного из дисперсии называется стандартным отклонением или искомой ошибкой серии замеров, как уже отмечалось выше:

$$\Delta v = \sqrt{\sigma_v^2},$$

где Δv – ошибка серии замеров.

Окончательное значение скорости в каждой серии замеров выражается формулой

$$v = \bar{v} \pm \Delta v.$$

По полученному значению скорости из каждой серии замеров строят график в координатах $v - i$.

Пример определения скорости воды и ошибки по одной серии замеров

Пусть значения измеренных величин равны указанным в табл. 1.3.

Таблица 1.3

Номер серии опытов	Номер опыта в каждой серии	Наружный диаметр трубы, мм	Длина трубы l , м	Высота начальной точки трубы, мм	Высота конечной точки трубы, мм	Превышение одного конца трубы над другим Δh , мм	Уровень воды в начале замера, л	Уровень воды в конце замера, л	Время истечения, с
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1	20	3	50	46	6	9,6	8,8	6
	2						8,6	8,2	4
	3						8,0	7,2	7
	4						7,0	6,5	5

По данным табл. 1.3 вычисляем значение величин для табл. 1.4.

Таблица 1.4

Номер серии опытов	Номер опыта в каждой серии	Внутреннее сечение F трубы, м ²	Объем воды, вытекающей из резервуара, л	Скорость истечения v_i в каждом опыте, м/с	Среднее значение скорости \bar{v} в каждой серии, м/с	Отклонения $v_i - \bar{v}$ в каждом опыте, м/с	Уклон трубы i
1	1	0,00016	0,8	0,8	0,688	+0,112	
	2	0,00016	0,4	0,62	0,688	-0,068	
	3	0,00016	0,8	0,71	0,688	+0,022	
	4	0,00016	0,5	0,62	0,688	-0,068	
				$\sum_1^4 v_i = 2,75$		$\sum_1^4 (v_i - \bar{v})^2 = 0,022$	

Площадь поперечного сечения

$$F = \frac{\pi d_{\text{в}}^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,014^2}{4} = 0,000154 \text{ м}^2.$$

Объем воды, вытекающей из резервуара:

$$V_1 = 9,6 - 8,8 = 0,8 \text{ л};$$

$$V_2 = 8,8 - 8,2 = 0,4 \text{ л};$$

$$V_3 = 8 - 7,2 = 0,8 \text{ л};$$

$$V_4 = 7 - 6,5 = 0,5 \text{ л.}$$

Скорость истечения воды

$$v_1 = \frac{V_i}{Ft_i \cdot 1000} = \frac{0,8}{0,000153 \cdot 6 \cdot 1000} = 0,8 \text{ м/с};$$

$$v_2 = \frac{0,4}{0,000153 \cdot 4 \cdot 1000} = 0,62 \text{ м/с};$$

$$v_3 = \frac{0,8}{0,000153 \cdot 7 \cdot 1000} = 0,71 \text{ м/с};$$

$$v_4 = \frac{0,5}{0,000153 \cdot 5 \cdot 1000} = 0,62 \text{ м/с.}$$

Дисперсия данной серии замеров

$$\sigma_v^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (v_i - \bar{v})^2}{n-1} = \frac{0,022}{4-1} = 0,007.$$

Ошибка данной серии

$$\Delta v = \sqrt{\sigma_v^2} = \sqrt{0,007} = 0,086 \text{ м/с.}$$

Окончательное значение скорости для данной серии

$$v = 0,687 \pm 0,086 \text{ м/с.}$$

Контрольные вопросы

1. Какие теплоносители используются для современных систем отопления?
2. Какие скорости циркуляции теплоносителя применяются в системах отопления?
3. От каких факторов зависит удаление воздуха из водяных систем отопления?
4. Каково назначение уклонов? Каковы величина и направление уклонов, применяемых в системах отопления?
5. Что определяет дисперсия?
6. Как найти ошибку опытов?

Лабораторная работа № 2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ВОЗДУХА В ВОДЕ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ

Цель работы – изучить процесс выделения растворенного в воде воздуха при различных температурах, построить кривую измерения растворимости воздуха в зависимости от температуры воды по полученным результатам опытов.

Воздух, попадающий в систему водяного отопления, оказывает отрицательное влияние на ее работу. Скопления воздуха в верхних частях системы (воздушные пробки) увеличивают сопротивление в трубах вплоть до полного прекращения циркуляции и вызывают шум при работе. Присутствие кислорода способствует коррозии металла труб, что приводит к сокращению срока службы систем.

Воздух попадает в систему отопления различными путями: частично остается в свободном состоянии в неровностях труб, отопительных приборов и другого оборудования; подсасывается при неправильной эксплуатации и неправильном монтаже систем; вносится водой в растворенном виде. Для того чтобы успешно вести борьбу с воздухом, необходимо знать количество воздушных поступлений.

Воздух, оставшийся в трубах и отопительных приборах при заполнении системы, не поддается точному учету, но может выноситься водой в воздухоотводящие устройства в начале эксплуатации [3]. Подсасывание воздуха можно ликвидировать правильной эксплуатацией и монтажом систем отопления.

Теоретические пояснения к работе

Вода обладает свойствами растворять газы атмосферного воздуха [4]: наиболее активно она растворяет углекислый газ, на втором месте стоит кислород, на третьем – азот и далее все остальные газы. Поэтому содержание кислорода в атмосферном воздухе и воздухе, выделенном из воды, различно. Это положение иллюстрируется данными табл. 2.1.

Т а б л и ц а 2 . 1

Наименование элементов	Содержание основных элементов, % по объему	
	в сухом атмосферном воздухе	в воздухе, растворенном в воде
Углекислый газ CO ₂	0,03	1,74
Азот N ₂	78,09	63,25
Кислород O ₂	20,95	36,01
Другие газы	0,93	-

По содержанию кислорода (см. табл. 2.1) видно, что «водяной» воздух более активен к коррозии, чем атмосферный.

Подпиточная водопроводная вода содержит около 30 граммов растворенного воздуха (точнее, газа) на 1 тонну. Для уменьшения содержания кислорода и углекислого газа вода в энергетических установках проходит специальную обработку – деаэрацию [5]. Процесс выделения растворенного воздуха интенсифицируется повышением температуры воды и уменьшением давления.

Зависимость поглощения газа (воздуха) в воде от давления с достаточной точностью можно выразить уравнением Генри [4], установленным для слабых растворов. Число молекул газа, попадающих в жидкость, пропорционально числу ударов (в 1 секунду) молекул газа о поверхность жидкости. Это число, в свою очередь, пропорционально (при заданной температуре) плотности газа, а следовательно, его давлению. Таким образом, массовая концентрация газа в растворе пропорциональна парциальному давлению этого же газа над раствором:

$$Y_1 = Y_d \frac{P_1}{P_d}, \quad (2.1)$$

где Y_1 – растворимость газа при данном давлении, г/кг;

Y_d – растворимость газа в воде при атмосферном давлении, г/кг;

P_1 – величина давления газа, Па, при котором определяется растворимость Y_1 ;

P_d – величина атмосферного давления, Па.

По уравнению (2.1) можно определить, что в местах с повышенным давлением выделение воздуха уменьшается или прекращается вовсе. Так, при значительном гидростатическом давлении в нижних частях системы многоэтажных зданий выделение воздуха прекращается уже при температуре около 100 °С. И наоборот, в верхних частях систем создаются наиболее благоприятные условия для этого процесса.

Понижение растворимости воздуха в воде наблюдается при повышении температуры воды. Так, при температуре воды, равной 5 °С, количество растворенного газа составляет около 33 г/т, а при 95 °С это количество сокращается до 3 г/т.

Использование деаэрированной воды уменьшает опасность коррозии, однако в системе может идти химическая реакция с образованием гидрата закиси железа $Fe(OH)_2$ и водорода [6]. Реакция эта медленная, но при длительной эксплуатации в системе появляются значительные количества твердых частиц и скопления водорода.

Описание лабораторной установки

Определение растворимости воздуха в зависимости от температуры в данной лабораторной работе производят на установке, показанной на рис. 2.1.

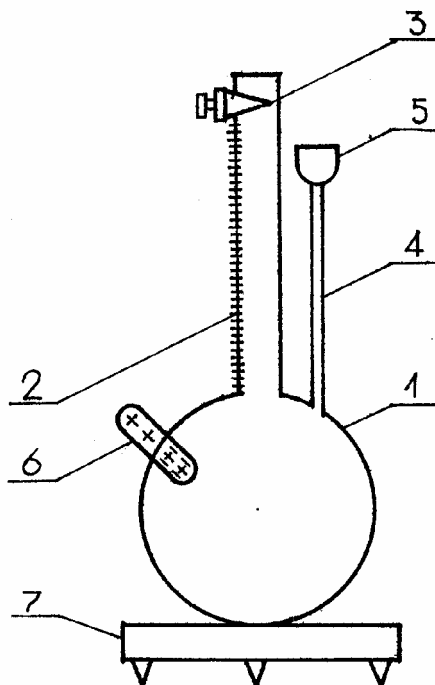


Рис. 2.1. Схема экспериментальной установки для определения содержания воздуха в воде в зависимости от температуры

Установка состоит из сосуда 1; стеклянной трубки 2 с делениями, предназначенной для наблюдения за уровнем воды; пробкового крана 3, служащего для отключения резервуара от сообщения с атмосферой; заправочной трубки 4 с воронкой 5. Для наблюдения за температурой воды в резервуар впаена гильза с термометром 6. Вода в сосуде нагревается на электрической плитке 7.

Правила безопасности при выполнении лабораторной работы

При работе на установке запрещается:

- а) включать электронагреватель без разрешения преподавателя или лаборанта;
- б) работать при неисправном электрическом кабеле (оголенные провода, искрение, появление дыма, гари);
- в) работать без заземления;
- г) передвигать сосуд с водой на плите во время его нагревания;
- д) сливать воду через верхнюю пробку;

- е) взвешивать сосуд с горячей водой;
- ж) оставлять включенной электроплитку после выполнения лабораторной работы.

При обнаружении неисправностей необходимо немедленно известить об этом преподавателя или лаборанта.

Последовательность выполнения первой части работы

Начинать работу необходимо только с разрешения преподавателя или лаборанта и выполнять в следующей последовательности:

- взвесить пустой сосуд (см. рис. 2.1);
- заполнить сосуд до верхней отметки на стеклянной трубке при открытом пробковом кране;
- взвесить сосуд вместе с водой и определить массу воды в сосуде;
- включить электрическую плитку и поставить на нее сосуд с водой;
- через каждые 4-5 минут снимать отсчет уровня воды по мерной стеклянной трубке и температуры воды по термометру, данные занести в табл. 2.2;
- при нагревании воды до температуры 95 °С замеры прекратить и выключить электроплитку;
- определить прирост объема воздуха в каждом замере;
- найти плотность воздуха при замеренной температуре (см. табл. 2.3) и занести в табл. 2.2;
- построить кривую растворимости воздуха, считая, что при 95 °С растворимость равна 3 мг/кг в координатах «температура – растворимость».

Т а б л и ц а 2 . 2

Номер наблюдения	Температура воды, °С	Отсчет по мерной трубке, см	Прирост объема воздуха, см	Плотность воздуха, кг/м ³	Величина растворимости, мг/кг
1	2	3	4	5	6
1					
2					
3					

Т а б л и ц а 2 . 3

Плотность воздуха при различных температурах

$t, ^\circ\text{C}$	$\rho, \text{кг/м}^3$	$t, ^\circ\text{C}$	$\rho, \text{кг/м}^3$
1	2	3	4
10	1,248	36	1,142
11	1,243	37	1,139
12	1,239	38	1,135

Окончание табл. 2.3

1	2	3	4
13	1,235	39	1,132
14	1,230	40	1,128
15	1,226	41	1,124
16	1,222	42	1,121
17	1,217	43	1,117
18	1,213	44	1,114
19	1,209	45	1,11
20	1,205	46	1,107
21	1,201	47	1,103
22	1,971	48	1,1
23	1,193	49	1,096
24	1,189	50	1,093
25	1,185	51	1,089
26	1,181	52	1,086
27	1,177	53	1,083
28	1,173	54	1,08
29	1,169	55	1,076
30	1,165	56	1,073
31	1,161	57	1,07
32	1,157	58	1,067
33	1,154	59	1,063
34	1,150	60	1,06
35	1,146		

Обработка опытных данных

На этапе обработки опытных данных задача состоит в том, чтобы по экспериментальным точкам (см. табл. 2.2) построить кривую, которая наиболее точно представляла бы искомую функциональную зависимость. Лучшим приближением будет кривая, сумма квадратов расстояний которой по вертикали от эксплуатационных точек до кривой будет минимальной [1]. Этот прием называется методом наименьших квадратов.

Для описания процесса выделения растворенного в воде воздуха наиболее близко подходит уравнение вида

$$y = a - b \ln x, \quad (2.2)$$

где y – растворимость воздуха в воде, мг/кг;

x – текущая температура воды, °С.

Чтобы пользоваться уравнением (2.2), нужно найти численные значения коэффициентов a и b .

Известно, что функция fx принимает минимальные значения при $x=x_{\min}$, тогда ее первая производная $f'(x)=\frac{dy}{dx}$ равна нулю, вторая производная $f''(x)=\frac{d^2y}{dx^2}$ положительна. Для функции многих переменных эти условия заменяются требованием, чтобы частные производные, т.е. производные по параметру x_i , удовлетворяли вышеупомянутым условиям, причем все остальные параметры $x_j(j \neq i)$ при вычислении производных считаются постоянными.

Запишем уравнение (2.2) в следующем виде:

$$a - b \ln x - y = 0. \quad (2.3)$$

Потребуем, чтобы сумма квадратов отклонений измеренных величин растворимости от вычисленных величин по соотношению (2.2) была наименьшей:

$$\sum_{i=1}^n (a - b \ln x_i - y_i)^2 = \min. \quad (2.4)$$

Из условия (2.4), дифференцируя его сначала по a , а затем по b , получим уравнения:

$$\begin{aligned} 2 \sum_{i=1}^n (a - b \ln x_i - y_i) &= 0; \\ 2 \sum_{i=1}^n (a - b \ln x_i - y_i) \ln x_i &= 0. \end{aligned} \quad (2.5)$$

После преобразования можно записать:

$$\begin{cases} na - b \sum_{i=1}^n \ln x_i - \sum_{i=1}^n y_i = 0, \\ a \sum_{i=1}^n \ln x_i - b \sum_{i=1}^n (\ln x_i)^2 - \sum_{i=1}^n y_i \ln x_i = 0, \end{cases} \quad (2.6)$$

где n – число наблюдений.

Из первого уравнения системы (2.6) выразим постоянную a :

$$a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i + \frac{b}{n} \sum_{i=1}^n \ln x_i. \quad (2.7)$$

Подставим выражение (2.7) во второе уравнение системы (2.6), получим соотношение

$$\frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n y_i \right) \left(\sum_{i=1}^n \ln x_i \right) + \frac{b}{n} \left(\sum_{i=1}^n \ln x_i \right)^2 - b \sum_{i=1}^n (\ln x_i)^2 - \sum_{i=1}^n y_i \ln x_i = 0. \quad (2.8)$$

Из него найдем коэффициент b . После преобразований

$$b = \frac{\sum_1^n y_i \ln x_i - \frac{1}{n} \left(\sum_1^n y_i \right) \left(\sum_1^n \ln x_i \right)}{\frac{1}{n} \left(\sum_1^n \ln x_i \right)^2 - \sum_1^n (\ln x_i)^2}. \quad (2.9)$$

Подставим выражение (2.9) для b в первое уравнение системы (2.6), найдем коэффициент a .

Последовательность выполнения второй части работы

Выполнить не менее десяти наблюдений растворимости воздуха в воде по методике, указанной в первой части лабораторной работы № 2.

Взять данные граф 2 и 6 табл. 2.2, занести результаты в графы 2 и 3 табл. 2.4.

По результатам наблюдений вычислить необходимые для дальнейших расчетов величины.

Подставить значения величин из табл. 2.4 в формулу (2.9), найти коэффициент b .

Подставить значения величин из табл. 2.4 и значение коэффициента b в формулу (2.7), и найти величину коэффициента a .

Т а б л и ц а 2 . 4

Номер наблюдения	Значения температуры X_i , °C	Значения растворимости Y_i , мг/кг	$\ln x_i$	$y_i \ln x_i$	$\left(\sum_1^n \ln x_i \right)^2$	$\sum_1^n (\ln x_i)^2$
1	2	3	4	5	6	7
Сумма						

Подставить значения коэффициентов в исходное равенство (2.2), построить график растворимости воздуха в воде в зависимости от температуры.

Пример определения содержания воздуха в воде в зависимости от температуры

При измерении растворимости воздуха в воде различной температуры были получены результаты, приведенные в графах 2 и 3 табл. 2.5.

Таблица 2.5

Номер наблюдения	Значения температуры X_i , °C	Значения растворимости Y_i , мг/кг	$\ln x_i$	$y_i \ln x_i$	$\left(\sum_1^n \ln x_i\right)^2$	$\sum_1^n (\ln x_i)^2$
1	2	3	4	5	6	7
1	5	36	1,609	57,92	1233,48	2,588
2	10	30	2,3	69	1233,48	2,289
3	20	25	1,995	74,87	1233,48	8,97
4	30	20	3,4	68	1233,48	11,56
5	40	18	1,688	66,38	1233,48	13,6
6	50	15	3,91	58,61	1233,48	15,288
7	60	12	4,09	49,08	1233,48	16,728
8	70	11	4,25	46,75	1233,48	18,06
9	80	8	4,38	35,04	1233,48	19,184
10	90	5	4,499	22,14	1233,48	20,24
Сумма	455	180	35,121	548,14	-	128,507

Определяем коэффициент b по выражению (2.9):

$$b = \frac{\sum_1^n y_i \ln x_i - \frac{1}{n} \left(\sum_1^n y_i \right) \left(\sum_1^n \ln x_i \right)}{\frac{1}{n} \left(\sum_1^n \ln x_i \right)^2 - \sum_1^n (\ln x_i)^2} = \frac{548,14 - 0,1 \cdot 180 \cdot 35,121}{0,1 \cdot 1233,48 \cdot 128,507} = \frac{-84,038}{-5,159} = 16,28.$$

Определяем коэффициент a по выражению (2.7):

$$a = \frac{1}{n} \sum_1^n y_i + \frac{b}{n} \sum_1^n \ln x_i = 0,1 \cdot 180 + 16,28 \cdot 0,1 \cdot 35,121 = 75,177.$$

Таким образом, исходное уравнение (2.2) с найденными коэффициентами имеет вид

$$y = 75,177 - 16,28 \ln x. \quad (2.10)$$

Результаты, вычисленные по уравнению (2.10), показаны в табл. 2.6.

Таблица 2.6

X_i , °C	10	20	30	40	50	60	70	80	90
Y_i , мг/кг	38,33	26,0	20,4	15,7	12,09	9,12	6,61	4,47	2,57

Контрольные вопросы

1. Чем опасно присутствие воздуха в трубах систем водяного отопления?
2. Какими путями воздух попадает в систему отопления?
3. От каких факторов зависит количество растворенного в воде воздуха?
4. Какой воздух активнее вызывает коррозию труб: атмосферный или содержащийся в воде? Почему?
5. Какие меры принимают в практике для уменьшения количества растворенного в воде воздуха?
6. Какие трубы активнее корродируют: расположенные в верхней или нижней части отопления? Почему?

Лабораторная работа № 3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ ОТОПИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

Цель работы – определить коэффициент теплопередачи алюминиевого радиатора и конвектора.

Передача тепла от теплоносителя (вода) в помещение идет через стенку отопительного прибора. Одной из главных характеристик теплотехнического качества отопительных приборов является коэффициент теплопередачи, который выражает плотность теплового потока на внешней поверхности стенки, отнесенную к разности температуры теплоносителя и воздуха, разделенных стенкой. Поэтому при оценке отопительных приборов вместе с другими показателями величина данного коэффициента является определяющей.

На величину коэффициента теплопередачи влияют конструктивные и эксплуатационные факторы: основные и дополнительные. К основным относятся: температурный напор, скорость движения теплоносителя по внутренним каналам отопительного прибора, скорость движения воздуха, омывающего наружную поверхность.

Температурный напор – это разность между средней температурой теплоносителя и температурой воздуха в помещении. Наибольшему температурному напору соответствует наивысшее значение коэффициента теплопередачи. Среднюю температуру теплоносителя в приборах принято вычислять как среднеарифметическую величину между температурами входа и выхода, хотя действительная средняя температура теплоносителя в приборе несколько ниже. Неточность особенно проявляется при фактических расходах, отличных от предполагаемых.

Скорость движения воды в приборе является функцией расхода теплоносителя. Изменение расхода влечет за собой изменение температурного поля на наружной поверхности отопительного прибора и в целом изменение средней температуры поверхности. Последнее приводит к изменению температурного напора и, следовательно, коэффициента теплопередачи.

Подвижность внутреннего воздуха для жилых, общественных и производственных помещений является величиной, ограниченной по санитарным нормам. Поэтому скорость воздуха у внешней поверхности приборов изменяется в небольших пределах и не является определяющей величиной для изменения коэффициента теплопередачи.

К дополнительным факторам относятся: место установки, конструкция ограждения отопительного прибора, характер циркуляции теп-

лоносителя (подача через верхнюю или нижнюю пробку), состав и цвет окраски поверхности.

Так, установка приборов в загроможденных местах, огораживание их декоративными решетками, покрытие внешней поверхности красками, обладающими пониженной излучательной способностью, подача теплоносителя через нижнюю пробку уменьшают величину коэффициента теплопередачи.

Вместе взятые дополнительные факторы могут очень сильно влиять на теплоотдачу отопительного прибора и даже превосходить отдельные основные факторы.

Учитывая вышесказанное, при экспериментальных испытаниях приборов, во избежание грубых ошибок, нужно стремиться к одинаковым условиям.

Теоретические основы работы

Коэффициент теплопередачи отопительного прибора численно равен величине, обратной общему термическому сопротивлению стенок прибора и пограничных слоев с внешней и внутренней сторон:

$$K_{\text{пр}} = \frac{1}{R_{\text{пр}}}. \quad (3.1)$$

Величина $R_{\text{пр}}$ складывается из сопротивления теплоотдачи $R_{\text{н}}$ у внешней поверхности стенки прибора, сопротивления теплоотдачи $R_{\text{в}}$ у внутренней поверхности и сопротивления теплопроводности стенки $R_{\text{ст}}$:

$$R_{\text{пр}} = R_{\text{н}} + R_{\text{ст}} + R_{\text{в}}.$$

Определение $R_{\text{н}}$ и $R_{\text{в}}$ является сложной экспериментальной задачей, выходящей за рамки настоящей работы. Поэтому для определения коэффициента теплопередачи удобнее использовать расчетное уравнение вида

$$K_{\text{пр}} = m \Delta t_{\text{пр}}^n \bar{G}^p, \quad (3.2)$$

где m, n, p – экспериментальные числовые показатели, выражающие влияние конструктивных и гидравлических особенностей прибора (характер циркуляции воды в приборе, схема присоединения к стояку) [3]; численные значения данных показателей приведены в табл. 3.1 для алюминиевого секционного радиатора и настенного конвектора;

Δt_{cp} – разность между средней температурой теплоносителя в отопительном приборе t_{cp} и температурой окружающего воздуха t_B :

$$\Delta t_{cp} = t_{cp} - t_B = 0,5(t_{вх} + t_{вых}) - t_B;$$

\bar{G} – относительный расход воды в приборе, связывающий изменение коэффициента теплопередачи с гидравлическим режимом в приборе и степенью равномерности температурного поля на внешней поверхности прибора. Относительный расход воды – это отношение действительного расхода воды $G_{пр}$ к номинальному расходу, принятому при тепловых испытаниях образцовых приборов:

$$\bar{G} = \frac{G_{пр}}{360}. \quad (3.3)$$

Т а б л и ц а 3 . 1

Тип отопительного прибора	Направление движения теплоносителя в приборе	Расход теплоносителя	n	p	m
Радиатор алюминиевый секционный	Сверху вниз	18-50	0,3	0,02	–
		54-536	0,3	0	–
		536-900	0,3	0,01	–
	Снизу вверх	18-61	0,25	0,12	–
65-900		0,25	0,04	–	
Конвектор настенный «Сантехпром» с кожухом		36-86	0,35	0,18	–
		90-900	0,35	0,07	–

Примечание. Численные значения коэффициента m в справочной литературе отсутствуют.

В случае определения коэффициента теплопередачи отопительного прибора по его тепловой мощности можно использовать помимо формулы (3.2) следующее уравнение [4]:

$$K_{пр} = \frac{Q_{пр}}{A \left[\left(\frac{t_{вх} + t_{вых}}{2} \right) - t_B \right]}, \quad (3.4)$$

где $K_{пр}$ – искомый коэффициент теплопередачи, Вт/(м²·К);

A – поверхность отопительного прибора, м²;

$t_{вх}, t_{вых}$ – температура теплоносителя соответственно на входе и на выходе отопительного прибора, К;

- $t_{\text{в}}$ – температура окружающего воздуха, К;
 $Q_{\text{пр}}$ – тепловая мощность отопительного прибора при данных условиях, Вт.

Таким образом, коэффициент теплопередачи любого отопительного прибора можно определить по двум вариантам: по температурному перепаду в подающей и обратной подводках к прибору с учетом расхода теплоносителя, проходящего через прибор, и по тепловой мощности прибора.

Описание лабораторной установки

Экспериментальная установка (рис. 3.1) состоит из четырех основных линий: I – подающей линии горячей воды; II – обратной линии охлажденной воды; III – линии подпитки установки холодной водой из водопровода; IV – электрической линии.

На подающей линии установлены расширительный сосуд 19 с переливной трубой 27 для восприятия температурных расширений воды, трубка Вентури 25 с U-образным манометром 26 для измерения расхода теплоносителя, распределительные вентили 7, 8, 9, 10, 11, вентили 12, 14, 15 на подводках к приборам для радиатора и вентили 4, 5, 6 для конвектора.

На обратной линии установлены насос 2 и вентили 3, 15, 16, 17. Насос обеспечивает циркуляцию воды в установке через электрический котел 1, а вентили 3, 15, 16 и 17 совместно с вентилями 4, 5, 6, 12, 14, 15 – подачу теплоносителя в приборы по схемам «а» и «б» (рис. 3.2).

Линия подпитки (см. рис. 3.1) соединяет водопровод с электрическим котлом 1 через запорный вентиль 18.

Электрическая линия имеет электрорегулятор 23 для регулирования потребляемой мощности электродкотла. Мощность определяется с помощью вольтметра 21 и амперметра 22. Для поддержания определенной температуры теплоносителя с электрической линией соединен терморегулятор. Датчик терморегулятора 28 берет импульс от температуры теплоносителя в электродкотле. Электрическая линия подключается к сети переменного тока напряжением 220 В через клеммы 24.

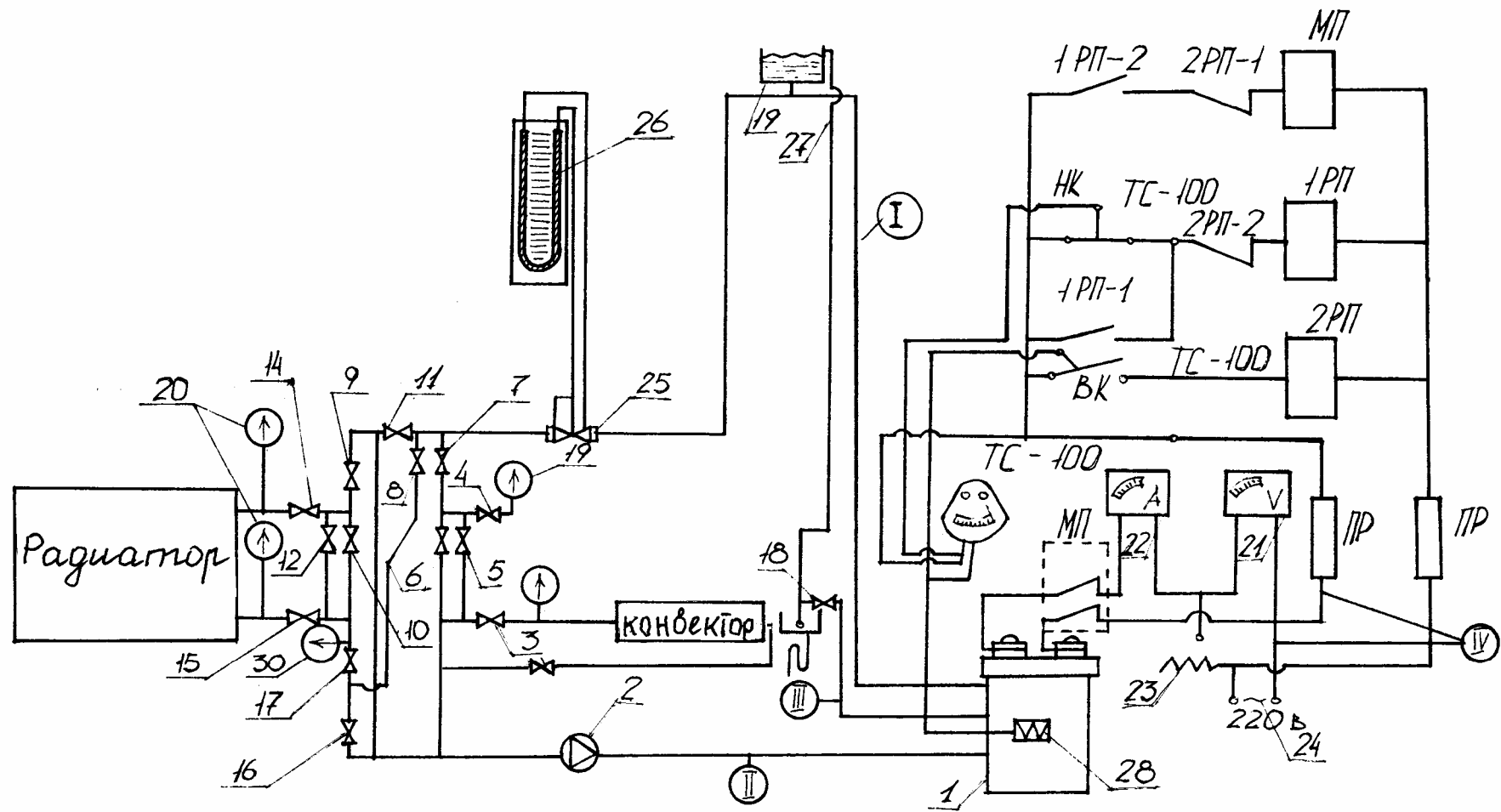


Рис. 3.1. Схема экспериментальной установки для определения коэффициента теплопередачи отопительных приборов



Рис. 3.2. Схема присоединения отопительных приборов к стояку:
а – подача теплоносителя сверху вниз;
б – подача теплоносителя снизу вверх

Определение коэффициента теплопередачи по перепадам температур теплоносителя с учетом его расхода через прибор

Для определения коэффициента теплопередачи отопительного прибора по **I варианту** используем уравнение (3.2). Чтобы найти относительный расход \bar{G} в уравнении (3.2), необходимо знать действительный расход теплоносителя $G_{пр}$, который в настоящей работе определяется с помощью трубки Вентури. Трубка Вентури протарирована на горячей воде с температурой 353 К. Тарировочная кривая выражается формулой

$$G_{пр} = 9,008\Delta h^{0,6},$$

где $G_{пр}$ – расход горячей воды за 1 час, кг;

Δh – перепад давления по трубке Вентури, мм вод.ст.

Средняя температура теплоносителя в отопительном приборе вычисляется по формуле

$$t_{ср} = \frac{t_{вх} + t_{вых}}{2},$$

где $t_{вх}$ и $t_{вых}$ – температуры теплоносителя соответственно на входе и на выходе отопительного прибора, К.

В данной работе $t_{вх}$ и $t_{вых}$, как и температура окружающего воздуха $t_{в}$, определяются прямыми измерениями.

Расчетная поверхность нагревательных приборов A , приведенная в формуле (3.4), берется из табл. 3.2.

Таблица 3.2

Наименование нагревательного прибора	Площадь отопительной поверхности, м ²
Радиатор	0,28
Конвектор	3,3

Данной методикой определения коэффициента теплопередачи $K_{пр}$ отопительного прибора следует пользоваться после опубликования значений коэффициента m (см. табл. 34.1) ГПИ «Сантехпроект».

Величину коэффициента теплопередачи отопительного прибора можно определить по **II варианту**, зная значение теплового потока $q_{\text{пр}}$, передаваемого от теплоносителя в окружающую среду через 1 м^2 площади поверхности прибора:

$$q_{\text{пр}} = K_{\text{пр}} \Delta t_{\text{ср}}, \quad (3.5)$$

откуда

$$K_{\text{пр}} = \frac{q_{\text{пр}}}{\Delta t_{\text{ср}}}. \quad (3.6)$$

В формуле (3.6)

$$q_{\text{пр}} = q_{\text{ном}} \left(\frac{\Delta t_{\text{ср}}}{70} \right)^{1+n} \left(\frac{G_{\text{пр}}}{0,1} \right)^p, \quad (3.7)$$

где $q_{\text{ном}}$ – номинальная плотность теплового потока, $\text{Вт}/\text{м}^2$, отопительного прибора при стандартных условиях работы (принимаем $q_{\text{ном}} = 696 \text{ Вт}/\text{м}^2$ для радиатора и $q_{\text{ном}} = 345 \text{ Вт}/\text{м}^2$ для конвектора);

$\Delta t_{\text{ср}}$ – температурный напор, равный разности полусуммы температур теплоносителя на входе и выходе отопительного прибора и температуры воздуха помещения, $\Delta t_{\text{ср}} = [0,5(t_{\text{вх}} + t_{\text{вых}}) - t_{\text{в}}]$, $^{\circ}\text{C}$;

$G_{\text{пр}}$ – действительный расход воды в отопительном приборе, $\text{кг}/\text{с}$;

n, p – экспериментальные значения показателей степени – приведены в табл. 3.1.

Порядок выполнения работы

Начинать работу на установке необходимо только после разрешения преподавателя или лаборанта и после проверки наличия воды в установке.

Проверка наличия воды в установке (см. рис. 3.1) производится путем открытия вентиля 18 до того момента, пока не пойдет вода из переливной трубы 27.

По заданию преподавателя или лаборанта установить на регуляторе температуры теплоносителя верхний предел, включить водонагреватель 1 и насос 2. Для достижения верхнего предела температуры установить с помощью автотрансформатора 23 необходимые напряжение и силу тока в электрической силовой линии. При достижении необходимой температуры снять показания перепада давления по U-образному

манометру 26 и показания термометров 20. Вместе с показаниями термометра, установленного в помещении, записать эти данные в табл. 3.3.

Вычислить по данным табл. 3.3 значения коэффициента теплопередачи отопительного прибора для каждого замера. Всего для данного варианта рекомендуется выполнить не менее 5 замеров. Найти среднеарифметическую величину коэффициента теплопередачи из 5 значений.

Т а б л и ц а 3.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Номер замера	Перепад давления Δh , мм вод.ст.	Температура на входе в прибор $t_{\text{вх}}$, К	Температура на выходе из прибора $t_{\text{вых}}$, К	Температура окружающего воздуха $t_{\text{в}}$, К	Средняя температура воды в приборе $\Delta t_{\text{ср}}$, К	Величина фактического расхода $G_{\text{пр}}$, кг/ч	Значения n	Значения p	Величина коэффициента теплопередачи $K_{\text{пр}}$, Вт/(К·м ²)

Для определения коэффициента теплопередачи прибора по схеме, приведенной на рис. 3.2,б, т.е. при подаче теплоносителя через нижнюю пробку, необходимо открыть вентили 8, 9, 10, 14, 17. Все остальные вентили при этом должны быть закрыты. Дальнейший порядок выполнения работы такой же, как и при схеме присоединения прибора «а».

К о н т р о л ь н ы е в о п р о с ы

1. Что определяет коэффициент теплопередачи?
2. Какие факторы влияют на величину коэффициента теплопередачи при эксплуатации отопительных приборов?
3. Какие факторы, влияющие на величину коэффициента теплопередачи отопительных приборов, называют дополнительными?
4. Какая схема подачи воды в прибор более практична и экономична? Почему?
5. Как определить количество затраченного тепла по напряжению и силе тока?
6. Как можно изменить затраченную электронагревателем мощность?

Лабораторная работа № 4 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТЕРЬ ДАВЛЕНИЯ НА ПРЕОДОЛЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ТРЕНИЯ В ТРУБАХ

Цель работы – определить потери давления на преодоление сопротивления трения на различных участках труб.

Описание лабораторной установки

Работа выполняется на гидравлическом лабораторном стенде, схематично изображенном на рис. 4.1.

На подающей линии установлен расширительный бак 5 с переливной трубой 6 для восприятия температурных расширений воды и слива ее в раковину. Сужающее устройство (диафрагма) 24 с U-образным манометром предназначено для измерения расхода воды. Перед исследуемым участком труб имеется стабилизирующий участок. На исследуемых участках установлены запорный вентиль 25, пробочный кран 26, S-образный компенсатор 27. Циркуляцию воды в установке обеспечивает насос 28. Подпитка системы осуществляется из водопровода. Падение давления на опытных участках определяется с помощью манометра 29, который присоединен к кольцевым уравнивающим камерам 10, установленным в начале и конце участка (рис. 4.2). Каждая из этих камер сообщается с внутренней полостью трубы через четыре отверстия $d = 1 - 1,5$ мм, расположенные на двух взаимно перпендикулярных плоскостях. Подобное присоединение позволяет получить достаточно усредненные значения статического давления в измеряемых сечениях труб.

Следует соблюдать следующий порядок заполнения системы водой:

- перекрыть вентили 1, 2;
- открыть все остальные вентили и краны, в том числе и на шлангах 10;
- снять зажимы 3, 4 на шлангах дренажа жидкостных манометров;
- залить воду в бак 5 до уровня переливной трубы 6;
- так как система обладает высокой инерционностью, необходимо «раскачать» массу воды в ней. Для этого на кран 7 надеть шланг 8. Создавая поочередно с помощью этого шланга положительное и отрицательное избыточные давления в баке 9, «раскачать» массу воды. Признаком полного заполнения системы является равенство уровней воды в баке 5 и во всех трубках жидкостных манометров (показано на схеме).

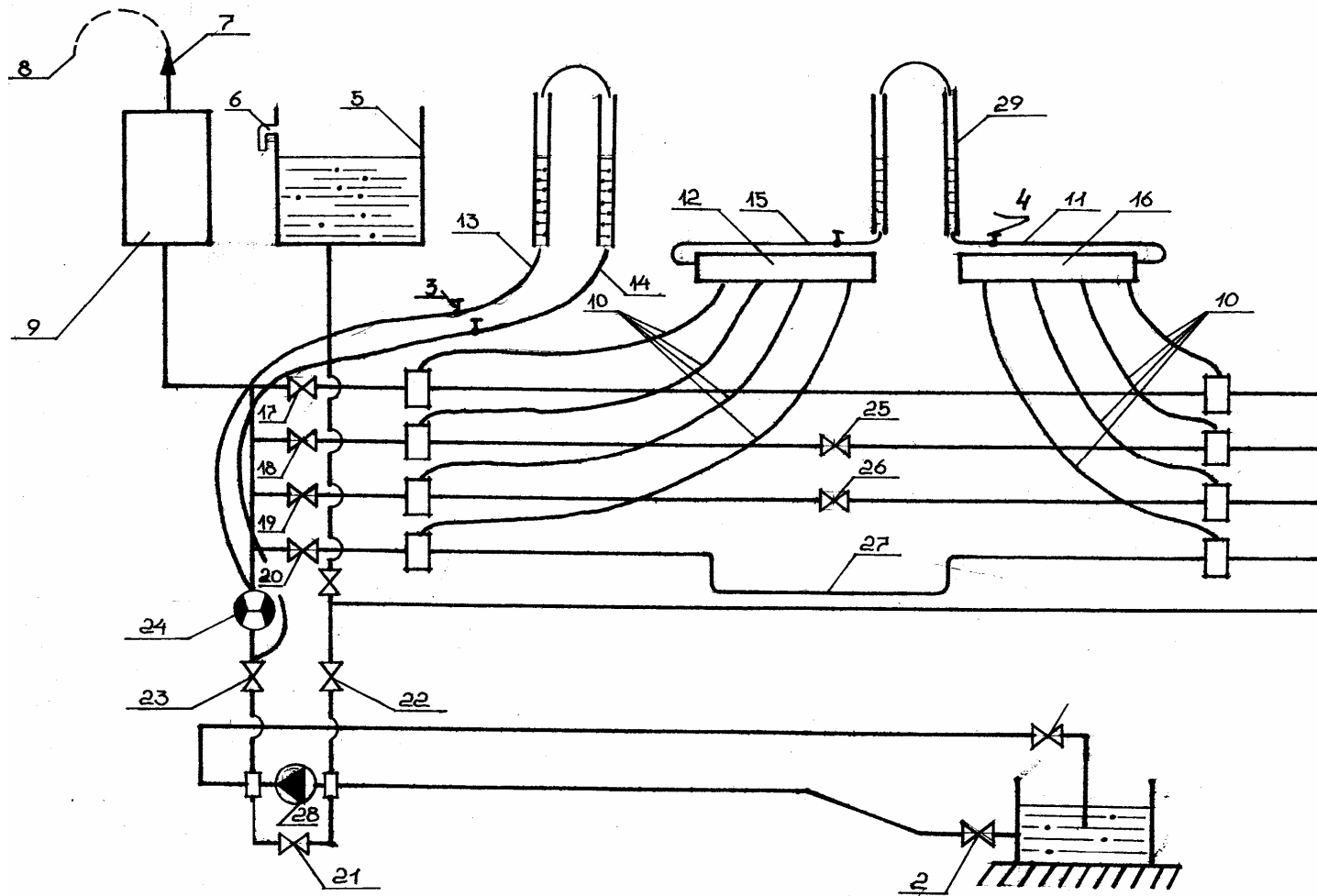


Рис. 4.1. Схема гидравлического лабораторного стенда

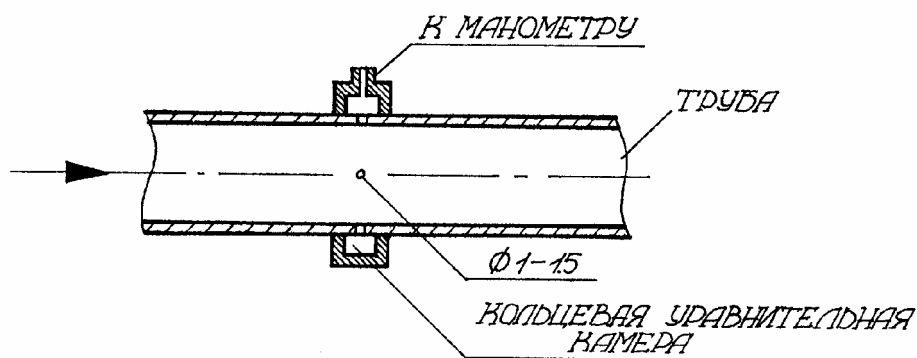


Рис.4.2. Схема присоединения манометра к трубе

Если столбики воды в жидкостных манометрах не установились на одном уровне, необходимо выпустить скопившийся воздух в шлангах 10, 11, 12, 13, 14. Для этого снять с трубок манометров шланги 11, 12, 13, 14 и через них прокачивать воду до тех пор, пока воздух не удалится полностью из шлангов и ресиверов 15, 16.

Порядок проведения работы

После заполнения системы водой можно приступить к выполнению лабораторной работы:

- выровнять уровень воды в манометрах, перекрыть кран 7 и вентили 17, 18, 19, 20 опытных участков, а также все краны на шлангах 10;
- если уровень жидкостных манометров остался одинаковым, пережать зажимами 3, 4 дренажные шланги манометров, в противном случае сделать дополнительную прокачку воды, открыв только все краны на шлангах 10 и не меняя положения остальной запорной арматуры до тех пор, пока не установится равенство уровней в манометрах. После этого перекрыть все краны на шлангах 10 и пережать зажимами 3, 4 дренажные трубки манометров;
- открыть запорный вентиль исследуемого участка и пробковые краны на соответствующих шлангах 10;
- включить насос. При полностью открытом вентиле 21 байпаса устанавливается минимальный расход воды через исследуемый участок;
- сделать отчет о показаниях жидкостных манометров;
- варьируя подачу воды насосом с помощью вентиля 21, провести эксперимент при различных расходах воды в исследуемом участке;
- выключить насос.

После окончания эксперимента открыть кран 7; снять зажимы 3, 4; перекрыть вентили 22, 23; полностью открыть вентиль 21.

Обработка опытных данных

Определяется удельная потеря давления на трение, $H/(m^2 \cdot m)$, из выражения

$$R = 9,81 \frac{h}{l}, \quad (4.1)$$

где h – разность показаний пьезометров, мм вод.ст.;

l – длина исследуемого участка, м.

Так как опыты проводятся с холодной водой, имеющей массовую плотность ρ_x , а табличные значения R приводятся, как правило, для воды, имеющей температуру около $80^\circ C$ и соответственно массовую плотность ρ_r , то для возможности сопоставления полученных из опыта значений R с табличными данными необходимо внести поправку, умножив полученные значения R на величину ρ_x/ρ_r (табл. 4.1).

Т а б л и ц а 4 . 1

Плотность воды

Температура, $^\circ C$	Плотность, $кг/м^3$	Температура, $^\circ C$	Плотность, $кг/м^3$
0	999,8	100	958,3
10	999,6	110	951,0
20	998,2	120	943,1
30	995,6	130	934,8
40	992,2	140	926,1
50	988,0	150	916,9
60	983,2	160	907,4
70	977,7	170	897,3
80	971,8	180	886,9
90	965,3	190	876,0

На основании полученных величин следует построить график в координатах $R-G$, который наглядно покажет изменение величины удельных потерь давления на трение в зависимости от расхода воды в трубе. Расход воды, $кг/ч$, определяется по формуле

$$G = 4,26 \Delta h^{0,95}, \quad (4.2)$$

где Δh – разность уровней воды в манометре расходомерной диафрагмы, мм вод.ст.

Измерение давления обычно производится на участке трубы, где проходит успокоенный после каких-либо возмущений поток. После кранов 17, 18, 19, 20 наблюдается нарушение стабильности потока. Поэтому до места замера давления в начале исследуемого участка тру-

бы должен быть участок определенной длины, на котором происходит стабилизация потока. Длина участка трубы, необходимая для стабилизации при сильно развитой турбулентности, определяется обычно по формуле Лятцко:

$$l_0 \geq 0,693d_B \text{Re}^{0,25}, \quad (4.3)$$

где l_0 – длина стабилизирующего участка, м;

d_B – внутренний диаметр трубы, м;

Re – критерий Рейнольдса,

$$\text{Re} = \frac{\omega d_B}{\nu}; \quad (4.4)$$

здесь ω – скорость движения жидкости, м/с;

ν – кинематическая вязкость жидкости, м²/с, определяемая по графику, представленному на рис. 4.3.

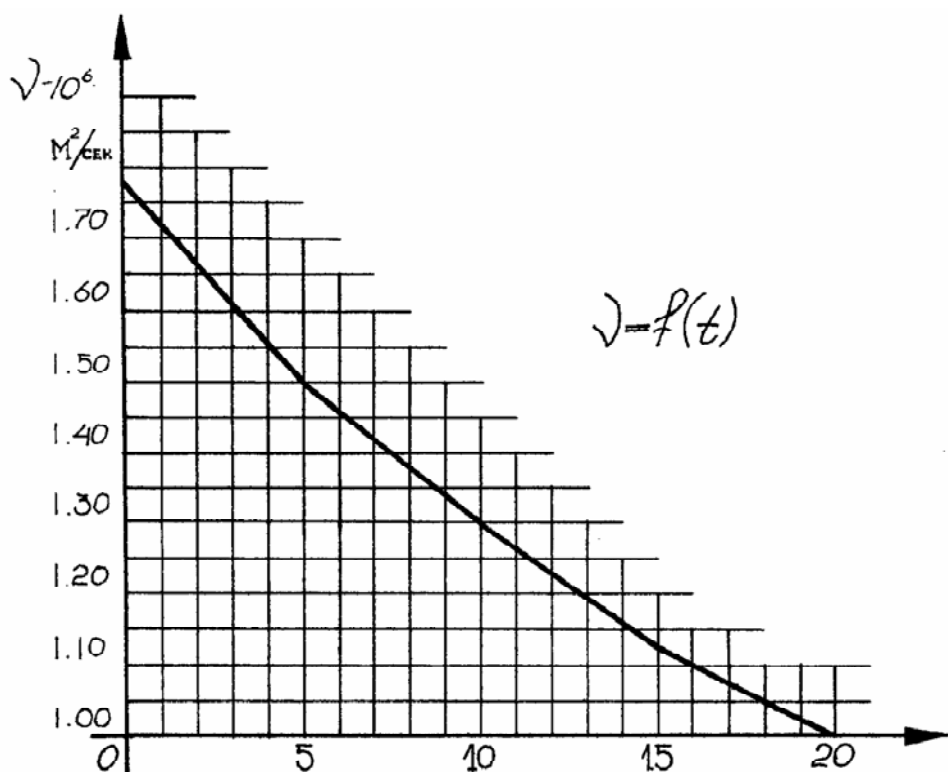


Рис. 4.3. График определения коэффициента кинематической вязкости воды

В условиях проводимых опытов следует проверить достаточность длины стабилизирующего участка в лабораторной установке для слу-

чая наибольшего расхода, полученного из опытов. Для этого следует найти скорость движения воды, м/с, по выражению

$$w = \frac{G}{\rho f \cdot 3600}, \quad (4.5)$$

где ρ – массовая плотность воды, кг/м³;
 f – площадь живого сечения трубы, м².

После нахождения критерия Рейнольдса Re для найденной скорости определяется длина стабилизирующего участка l_0 и сравнивается с длиной стабилизирующего участка, измеренной на стенде.

Результаты измерений и вычислений при проведении работы должны быть занесены в табл. 4.1.

Расчет длины стабилизирующего участка для максимального расхода производится после заполнения табл. 4.2.

Таблица 4.2

Номер замера	Длина исследуемого участка l , м	Длина стабилизирующего участка l_0 , м	G , кг/ч	h , мм вод.ст.	$R = 9,81 \cdot h/l$, Па/м	R (табличное значение)	Вывод
1							
2							
3							
4							
5							

Полученное в опытах значение R сравнивают со значением R при равных скоростях воды, приводимых в таблицах [3] для расчета трубопроводов, и при наличии расхождений объясняют их возможную причину.

Контрольные вопросы

1. За счет чего возникают потери давления по длине труб?
2. От каких факторов зависят потери давления по длине труб?
3. Для чего необходим стабилизирующий участок трубы?

Лабораторная работа № 5 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ КОЭФФИЦИЕНТОВ МЕСТНЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ

Цель работы – определить величины коэффициентов местных сопротивлений в различных фасонных частях и запорно-регулирующей арматуре.

Методика и порядок проведения работы

Изменения в конфигурации труб (изгибы, сужения и др.) и установка на трубах запорно-регулирующей арматуры создают дополнительные сопротивления для прохода потока жидкости и вызывают дополнительные потери давления на их преодоление. Такие сопротивления называют местными сопротивлениями. Величина потерь давления, вызванная ими, зависит от величины динамического давления потока протекающей жидкости и определяется из выражения

$$Z = \zeta P_g, \quad (5.1)$$

где Z – потери давления в местном сопротивлении, Н/м²;

ζ – коэффициент местного сопротивления;

P_g – динамическое давление потока жидкости, Н/м²,

$$P_g = \frac{w^2}{2} \rho; \quad (5.2)$$

здесь w – скорость движения жидкости, м/с;

ρ – массовая плотность жидкости, кг/м³.

Коэффициент местного сопротивления, как это следует из формулы (5.1), показывает потерю давления, выраженную в долях динамического давления потока, на том участке, на котором это сопротивление имеется или к которому оно условно относится.

Определение коэффициента местного сопротивления производится на стенде, описанном в лабораторной работе № 4 (см. рис. 4.1).

На участке трубы, где установлено местное сопротивление, помимо потерь непосредственно в нем, имеются и потери на трение на прямых участках трубы. Последнее необходимо исключить из общих потерь давления на исследуемом участке. Тогда величину потерь давления в местном сопротивлении можно вычислить по формуле

$$Z = 9,81h - R \sum l, \quad (5.3)$$

где h – разность показаний пьезометра, мм вод.ст.;

R – удельная потеря на трение, Н/м²; значение R принимается по данным лабораторной работы № 4 при соответствующих расходах воды либо из таблиц с введением необходимой поправки на температуру воды;

$\sum l$ – сумма длин прямых участков трубы между точками отбора давления, $\sum l = l_1 + l_2 + \dots + l_n$.

Величина коэффициента исследуемого местного сопротивления определяется из уравнения (5.1) решением его относительно ζ :

$$\zeta = \frac{Z}{P_g}. \quad (5.4)$$

Определение значения ζ следует производить при различных расходах жидкости. Продолжительность каждого опыта не менее двух минут. Итоговые значения необходимо представить графически в координатах $\zeta - w$ и сопоставить с данными, имеющимися в [3].

Данные измерений и подсчетов сводятся в табл. 5.1.

Таблица 5.1

Номер замера	G , кг/ч	R , Н/(м ² ·м)	$\sum l$, м	$R \cdot l$, Н/м ²	Z , Н/м ²	w , м/с	P_g , Н/м ²	ζ
1								
2								
3								
4								
5								

Определение величины расхода жидкости за время опыта и величины скорости движения жидкости производится по методике, изложенной в лабораторной работе № 4.

Контрольные вопросы

1. Какие сопротивления называются местными?
2. От каких факторов зависит величина местного сопротивления?
3. Как изменяется величина местного сопротивления в зависимости от скорости движения потока?

Лабораторная работа № 6 ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ЗАТЕКАНИЯ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ В ОТОПИТЕЛЬНЫЙ ПРИБОР

Цель работы – определить коэффициент затекания воды в отопительный прибор стояка однотрубной системы водяного отопления при осевом и смещенном замыкающих участках и при подаче теплоносителя по схемам сверху вниз и снизу вверх (рис. 6.1).

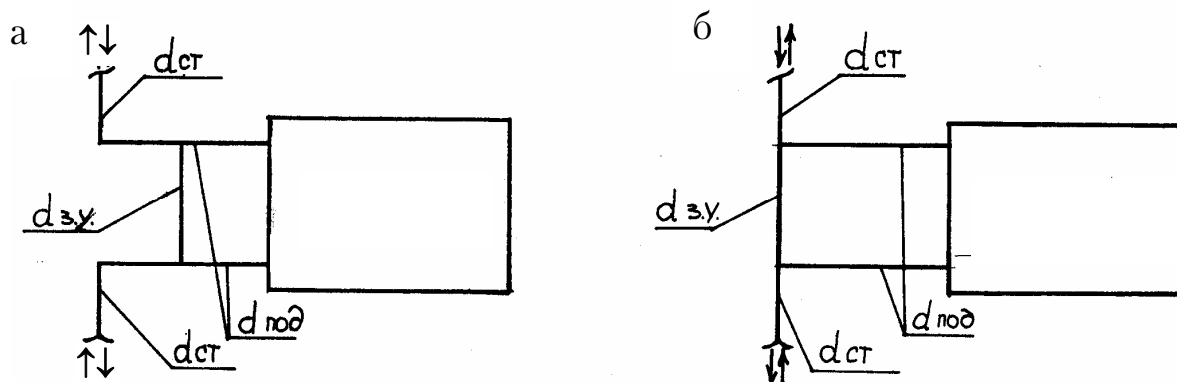


Рис. 6.1. Конструкция исследуемого радиаторного узла при различных схемах подачи теплоносителя в прибор:
а – со смещенным замыкающим участком;
б – с осевым замыкающим участком

Для достижения указанной цели студентам необходимо:

- усвоить общие теоретические основы процесса влияния коэффициента затекания воды в отопительный прибор на гидравлический и тепловой режимы однотрубных систем водяного отопления, используя литературу [3, 6, 7, 8, 9, 10 и 11];
- ознакомиться со схемой и принципом работы лабораторного стенда (см. рис. 3.1);
- изучить порядок проведения лабораторной работы и методику обработки полученных данных;
- выполнить задание по УИРС;
- подготовиться к ответу на контрольные вопросы.

Теоретические основы метода исследования.

Влияние коэффициента затекания на гидравлический и тепловой режимы работы однотрубной системы водяного отопления

При разработке гидравлически устойчивых однотрубных систем водяного отопления и выборе оптимальной поверхности отопительных приборов необходимо учитывать, какая часть потока теплоносителя течет по замыкающим участкам и какая поступает в отопительные

приборы, т.е. знать коэффициент затекания воды в отопительные приборы. Вследствие сложности теоретического решения задачи определения коэффициента затекания, пользуются данными экспериментальных исследований.

Исследования [7, 8] показали, что коэффициент затекания α воды в отопительный прибор зависит от величины сопротивления малого циркуляционного кольца, т.е. от гидравлических потерь давления в замыкающем участке $P_{\text{зy}}$ и подводках $P_{\text{под}}$ к отопительным приборам, а также от величины естественного теплового давления в отопительном приборе $\Delta P_{\text{е.пр}}$:

$$\alpha = f(P_{\text{зy}} P_{\text{под}} \Delta P_{\text{е.пр}})_t. \quad (6.1)$$

Коэффициент затекания α определяется как отношение количества воды, протекающей через прибор, $G_{\text{пр}}$ к общему количеству воды, циркулирующей через стояк, $G_{\text{ст}}$:

$$\alpha = \frac{G_{\text{пр}}}{G_{\text{ст}}}. \quad (6.2)$$

Чем выше коэффициент затекания α , тем больше воды пройдет через отопительный прибор. Зная коэффициент α , можно установить распределение воды в приборах. Это позволяет рассчитать теплоотдачу и поверхность нагрева отопительных приборов, обеспечить гидравлическую устойчивость малых циркуляционных колец, т.е. осуществить гидравлический расчет малых колец, и определить диаметры стояков, подводок и замыкающих участков.

Для повышения гидравлической устойчивости малых колец целесообразно снижать долю естественного давления $\Delta P_{\text{е.пр}}$ путем повышения гидравлического сопротивления замыкающего участка, а следовательно, и увеличения α , так как при увеличении диаметра замыкающих участков коэффициент α уменьшается.

При определении температурного перепада $\Delta t_{\text{пр}}$ воды в отопительных приборах однотрубных систем водяного отопления в зависимости от тепловой нагрузки $Q_{\text{пр}}$ необходимо учитывать α :

$$\Delta t_{\text{пр}} = \frac{Q_{\text{пр}}}{G_{\text{ст}} \alpha}. \quad (6.3)$$

Известно, что в результате уменьшения α остывание воды в приборах возрастает. Следовательно, средняя температура воды падает, что приводит к необходимости установки приборов с увеличенной

поверхностью нагрева. Известно также, что с увеличением скорости движения воды в стояке коэффициент α уменьшается.

В практике используются различные способы увеличения α , а следовательно, и повышения надежности работы однотрубных систем водяного отопления: изготовление осевых и смещенных замыкающих участков со сжимами, применение проточных и проточно-регулируемых стояков с трехходовыми кранами ($\alpha = 1$), а также смещенных замыкающих участков и т.д.

Описание экспериментального стенда

На кафедре отопления и вентиляции Пензенского ГУАС разработан экспериментальный стенд (см. рис. 3.1), позволяющий проводить те или иные эксперименты, в том числе и определять коэффициент затекания воды в отопительный прибор при различных схемах подачи теплоносителя в прибор и различной конструкции замыкающих участков.

Подача теплоносителя в отопительный прибор (радиатор) по схеме сверху вниз осуществляется по трубам подающей магистрали при открытых вентилях 9, 11, 14, 15, 16, 17, а также через открытые вентили 12 при смещенном участке и вентиль 10 при осевом замыкающем участке. Остальные вентили 2, 3, 4, 5, 8, 18 закрыты.

Подача теплоносителя в отопительный прибор снизу вверх осуществляется при открытых вентилях 8, 9, 14, 15, 17, а также открытых вентилях 12 при смещенном замыкающем участке и открытом вентиле 10 при осевом замыкающем участке и закрытых вентилях 2, 3, 4, 5, 6, 11, 16, 18.

Для измерения расхода теплоносителя применяется дроссельная диафрагма с U-образным манометром.

Циркуляция воды в установке через электрический котел осуществляется центробежным насосом.

Подпиточная магистраль соединяет водопровод с электродкотлом через запорный вентиль 18.

Для поддержания определенной температуры теплоносителя применяется терморегулятор ТС-100.

На подводках к отопительному прибору и на стояке после слияния потоков теплоносителя установлены термометры 20, 29, 30, 31.

Электрическая линия подключается к сети переменного тока напряжением 220 В через пусковое устройство.

Аналитическое определение опытного коэффициента затекания воды в отопительный прибор

При вычислении значения α для конкретных случаев требуется предварительное определение теплопроизводительности отопительного прибора $Q_{\text{пр}}$, Вт, исследуемого радиаторного узла:

$$Q_{\text{пр}} = G_{\text{ст}} c (t_{\text{г}} - t_{\text{см}}), \quad (6.4)$$

или

$$Q_{\text{пр}} = G_{\text{пр}} c (t_{\text{г}} - t_{\text{o}}), \quad (6.5)$$

где $G_{\text{ст}}$ – расход воды, протекающей через стояк, кг/с;

$G_{\text{пр}}$ – неизвестный расход воды, протекающей через отопительный прибор, кг/с;

c – удельная теплоемкость воды, равная 4187 Дж/(кг·°С).

Из сопоставления выражений (6.4) и (6.5) получим

$$G_{\text{пр}} = G_{\text{ст}} \frac{t_{\text{г}} - t_{\text{см}}}{t_{\text{г}} - t_{\text{o}}}. \quad (6.6)$$

Следовательно, коэффициент затекания воды в отопительный прибор

$$\alpha = \frac{G_{\text{пр}}}{G_{\text{ст}}} = \frac{t_{\text{г}} - t_{\text{см}}}{t_{\text{г}} - t_{\text{o}}}. \quad (6.7)$$

Расход воды в стояке $G_{\text{ст}}$ в настоящей работе предлагается определять по перепаду давления ΔP в дроссельной диафрагме, которая тарирована на горячей воде с температурой 353 К. Тарировочная экспериментальная кривая аппроксимирована выражением

$$G_{\text{ст}} = 9,008 \Delta P^{0,6}, \quad (6.8)$$

где $G_{\text{ст}}$ – расход теплоносителя в стояке, кг/ч;

ΔP – перепад давления в диафрагме, определяемый по U-образному манометру, мм вод.ст.

Количество воды, кг/с, протекающей через отопительный прибор, в зависимости от α определяется из уравнения

$$G_{\text{пр}} = G_{\text{ст}} \alpha, \quad (6.9)$$

где $G_{\text{ст}}$ – расход воды в стояке, определенный по формуле (6.8); перерасчитывается и принимается в кг/с.

Порядок проведения экспериментов и обработка опытных данных

Прежде чем приступить к выполнению экспериментов, необходимо ознакомиться с экспериментальной установкой и проверить правильность положения запорной регулирующей арматуры при различных схемах подачи теплоносителя в прибор и различной конструкции замыкающих участков. Начинать работу на установке необходимо после разрешения преподавателя или лаборанта, убедившись в наличии воды в установке. Проверку наличия воды производить путем открывания вентиля 18 до перетекания воды через переливную трубку (см. рис. 3.1).

Между студентами, входящими в одну группу из 4-х человек, следует распределить обязанности в соответствии с выполнением следующих работ:

- измерение перепада давления по U-образному манометру;
- переключение запорной арматуры для питания отопительного прибора по схемам сверху вниз и снизу вверх и для исследований при осевых и смещенных замыкающих участках;
- снятие показаний термометров;
- ведение записей в журнале наблюдений.

По заданию преподавателя или лаборанта установить схему подачи воды (сверху вниз или снизу вверх) в прибор, а на регуляторе температуры ТС-100 – верхний предел ($85\text{ }^{\circ}\text{C}$) температуры теплоносителя. Включить электродвигатель и центробежный насос (см. рис. 3.1). Измерение температуры в точках замера производить при установившемся тепловом режиме, т.е. при постоянстве температур теплоносителя, не менее 5 раз в течение 15 минут, и результаты оформлять в табличной форме (табл. 6.1).

При схеме подачи теплоносителя в прибор «сверху вниз» измерение температуры на входе t_{Γ} в прибор, на выходе t_o из прибора и температуры смеси $t_{\text{см}}$ осуществлять по показаниям термометров соответственно 20, 29, 30.

При схеме подачи теплоносителя в прибор снизу вверх измерение температуры воды t_{Γ} , t_o , $t_{\text{см}}$ производить соответственно по показаниям термометров 29, 20, 31. Одновременно снять показания перепада давления по U-образному манометру и вместе с показанием термометра записать данные в табличной форме (см. табл. 6.1).

Эксперименты провести по каждой схеме подачи теплоносителя в отопительный прибор с осевым и смещенным замыкающими участками.

Таблица 6.1

Схема подачи воды в прибор	Количество замеров	Данные измерений				Результаты обработки			
		Перепад давления ΔP , мм вод.ст.	Температура воды на входе в прибор t_r , °C	Температура воды на выходе из прибора t_o , °C	Температура смеси $t_{см}$, °C	Расход воды в стояке $G_{ст}$, кг/с	Расход воды через прибор $G_{пр}$, кг/с	Коэффициент затекания воды в прибор α	Среднее арифметическое значение коэффициента затекания воды в прибор за опыт $\alpha_{ср}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Сверху вниз с осевым замыкающим участком	1								
	2								
	3								
	4								
	5								
Сверху вниз со смещенным замыкающим участком	1								
	2								
	3								
	4								
	5								
Снизу вверх с осевым замыкающим участком	1								
	2								
	3								
	4								
	5								
Снизу вверх со смещенным замыкающим участком	1								
	2								
	3								
	4								
	5								

По полученным экспериментальным значениям ΔP , t_{Γ} , t_o , $t_{\text{см}}$ вычислить расход воды в стояке по уравнению (6.8), расход через прибор – по уравнению (6.6) и затем коэффициент затекания воды в отопительный прибор – по уравнению (6.7). Найти среднеарифметическое значение коэффициента α для каждого опыта по пяти измерениям. Полученные данные записать в табличной форме (см. табл. 6.1).

Сравнить найденные значения коэффициентов затекания α воды в отопительный прибор при различных схемах подачи теплоносителя в прибор и положениях замыкающих участков. Объяснить с физической точки зрения полученные результаты.

Задание по учебной исследовательской работе (УИРС)

В порядке выполнения УИРС дать сравнительную оценку экспериментально определенным значениям коэффициентов затекания воды в отопительный прибор $\alpha_{\text{ср}}$ (см. табл. 6.1, графа 10) и значениям $\alpha_{\text{кон}}$, приведенным в [2].

Для определения $\alpha_{\text{кон}}$ необходимо измерить диаметры стояка $d_{\text{ст}}$, подводки $d_{\text{под}}$, замыкающего участка $d_{\text{зв}}$ исследуемого радиаторного узла, вычислить скорость движения воды в стояке $v_{\text{ст}}$, м/с, по известным значениям площади $A_{\text{тр}}$, м², и расхода воды в стояке $G_{\text{ст}}$, кг/с. В зависимости от конструктивного исполнения радиаторного узла (см. рис. 6.1) и скорости воды в стояке $v_{\text{ст}}$, м/с, по экспериментальным данным определить $\alpha_{\text{кон}}$.

Сравнить полученные из опыта значения $\alpha_{\text{ср}}$ со значениями $\alpha_{\text{кон}}$. Выявить процент отклонения. Дать объяснение возможным отклонениям $\alpha_{\text{ср}}$ от $\alpha_{\text{кон}}$, при этом увязать эти отклонения с качеством постановки эксперимента, с классом точности приборов, применяемых для измерения величин ΔP , t_{Γ} , t_o , $t_{\text{см}}$.

Контрольные вопросы

1. Что выражает коэффициент затекания воды в отопительный прибор?
2. Объяснить порядок проведения экспериментальных исследований по определению $\alpha_{\text{ср}}$.
3. Объяснить порядок обработки экспериментальных данных по определению $\alpha_{\text{ср}}$.
4. Какие факторы влияют на коэффициент затекания в отопительный прибор?

5. Какова зависимость между гидравлической устойчивостью малого циркуляционного кольца и коэффициентом $\alpha_{\text{ср}}$?
6. Как влияет коэффициент $\alpha_{\text{ср}}$ на температурный перепад в отопительном приборе?
7. Какие способы используются в практике для увеличения значения коэффициента $\alpha_{\text{ср}}$?
8. Почему при увеличении скорости воды уменьшается значение $\alpha_{\text{ср}}$?
9. Дать сравнительную оценку полученным коэффициентам $\alpha_{\text{ср}}$ для осевого и смещенного замыкающих участков и при подаче теплоносителя в прибор по схемам сверху вниз и снизу вверх.
10. Какова точность измерения температуры воды и перепада давления и как она влияет на величину $\alpha_{\text{ср}}$?
11. Дать объяснение возможным отклонениям опытно полученных значений коэффициентов $\alpha_{\text{ср}}$ от значений $\alpha_{\text{кон}}$, представленных в справочной литературе.

Лабораторная работа № 7 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОТДАЧИ ОТОПИТЕЛЬНОГО ПРИБОРА

Цель работы – по экспериментальным $Q_{\text{пр}}^{\text{ЭК}}$ и теоретическим $Q_{\text{пр}}^{\text{T}}$ данным определить теплоотдачу отопительного прибора при подаче теплоносителя в прибор по схемам сверху вниз и снизу вверх для узлов с осевым и смещенным замыкающими участками (см. рис. 3.1, 6.1).

Для достижения указанной цели студенту необходимо: усвоить общие теоретические основы определения теплоотдачи отопительных приборов [3, 6, 7, 8, 9, 10 и 11]; ознакомиться со схемой и принципом работы лабораторного стенда (см. рис. 3.1); изучить порядок и методику обработки полученных данных; выполнить задание по УИРС; подготовиться к ответам на контрольные вопросы.

Теоретические основы метода определения теплоотдачи отопительного прибора

Отопительные приборы являются основными элементами систем водяного и парового отопления и предназначены для передачи теплоты от теплоносителя в помещение зданий. Теплоотдача прибора определяет мощность отопительного прибора $Q_{\text{пр}}$, Вт, и называется тепловой нагрузкой прибора $Q_{\text{пр}}^{\text{T}}$, Вт.

Величина теплоотдачи прибора зависит от многих факторов: величины и формы поверхности нагрева; вида теплоносителя (пар, вода, воздух и др.); температуры и скорости движения теплоносителя и окружающего воздуха; места установки прибора; количества и взаимного расположения элементов прибора; материала поверхности нагрева и др. Интенсивность теплового потока характеризуется коэффициентом теплопередачи $k_{\text{пр}}$, Вт/(м²·°С), который показывает, какое количество теплоты $Q_{\text{пр}}$, Вт, переносится в единицу времени τ , ч, через единицу площади поверхности $A_{\text{пр}}$, м², при разности температуры $\Delta t_{\text{пр}}$, °С, между теплоносителем $t_{\text{ср}}$, °С, и воздухом помещения $t_{\text{в}}$, °С. Наибольшему значению $\Delta t_{\text{пр}}$ соответствуют максимальные значения $Q_{\text{пр}}$ и $k_{\text{пр}}$. Совершенным в теплотехническом отношении считается отопительный прибор, обладающий повышенным коэффициентом $k_{\text{пр}}$ и наибольшим значением $Q_{\text{пр}}$. Для современных конструкций приборов значение $k_{\text{пр}}$ находится в пределах 4,7-20 Вт/(м²·°С).

Теплоотдача отопительного прибора, Вт, определяется из уравнения

$$Q_{\text{пр}}^{\text{т}} = Q_{\text{пр}} = A_{\text{пр}} \frac{k_{\text{пр}} (t_{\text{ср}} - t_{\text{в}}) \cdot \beta_0 \beta_4}{\beta_1 \beta_2 \beta_3}, \quad (7.1)$$

где $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$ – то же, что и в уравнении (7.3).

Теплотехническая характеристика $k_{\text{пр}}$, Вт/(м²·°С), вычисляется из уравнения

$$k_{\text{пр}} = \frac{1}{R_{\text{пр}}}.$$

Величина сопротивления теплоотдаче, м²·°С/Вт, отопительного прибора $R_{\text{пр}}$ складывается из сопротивления теплоотдаче у внутренней поверхности $R_{\text{в}}$; сопротивления теплопроводности стенки $R_{\text{ст}}$ и сопротивления теплоотдаче наружной поверхности $R_{\text{н}}$. Значения $R_{\text{в}}, R_{\text{ст}}, R_{\text{н}}$ во многом зависят соответственно от коэффициента теплоотдачи у внутренней поверхности $\alpha_{\text{в}}$, Вт/(м²·°С); толщины стенки $\sigma_{\text{ст}}$, м; теплопроводности $\lambda_{\text{ст}}$, Вт/(м²·°С), материала стенки; коэффициента теплоотдачи у наружной поверхности $\alpha_{\text{н}}$, Вт/(м²·°С).

Установлено, что теплообмен у внутренней поверхности $\alpha_{\text{в}}$ прибора изменяется в широких пределах в зависимости от вида (пар, вода), скорости движения и температуры теплоносителя. Сопротивление теплообмену у внутренней поверхности обуславливает снижение температуры наружной поверхности. При увеличении расхода воды коэффициент $\alpha_{\text{в}}$, а следовательно, и $Q_{\text{пр}}$ заметно возрастает, а затем при массовом расходе воды более 200 кг/ч остается практически неизменным.

Известно, что коэффициент конвективного теплообмена в слое воздуха $\alpha_{\text{н}}$ (по сравнению с водой или паром) значительно меньше, поэтому сопротивление $R_{\text{н}}$ очень велико. Следовательно, для увеличения теплоотдачи отопительного прибора необходимо увеличивать поверхность нагрева $A_{\text{пр}}$.

Коэффициент теплообмена у наружной поверхности $\alpha_{\text{н}}$ представляется в виде суммы коэффициентов лучистого $\alpha_{\text{л}}$ и конвективного $\alpha_{\text{к}}$ теплопереноса, Вт/(м²·°С). Можно интенсифицировать теплопередачу путем увеличения скорости воздуха, омывающего прибор. Теплоотдача излучением $\alpha_{\text{л}}$ зависит от материала и формы приборов, размеров, температуры и взаиморасположения приборов и поверхности ограждений помещения. В колончатых секционных радиаторах происходит частичное поглощение лучистого потока близкорасположенными, взаимно закрывающими друг друга секциями, что снижает общую теплоотдачу отопительного прибора. Кроме того, на $Q_{\text{пр}}$ и $k_{\text{пр}}$

вливают форма и число колонок в секции, расстояние между ними, глубина и высота секций (чем ниже секция и больше расстояние между ними, тем $k_{пр}$ и $Q_{пр}$ выше).

На теплоотдачу отопительного прибора в помещении влияют конструкция и материал, из которого изготовлена поверхность нагрева. С целью увеличения теплоотдачи в настоящее время разрабатываются приборы с малым $R_{ст}$, для этого предполагается использовать в качестве материала прибора цветные и другие металлы с высоким коэффициентом теплопроводности $\lambda_{пр}$, Вт/(м²·°С). Для относительно тонкого чугунного радиатора сопротивление теплопроводности $R_{ст}$ стенки (средняя толщина 4 мм) мало по сравнению с другими величинами, определяющими тепловую мощность прибора.

На теплоотдачу отопительного прибора влияет способ установки прибора у наружных ограждений. При свободной установке (по сравнению с размещением приборов в нишах стен) теплоотдача прибора выше за счет увеличения скорости циркуляции омывающего воздуха. Декоративные ограждения могут значительно снизить теплоотдачу $Q_{пр}$.

Кроме того, на величину теплоотдачи оказывают влияние способ присоединения отопительных приборов к трубам и схема подачи и отвода воды из прибора. Наиболее эффективна схема движения теплоносителя сверху вниз. Теплоотдача при схеме снизу вниз (по сравнению со схемой сверху вниз) сокращается на 10 %, а при схеме снизу вверх – на 22 %. Это происходит в результате изменения характера скорости движения теплоносителя в приборе и в пограничном слое внутренней поверхности.

Обеспечение оптимальных теплофизических и гидравлических характеристик позволяет в значительной степени увеличить теплоотдачу прибора при минимальной поверхности нагрева.

Методика экспериментального и теоретического определения теплоотдачи отопительного прибора

По измеренным в лабораторной работе № 6 значениям температуры теплоносителя, поступающего в отопительный прибор t_r и уходящего из отопительного прибора t_o , и температуры смеси $t_{см}$ (после слияния потоков из замыкающего участка и уходящего из отопительного прибора) необходимо определить теплоотдачу отопительного прибора $Q_{пр}^{эк}$ в однотрубной системе водяного отопления. Значения $Q_{пр}^{эк}$ следует определять отдельно при подаче теплоносителя в отопительный прибор сверху вниз и снизу вверх и для случаев с осевым и смещенным замыкающими участками (см. рис. 6.1).

Величину теплоотдачи, Вт, отопительного прибора для каждого конкретного случая, указанного выше, можно определить из выражения

$$Q_{\text{пр}}^{\text{ЭК}} = G_{\text{пр}} c (t_{\text{г}} - t_{\text{см}}), \quad (7.2)$$

где $G_{\text{пр}}$ – средний расход воды, протекающей через прибор, по серии опытов, кг/с (табл. 7.1, графа 6),

$$G_{\text{пр}} = \alpha_3 G_{\text{ст}},$$

здесь $G_{\text{ст}}$, α_3 – соответственно среднее по серии опытов значение расхода теплоносителя, протекающего через стояк (см. табл. 7.1, графа 7), кг/с, и коэффициент затекания воды в отопительный прибор, принимаемый по табл. 7.1, графа 9;

$t_{\text{г}}$, $t_{\text{см}}$ – соответственно средние значения по серии опытов температуры теплоносителя, поступающего в отопительный прибор, и температуры смеси после прибора и замыкающего участка, °С (см. табл. 7.1, графы 10 и 12);

c – удельная теплоемкость воды, равная 4187 Дж/(кг·°С).

Полученные из лабораторной работы № 6 данные записать как исходные в ведомость расчета (см. табл. 7.1, графы 6, 7, 9, 10, 11, 12), вычисленные значения $Q_{\text{пр}}^{\text{ЭК}}$ занести в графу 22, а среднее значение из серии опытов $Q_{\text{пр(ср)}}^{\text{ЭК}}$ – в графу 23.

Теоретическое значение теплоотдачи отопительного прибора определить из уравнения

$$Q_{\text{пр}}^{\text{т}} = \frac{A_{\text{пр}} k_{\text{пр}} (t_{\text{ср}} - t_{\text{в}}) \beta_0 \beta_4}{\beta_1 \beta_2 \beta_3}, \quad (7.3)$$

где $A_{\text{пр}}$ – поверхность отопительного прибора, выраженная в квадратных метрах и определяемая путем умножения одной секции прибора, например М140-АО, $a_{\text{пр}}$ ($a_{\text{пр}} = 0,299 \text{ м}^2$) на число секций в приборе n ($A_{\text{пр}} = a_{\text{пр}} n$);

$k_{\text{пр}}$ – коэффициент теплопередачи, Вт/(м²·°С), одного квадратного метра, рассчитываемый по формуле

$$k_{\text{пр}} = 5,59 + 0,035(t_{\text{ср}} - t_{\text{в}}); \quad (7.4)$$

$t_{\text{ср}}$ – средняя температура теплоносителя в отопительном приборе, °С,

$$t_{\text{ср}} = 0,5(t_{\text{г}} + t_{\text{о}}); \quad (7.5)$$

- t_b – температура воздуха в помещении, °С, определяемая как фактическая по термометру в момент проведения эксперимента;
- β_1 – поправочный коэффициент, принимаемый в зависимости от количества секций в отопительном приборе: при числе секций до 5 $\beta_1 = 0,95$; до 6-8 $\beta_1 = 1$; до 9-14 $\beta_1 = 1,02$; от 15 и более $\beta_1 = 1,05$;
- β_2 – поправочный коэффициент, учитывающий остывание воды в трубах и принимаемый для рассматриваемого случая равным 1 (остыванием воды в трубах можно пренебречь); температура теплоносителя измеряется у отопительного прибора;
- β_3 – коэффициент, учитывающий способ установки отопительного прибора и принимаемый для рассматриваемого случая равным 1;
- β_4 – коэффициент, учитывающий способ подвода теплоносителя в отопительный прибор и принимаемый при подаче сверху вниз равным 1, снизу вверх – 0,78;
- β_0 – коэффициент, учитывающий повышение теплопередачи отопительного прибора в зависимости от относительного расхода теплоносителя через радиатор \bar{G}_p и схемы его подачи в прибор и принимаемый для однотрубных систем отопления по табл. 7.2.

Относительный расход теплоносителя через отопительный прибор \bar{G}_p равен отношению количества теплоносителя, протекающего через 1 м² прибора, к нормальному расходу, равному 17,4 кг/ч, при температурном перепаде теплоносителя в приборе $\Delta t_{np} = 25^\circ\text{C}$:

$$\bar{G}_{np} = \frac{0,86 \cdot 505}{17,4 t_{np}} = \frac{25}{t_{np}}, \quad (7.6)$$

где t_{np} – фактическая средняя температура теплоносителя, °С:

$$t_{np} = \frac{t_{\text{вх}} + t_{\text{вых}}}{2}.$$

Подставив в выражение (7.3) полученные значения, можно определить Q_{np}^T .

Таблица 7.1

Схема подачи теплоносителя в отопительный прибор	Конструкция радиаторного узла	Количество опытов	Исходные данные (средние значения из серии опытов) для расчетов								
			Поверхность нагрева $A_{пр}$, м ²	Число секций в приборе n	Расход воды через прибор $G_{пр}$, кг/с	Расход воды в стояке $G_{ст}$, кг/с	Температура воздуха в помещении $t_{в}$, °С	Коэффициент затекания α	Температура воды на входе в прибор $t_{г}$, °С	Температура воды на выходе из прибора $t_{о}$, °С	Температура смеси $t_{см}$, °С
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Сверху вниз	С осевым замыкающим участком	1									
		2									
		3									
		4									
Сверху вниз	Со смещенным замыкающим участком	1									
		2									
		3									
		4									
Снизу вверх	С осевым замыкающим участком	1									
		2									
		3									
		4									
Снизу вверх	Со смещенным замыкающим участком	1									
		2									
		3									
		4									

Таблица 7.1

Результаты обработки исследований (средние значения из серии опытов)											
Средняя температура теплоносителя в приборе $t_{cp}, ^\circ C$	Коэффициент теплопередачи $k, Вт/(м \cdot ^\circ C)$	Температурный перепад в приборе $\Delta t_{пр}, ^\circ C$	Относительный расход $\bar{G}_{пр}$	Коэффициенты					Теплопередача прибора $Q_{пр}^{эк}, Вт$	Среднее значение теплоотдачи прибора $Q_{пр(ср)}^{эк}$	Теоретическое значение теплоотдачи прибора $Q_{пр}^т, Вт$
				β_0	β_1	β_2	β_3	β_4			
13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
	—										

Таблица 7.2

Относительный расход теплоносителя $\bar{G}_{\text{пр}}$	Величина β_0 в зависимости от схемы подачи теплоносителя в прибор	
	сверху вниз	снизу вверх
1	1,00	1,00
2	1,02	1,05
3	1,03	1,09
4	1,04	1,11
5	1,05	1,13
6	1,055	1,15
7 и более	1,06	1,18

Исходные данные и результаты расчета $Q_{\text{пр}}^{\text{T}}$ записать в табл. 7.1, графа 24. Затем сопоставить значение $Q_{\text{пр}}^{\text{T}}$ со значением $Q_{\text{пр}}^{\text{ЭК}}$, определяемым по уравнению (7.1). При наличии расхождений указать причину отклонений $Q_{\text{пр}}^{\text{ЭК}}$ (см. табл. 7.1, графа 22) и $Q_{\text{пр}}^{\text{T}}$ (см. табл. 7.1, графа 24).

Задание по учебной исследовательской работе (УИРС)

Студент может получить у преподавателя следующие задания по УИРС.

1. Дать сравнительную оценку экспериментального $Q_{\text{пр}}^{\text{ЭК}}$ и теоретического $Q_{\text{пр}}^{\text{T}}$ значений теплопередачи, Вт, отопительного прибора.
2. Объяснить влияние теплофизических величин $\alpha_{\text{л}}$, $\alpha_{\text{к}}$, $\alpha_{\text{в}}$, $\alpha_{\text{н}}$ на теплоотдачу отопительного прибора.
3. Рассмотреть зависимость теплоотдачи отопительного прибора от $k_{\text{пр}}$, Вт/(м²·°С).
4. Объяснить влияние расхода теплоносителя $G_{\text{пр}}$, кг/с, на теплоотдачу отопительного прибора $Q_{\text{пр}}$, Вт.
5. Объяснить влияние на теплоотдачу отопительного прибора формы и конструкции прибора и взаимного расположения элементов прибора.
6. Объяснить влияние на теплоотдачу отопительного прибора способа присоединения к трубам стояка и схемы подачи теплоносителя в прибор.
7. Объяснить влияние способа размещения отопительных приборов в помещении на их теплоотдачу.

Контрольные вопросы

1. Дать сравнительную оценку полученным значениям $Q_{\text{пр}}^{\text{эк}}$ и $Q_{\text{пр}}^{\text{т}}$ для радиаторных узлов с осевым и смещенным замыкающими участками.
2. Дать сравнительную оценку полученным значениям $Q_{\text{пр}}^{\text{эк}}$ и $Q_{\text{пр}}^{\text{т}}$ для радиаторных узлов при подаче теплоносителя в прибор по схемам сверху вниз и снизу вверх.
3. Какова точность измерения температуры теплоносителя и перепада давления и каково влияние этих величин на $Q_{\text{пр}}^{\text{эк}}$?
4. Дать объяснение возможным отклонениям полученных значений $Q_{\text{пр}}^{\text{эк}}$ и $Q_{\text{пр}}^{\text{т}}$.
5. От каких конструкций и эксплуатационных факторов зависит теплоотдача отопительного прибора?
6. От каких теплотехнических и гидравлических характеристик зависит теплоотдача отопительного прибора?
7. За счет каких факторов можно добиться увеличения теплоотдачи отопительного прибора?
8. Дать определение теплотехническим характеристикам $R_{\text{в}}$, $R_{\text{ст}}$, $R_{\text{н}}$.
9. Дать определение теплотехническим характеристикам $\alpha_{\text{в}}$, $\alpha_{\text{н}}$, $\alpha_{\text{ст}}$, $\lambda_{\text{ст}}$ и объяснить их влияние на теплоотдачу отопительного прибора.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пустыльник, Б.И. Статические методы анализа и обработки наблюдений [Текст] / Б.И. Пустыльник. – М.: Наука, 1968.
2. СП60.13330.2012. Отопление, вентиляция и кондиционирование. Актуализированная редакция СНиП 2.04.05-91 [Текст].
3. Справочник проектировщика: Ч. 1. Отопление [Текст]/ под ред. И.Г. Старовойтова [и др.]. – М.: Стройиздат, 1990.
4. Сканави, А.Н. Отопление [Текст]/А.Н. Сканави, А.М. Махов. – М.: АСВ, 2003
5. Краткий справочник химика [Текст]. – Л., 1948.
6. Одельский, Э.Х. Лабораторный практикум по теплогазоснабжению и вентиляции [Текст] / Э.Х. Одельский. – Минск: Стройиздат, 1973.
7. Отопление и вентиляция [Текст]: в 2 ч. / Н.Н. Каменев [и др.]. – М.: Стройиздат, 1980.
8. Справочник по теплоснабжению и вентиляции [Текст]: в 2 ч. / под ред. Р.В. Щекина [и др.]. – Киев: Будівельник, 1976.
9. Туркин, В. Отопление гражданских зданий [Текст] / В. Туркин. – Челябинск: Южноуральское кн. изд.-во, 1974.
10. Андреевский, А.К. Отопление [Текст] / А.К. Андреевский. – Минск: Высшая школа, 1974.
11. Дроздов, В.Ф. Отопление и вентиляция. Отопление [Текст] / В.Ф. Дроздов. – М.: Высшая школа, 1976.
12. Журавлев, В.А. Наладка и регулировка систем вентиляции и кондиционирования воздуха [Текст]: справочное пособие / В.А. Журавлев. – М.: Стройиздат, 1980.
13. Ерёмкин, А.И. Запорно-регулирующая арматура в системах отопления [Текст] /А.И. Ерёмкин [и др.]. – Пенза: ПГУАС, 2013. – 89 с.
14. Ерёмкин, А.И. Отопление. Современные отопительные приборы зданий и сооружений [Текст] / А.И. Ерёмкин, С.В. Баканова. – Пенза: ПГУАС, 2016.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

ОЦЕНКИ ПОГРЕШНОСТЕЙ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

Всякий результат наблюдений, связанных с измерениями, содержит ошибки различного происхождения. **Ошибкой измерения (или погрешностью)** называется разность $x - a$ между результатом измерения x и истинным значением a измеряемой величины. Ошибка измерения обычно неизвестна, как неизвестно и истинное значение измеряемой величины. Одной из главных задач определения погрешностей результатов эксперимента является оценка истинного значения измеряемой величины по полученным результатам.

Ошибки по своему характеру делят на три группы: грубые, случайные и систематические.

Систематические ошибки возникают вследствие определенных причин, например: из-за неправильной установки прибора (или указательной стрелки), из-за изменения параметров и свойств окружающего воздуха или другой среды. Они все время либо уменьшают, либо увеличивают результаты измерений. Систематические ошибки могут быть вычислены и исключены (вычтены) из результата измерения.

Случайные ошибки могут быть вызваны различными причинами, которые действуют при каждом из отдельных измерений непредвиденным образом, то увеличивая, то уменьшая результат измерения. Случайную ошибку можно рассматривать как суммарный эффект действия таких факторов.

Случайные ошибки являются неустранимыми, их нельзя определить и исключить из каждого результата измерения. Но с помощью методов теории вероятностей можно учесть их влияние на оценку истинного значения измеряемой величины, что позволяет за счет увеличения числа измерений определить значение измеряемой величины со значительно меньшей ошибкой, чем ошибки отдельных измерений.

Грубые ошибки (или промахи) возникают вследствие нарушения основных условий измерения или в результате просчета, неправильного чтения или записи показаний измерительного прибора, его неисправности и т.п. Результаты измерений, содержащие грубые ошибки, обычно сильно отличаются от других результатов измерений, поэтому часто бывают хорошо заметны. Учитывать такие результаты не имеет смысла, поэтому их отбрасывают и из дальнейшего анализа исключают.

Строго говоря, грубые ошибки относятся к разряду случайных в широком смысле этого понятия. В случаях, когда возникает сомнение в их наличии (ошибка не очень сильно выделяется), с помощью методов исключения грубых ошибок можно ее оценить и, таким образом, решить, учитывать или не учитывать в дальнейшем анализе данный результат измерения.

Изучение случайных и грубых ошибок является предметом раздела математической статистики под названием «Теория ошибок», основные задачи которого: поиск законов распределения случайных ошибок, нахождение оценок неизвестных измеряемых величин по результатам измерений, установление погрешностей таких измерений и устранение грубых ошибок.

Пусть в результате n независимых равноточных измерений некоторой неизвестной величины a получены значения x_1, x_2, \dots, x_n . Тогда разности

$$\Delta_1 = x_1 - a, \Delta_2 = x_2 - a, \dots, \Delta_n = x_n - a,$$

называемые **истинными** или **абсолютными** ошибками, рассматриваются как случайные величины.

Если результаты измерений не содержат систематических ошибок, средняя арифметическая величина всех измерений

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (\text{П1})$$

при нормальном законе распределения случайных величин представляет собой величину, наиболее приближенную к истинному значению a измеряемой величины. Иначе говоря, при бесконечно большом увеличении числа измерений n величина \bar{x} стремится к a . Практически достаточно выполнить 10–12 измерений, чтобы быть уверенным в том, что средний результат отличается от истинной величины раз в десять менее, чем любое из крайних значений.

Для оценки погрешности измерения применяются такие показатели, как **средняя квадратическая ошибка** измерения или **стандартная ошибка, стандарт измерения**:

1) при известном значении измеряемой величины a

$$\sigma_0 = \sqrt{\frac{(x_1 - a)^2 + (x_2 - a)^2 + \dots + (x_n - a)^2}{n}} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta_i^2}; \quad (\text{П2})$$

2) при неизвестном значении измеряемой величины

$$\sigma = \sqrt{\frac{(x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + \dots + (x_n - \bar{x})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_1^n (x_i - \bar{x})^2}. \quad (\text{П3})$$

Поскольку мы обычно не знаем точного значения измеряемой величины a , то используем соотношение (П3), называемое также **среднеквадратическим отклонением результатов наблюдений** или **эмпирическим стандартом**. Заметим, что выражение (П3) по сути является приближенной оценкой σ .

Применяют также понятие о **дисперсии результата наблюдения** $D\bar{x}$, равной квадрату стандартной ошибки, т.е.

$$D\bar{x} = \sigma^2. \quad (\text{П4})$$

Иногда используют и другие показатели погрешности измерений [1]:
вероятную ошибку

$$\rho = 0,6745; \quad (\text{П5})$$

среднюю абсолютную ошибку

$$\theta = \sigma \frac{2}{\sqrt{2\pi}} = 0,7979\sigma; \quad (\text{П6})$$

меру точности

$$h = 1/(\sigma\sqrt{2}) = 0,7071. \quad (\text{П7})$$

Однако наиболее определенное представление о погрешности измерений дает нам величина так называемого доверительного интервала $[\bar{x} - \Delta_0, \bar{x} + \Delta_0]$, в который с заданной степенью надежности попадает a . Степень надежности принимают обычно в пределах от 0,95 до 0,999, в зависимости от поставленной цели эксперимента. Граница доверительного интервала Δ_0 определяется с помощью распределения Стьюдента:

$$\Delta_0 = t(P, n) \sigma / \sqrt{n} = t(P, n) \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_1^n (x_i - \bar{x})^2}. \quad (\text{П8})$$

Коэффициент Стьюдента $t(P, n)$ можно определить по табл. П1 в зависимости от надежности P и числа результатов измерений n [2].

Величину

$$S = \sigma / \sqrt{n} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_1^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (\text{П9})$$

называют также выборочным среднеквадратическим отклонением результата измерения [4], которое характеризует точность результата серии измерений (выборки).

Из формулы (П9) видно, что точность результата тем выше, чем больше n . Если требуется получить заданную точность S , то по известной (или полученной ранее) величине можно определить количество наблюдений, необходимое для достижения заданной точности [4]:

$$n = \sigma^2 / S^2. \quad (\text{П10})$$

Т а б л и ц а П1

Коэффициенты Стьюдента $t(P, n)$

	P				
	0,90	0,95	0,98	0,99	0,999
3	2,920	4,303	6,965	9,925	31,598
4	2,353	3,182	4,541	5,841	12,941
5	2,132	2,776	3,747	4,604	8,610
6	2,015	2,571	3,365	4,032	6,859
7	1,943	2,447	3,143	3,707	5,959
8	1,895	2,365	2,998	3,499	5,405
9	1,860	2,306	2,896	3,355	5,041
10	1,833	2,262	2,821	3,250	4,781
12	1,796	2,201	2,718	3,106	4,487
14	1,771	2,160	2,650	3,012	4,221
16	1,753	2,131	2,602	2,947	4,073
18	1,740	2,110	2,567	2,898	3,965
20	1,729	2,093	2,539	2,861	3,883
25	1,711	2,064	2,492	2,797	3,745
30	1,699	2,045	2,462	2,756	3,659
40	1,683	2,023	2,426	2,708	3,559
50	1,675	2,009	2,401	2,679	3,502
80	1,664	1,991	2,375	2,640	3,418
	1,645	1,960	2,326	2,576	3,291

Для полноты представления о точности измерения недостаточно оценки погрешности. Например, при измерении температуры выше 100°C погрешность в $0,5^\circ\text{C}$ может считаться вполне приемлемой. Но при измерении температуры в интервале $\pm 5^\circ\text{C}$ такая же погрешность, как правило, не дает достаточной точности измерения. Для её оценки определяют относительные ошибки (погрешности) измерения:

относительная ошибка отдельного измерения

$$\delta = \Delta_i / \bar{x}; \quad (\text{П11})$$

относительная средняя квадратическая ошибка измерения

$$\delta_\sigma = \sigma / \bar{x}. \quad (\text{П12})$$

Очень важной задачей при обработке результатов измерений является обнаружение и исключение грубых ошибок. Если результат измерения вызывает сомнение в его достоверности, лучше всего его отбросить, а измерение повторить. Если повторить измерение невозможно, то оценку результата на наличие грубой ошибки можно произвести с помощью ряда критериев [3].

Наиболее простым является **критерий 3 (правило трех сигм)** [1]. В этом случае подозреваемый результат измерения $x_{\text{под}}$ предварительно отбрасывается и определяются \bar{x} по формуле (П1) и σ по формуле (П3). Если окажется, что

$$|x_{\text{под}} - \bar{x}| > 3\sigma, \quad (\text{П13})$$

то подозреваемый результат можно считать содержащим грубую ошибку. Вероятность того, что этот результат появился вследствие случайных причин, не превышает 0,0027. По принципу практической невозможности появления маловероятных событий его следует отбросить.

Различают прямые и косвенные измерения. Если определяемая величина получается в результате сравнения с мерой (например, метром и его долями – мерной линейкой, рулеткой и т.п.; килограммом на рычажных весах с использованием набора гирь и т.д.) или с помощью измерительного прибора, проградуированного в соответствующих единицах, такое измерение называется прямым.

При косвенных измерениях искомая величина определяется с помощью математических операций над результатами прямых измерений других величин, связанных с искомой величиной определенной функциональной зависимостью. Например, при определении расхода объемным методом определяют время t , затрачиваемое на заполнение известного объема V_0 водой или другой жидкостью, а затем вычисляют расход G по формуле

$$G = V_0/t.$$

Примем для случая зависимости искомого результата Z от результата измерения одной величины X :

$$Z = f(X). \quad (\text{П14})$$

Тогда погрешность косвенного измерения можно определить как [2]:

$$\Delta_z = \Delta_x \frac{df}{fx}(\bar{X}), \quad (\text{П15})$$

где $\frac{df}{fx}(\bar{X})$ – производная в точке, где X равен среднему значению, определенному по формуле (П1).

Для приведенного выше примера

$$\Delta_G = \Delta_t \frac{V_0}{t^2} \Big|_{t=\bar{t}}.$$

ЕДИНИЦЫ ИЗМЕРЕНИЙ

ГОСТ 8.563.2–97. ИЗМЕРЕНИЕ РАСХОДА И КОЛИЧЕСТВА ЖИДКОСТЕЙ И ГАЗОВ МЕТОДОМ ПЕРЕМЕННОГО ПЕРЕПАДА ДАВЛЕНИЯ. МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ СУЖАЮЩИХ УСТРОЙСТВ

При выполнении расчетов, связанных с переводом единиц давления или перепада давления из одной системы в другую, рекомендуется использовать соотношения:

$$\checkmark \text{ Па} = 10^{-5} \text{ бар} = 1,01972 \cdot 10^{-5} \text{ кгс/см}^2 = 7,5006 \cdot 10^{-3} \text{ мм рт.ст.} = \\ = 1,0197 \cdot 10^{-1} \text{ мм вод.ст.};$$

$$\checkmark \text{ бар} = 10^5 \text{ Па} = 1,01972 \text{ кгс/см}^2 = 7,50075 \cdot 10^2 \text{ мм рт.ст.} = \\ = 1,0197 \cdot 10^{-1} \text{ мм вод.ст.};$$

$$\checkmark \text{ кгс/см}^2 = 9,80665 \cdot 10^4 \text{ Па} = 9,80665 \cdot 10^{-1} \text{ бар} = 7,3556 \cdot 10^2 \text{ мм} \\ \text{рт.ст.} = 10^4 \text{ мм вод.ст.};$$

$$\checkmark \text{ мм рт.ст.} = 1,3332 \cdot 10^2 \text{ Па} = 1,3332 \cdot 10^{-3} \text{ бар} = 1,3595 \cdot 10^{-3} \text{ кгс/см}^2 = \\ = 1,3595 \cdot 10 \text{ мм вод.ст.};$$

$$\checkmark \text{ мм вод.ст.} = 9,80665 \text{ Па} = 9,80665 \cdot 10^{-5} \text{ бар} = 10^{-4} \text{ кгс/см}^2 = \\ = 7,3556 \cdot 10^{-2} \text{ мм рт.ст.}$$

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	3
Лабораторная работа № 1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ВОДЫ, ВЫНОСЯЩЕЙ ПУЗЫРЬКИ ВОЗДУХА, ПРИ РАЗЛИЧНЫХ УКЛОНАХ ТРУБ.....	5
Лабораторная работа № 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ВОЗДУХА В ВОДЕ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ.....	11
Лабораторная работа № 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ ОТОПИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ.....	20
Лабораторная работа № 4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТЕРЬ ДАВЛЕНИЯ НА ПРЕОДОЛЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ТРЕНИЯ В ТРУБАХ.....	28
Лабораторная работа № 5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ КОЭФФИЦИЕНТОВ МЕСТНЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ.....	34
Лабораторная работа № 6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ЗАТЕКАНИЯ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ В ОТОПИТЕЛЬНЫЙ ПРИБОР.....	36
Лабораторная работа № 7. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛООТДАЧИ ОТОПИТЕЛЬНОГО ПРИБОРА.....	44
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	53
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	54

Учебное издание

Еремкин Александр Иванович
Баканова Светлана Викторовна

ОТОПЛЕНИЕ

Учебно-методическое пособие к лабораторным работам
по направлению подготовки 08.03.01 «Строительство»

Редактор М.А. Сухова
Верстка Н.А. Сазонова

Подписано в печать 20.04.16. Формат 60×84/16.
Бумага офисная «Снегурочка». Печать на ризографе.
Усл.печ.л. 3,49. Уч.-изд.л. 3,75. Тираж 80 экз.
Заказ № 212.

Издательство ПГУАС.
440028, г. Пенза, ул. Германа Титова, 28.