

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ВОЗДУХА В ВОДЕ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ЕЕ ТЕМПЕРАТУРЫ

## 1. НАЗНАЧЕНИЕ РАБОТЫ

В системах центрального отопления, особенно в водяных скопления воздуха нарушат циркуляции теплоносителя и вызывает коррозии стали. Борьба с воздушными скоплениями - весьма важная задача, которую необходимо разрешать при проектировании и эксплуатации систем. Для проведения необходимых мероприятий следует выяснить сущность процессов растворения и перехода воздуха в свободное состояние.

Конечной целью данной лабораторной работы является исследование и определение содержания воздуха в воде в зависимости от ее температуры.

## 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАБОТЫ

Сухой воздух состоит из азота, кислорода, углекислого и других газов (табл.2.1). При растворении воздуха в воде соотношение между содержанием кислорода, азота и углекислого газа сильно изменяется, так как степень растворимости кислорода и углекислого газа выше, чем азота.

Таблица 2.1.

Содержание газов в воздухе, растворенном в воде

Наименование газов	Содержание основных газов в % по объему	
	В сухом атмосферном воздухе	В воздухе, растворенном в воде
Кислород O <sub>2</sub>	20,99	35,01
Азот N <sub>2</sub>	78,98	63,25
Углекислый газ CO <sub>2</sub>	0,03	1,74

Количество растворенного воздуха, вводимого в системы отопления при периодических добавках воды в процессе их эксплуатации, зависит от содержания воздуха в подпиточной воде. Подпиточная водопроводная вода содержит свыше 30 г, воздуха в 1 т воды, а подпиточная вода из теплофикационной сети, специально деаэрированная (лишенная воздуха), содержит воздуха меньше 1г/т, но при этом появляется водород и даже метан.

Повышение температуры воды и понижения гидростатического давления сопровождается переходом абсорбированного воздуха в свободное состояние.

Растворимость воздуха (насыщающая концентрация) в одетой воде при атмосферном давлении (103,36 КПа или 760 мм рт.ст.) зависит от температуры воды, что видно из следующих данных:

температура воды, °С	5	30	50	70	90	95
растворимость воздуха $r_a, \frac{g}{m}$	33	20	12	11	5	3

Таким образом, при повышении температуры воды значительно снижается со-

держание в ней растворенного воздуха. Следовательно, в тех местах систем отопления, где горячая вода находится под атмосферным давлением, в свободное состояние переходит наибольшее количество воздуха.

При повышении давления задерживается переход абсорбированного воздуха в свободное состояние. Зависимость растворимости воздуха в воде от давления с достаточной точностью выражается законом Генри - абсорбируемое количество газа пропорционально его давлению ( при данной температуре).

### 3. ОПИСАНИЕ ОПЫТНОЙ УСТАНОВКИ

Определение растворимости воздуха в зависимости от температуры производится с помощью установки, изображенной на рис.3.1.

### 4. ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

При открытом кране 3 через воронку 5 заполнить водой сосуд 1 до нулевого деления мерной трубки 2. Поставить сосуд 1 на электроплитку 7 и включить ее в сеть. Через каждые 5 минут брать отсчеты по мерной трубке 2. Сделать не менее 10 замеров. При нагревании воды до 95°C прекратить замеры и выключить электроплитку 7.

Схема опытной установки.

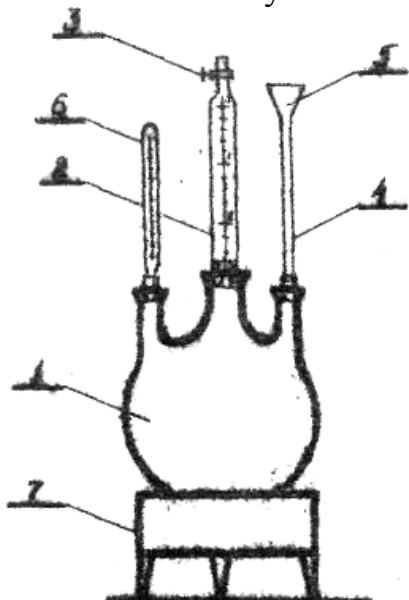


Рис 3.1.

1- стеклянный сосуд; 2 - мерная трубка для сбора выделяющегося из воды воздуха; 3- кран; 4 - стеклянная трубка; 5 - воронка; 6 - термометр; 7 - электроплитка

### 5. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ

Результаты измерений и вычислений занести в таблицу

Таблица 5.1.

#### Результаты измерений и вычислений

№ опыта	Время замера, часы, минуты			Температура воды $t$ , °C	Отсчет по мерной трубке $V_t$ , см <sup>3</sup>	Прирост объема воздуха $\Delta V$ , см <sup>3</sup>
	начало	конец	Продолжительность замера °C			
1	2	3	4	5	6	7

По данным таблица 5.1 построить график в координатах  $t, ^\circ\text{C}$  и  $V_T, \text{см}^3$ .  
Требования к написанию отчета по работе даны в приложении 1.

## 6. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ

Необходимо выполнять обилие требования безопасности при работе с электроприборами. Совладать меры предосторожности, исключая возможность разлива воды. Приступать к выполнению экспериментальной части после разрешения преподавателя и проводить ее под его наблюдением.

## Лабораторная работа №2

# ИССЛЕДОВАНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ЗАТЕКАНИЯ ВОДЫ В ОТОПИТЕЛЬНЫЙ ПРИБОР

## 1 НАЗНАЧЕНИЕ РАБОТЫ

Цель – исследовать и найти величину коэффициента затекания воды в нагревательный прибор опытным путем при различных схемах его подключения к сети.

## 2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАБОТЫ

Коэффициентом затекания воды в отопительный прибор называется отношение массы воды, поступающей в нагревательный прибор, к массе воды, протекающей, по стояку, т.е.

$$a = \frac{G_{np}}{G_{cm}}, \quad (2.1)$$

где  $G_{np}$  - расход воды, протекающей через отопительный прибор, кг/с;

$G_{cm}$  - расход воды, протекающей через стояк, кг/с.

Чем больше коэффициент затекания, тем больше воды пройдет через прибор и, следовательно, тем меньшая поверхность нагрева прибора будет необходима.

Значение коэффициента затекания зависит, прежде всего, от схемы подключения прибора к сети и от направления движения и расхода воды в стояках: при движении воды сверху вниз  $a$  возрастает по мере сокращения ее расхода, при движений воды снизу вверх – уменьшается.

Величина коэффициента затекания зависит от сочетания диаметров труб приборного узла (стояка, замыкающего участка и подводок), а также от скорости воды в стояке. При двухстороннем присоединений приборов к стоякам увеличение длины подводки к одному из приборов очень мало влияет на изменение величины  $a$ , поэтому в практических расчетах при равенстве диаметров подводок коэффициенты затекания принимаю одинаковыми независимо от длины подводок.

В проточных системах отопления при одностороннем присоединения  $a = 1$ , а при двухстороннем – 0,5.

Значения коэффициента затекания повышается в следующих случаях: при смещении замыкающего участка от оси стояка в сторону прибора, увеличении диаметра и сокращений длины подводок к прибору, уменьшении диаметра замыкающего участка.

Теплопроизводительность отопительного прибора  $Q$ , Вт, определяется по формулам

$$Q = G_{cm} \cdot C \cdot (t_{вк} - t_{см}), \quad (2.2)$$

$$Q = G_{np} \cdot C \cdot (t_{вк} - t_{вык}), \quad (2.3)$$

где  $G_{cm}$  – то же, что в формуле (2.1);

$C$  – массовая теплоемкость воды  $C = 4190$  Дж/кг ;

$t_{вк}$  – температура воды, поступающей в прибор, °С;

$t_{см}$  – температура смешанной воды, °С;

$G_{np}$  – то же, что в формуле (2.1);

$t_{вык}$  – температура воды, выходящей из отопительного прибора, °С.

Приведем выражения (2.2) и (2.3) и виду

$$\frac{Q}{G_{cm}} = C \cdot (t_{вк} - t_{см}) \quad (2.4)$$

$$\frac{Q}{G_{np}} = C \cdot (t_{вк} - t_{вык}), \quad (2.5)$$

поделив одно на другое получим выражение для определения коэффициента затекания

$$a = \frac{G_{np}}{G_{cm}} = \frac{t_{вк} - t_{см}}{t_{вк} - t_{вык}} \quad (2.6)$$

### 3 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Перед началом работы необходимо изучить методические указания и ознакомиться с опытной установкой рис.3.1. Затем открыть кран 22 и убедиться в наличии воды в баке 1 (из трубопровода вода должна вытекать в сливной бак 21). Увеличивая или уменьшая степень открытия крана 22, устанавливается необходимый расход теплоносителя через приборный узел. После достижения установившегося состояния (о котором судят по неизменности показания термомпар) можно проводить опыт. Шланг 25 перебрасывается в мерный бак 19 и производится засечка времени. При этом вентиль 14 у мерного бака должен быть закрыт. Записываются значения температур в точках 6, 7 и 8 последовательно устанавливая переключатель 29 потенциометра 28 в нужное положение. В момент заполнения мерного бака примерно до половины его емкости производится еще один замер температур.

В момент заполнения мерного бака до условной черты производится второй отсчет времени и записываются в третий раз значения температур в точках 6, 7 и 8.

Подобные опыты следует произвести не менее пяти раз. При этом каждый раз следует устанавливать новое значение расхода воды, регулируемое краном 22. При проведении опытов пробковые Краны 4 и 5 должны быть открыты.

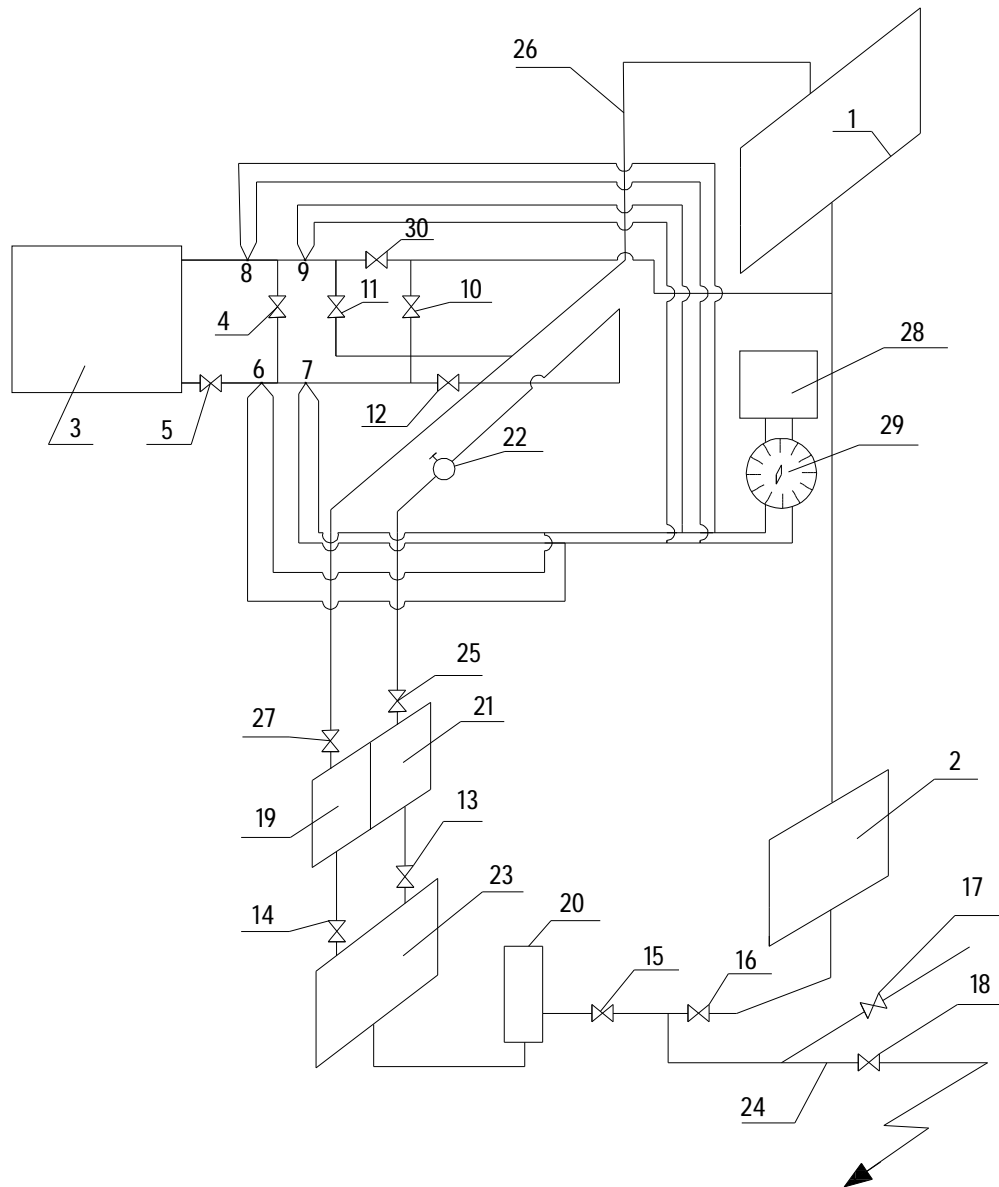


Рисунок 2.1 – Схема опытной установки

1 – бак с горячей водой; 2 – водоподогреватель; 3 – отопительный прибор; 4 и 5 – краны; 6, 7, 8 и 9 – точки установки термомпар; 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18 – вентили; 19 – мерный бак; 20 – насос; 21 – сливной бак; 22 – водоразборный кран; 23 – сборный бак; 24 – спускная труба; 25 – резиновый шланг; 26 – воздухоотводящая труба; 27 – вентиль; 28 – потенциометр; 29 – переключатель термомпар; 30 – вентиль.

#### 4 ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ

По данным измерений для каждого опыта определяется среднее арифметическое трех измерений температуры воды в точках 8, 7 и 6. Значения этих температур заносятся в графы 7, 8, 9 табл.4.1.

Таблица 4.1.

Результаты измерений и вычислений

№ опыта	Объем мерного бака $v$ , л	Время наполнения $\tau$ , с	Температуры, град. в точках						Коэффициент затекания $\alpha$
			8 $t_{\text{вх}}$	7 $t_{\text{см}}$	6 $t_{\text{вых}}$	8 $t_{\text{вх}}$	7 $t_{\text{см}}$	6 $t_{\text{вых}}$	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

1	1								
	2								
	3								
2	1								
	2								
	3								
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....

По формуле (2.6) для каждого опыта определяется коэффициент затекания воды в отопительный прибор. Значения этого коэффициента заносятся в графу 10 табл. 4.1. Определенное из опыта значение коэффициента затекания сравнивается с данными литературных источников (табл. 4.2.). При использовании табл. 4.2. следует иметь в виду, что в лабораторной установке (рис. 3.1.) использован приборный узел  $d_1 \times d_2 \times d_3 = 15 \times 15 \times 15$ , где  $d_1$  – диаметр стояка, скорость воды в стояке  $w$ , м/с, определяется по формуле

$$w = \frac{G_{cm}}{r \cdot z} \quad (4.1)$$

где  $G_{cm}$  – то же, что и в формуле (2.1);

$r$  – плотность воды в стояке, кг/м<sup>3</sup>;

$z$  – площадь живого сечения трубопровода, м<sup>2</sup>.

Таблица 4.2.

Коэффициенты затекания  $\alpha$  в приборы однотрубных систем отопления со смещенными замыкающими участками

Эскиз радиаторного узла	Условный диаметр труб, мм			Значение $\alpha$ при скорости воды в стояке, м/с			
	$d_1$	$d_2$	$d_3$	0,1	0,2	0,3	0,4
1	2	3	4	5	6	7	8
	32	25	20	0,35	0,28	0,26	0,26
	25	20	20	0,45	0,34	0,32	0,31
	20	15	20	0,65	0,6	0,54	0,52
	25	20	15	0,26	0,2	0,18	0,18
	20	15	15	0,45	0,42	0,39	0,37
	15	15	15	0,52	0,446	0,43	0,43

Плотность воды в стояке определяется по приложения 3 и соответствует температуре, измеренной термопарой, установленной в точке 8.

Массовый расход воды, протекающей через стояк  $G_{cm}$  кг/с, определяется по формуле

$$G_{cm} = V \cdot r \quad (4.2)$$

где  $V$  – объемный расход теплоносителя, м<sup>3</sup>/с;

$r$  – то же, что в формуле (4.1),

Объемный расход теплоносителя  $V$ , м/с, измеренный с помощью мерного бака вычисляется по формуле

$$V = \frac{J}{t} \quad (4.3)$$

где  $J$  – емкость мерного бака, принятая до условной черты, м<sup>3</sup>,  
 $t$  – продолжительность опыта, с.

Найденное из опыта значение коэффициента затекания (табл.4.1) сравнивается со значениями коэффициента затекания определенными по табл.4.2. Подсчитывается процент отклонения и при значительном отклонений (больше 15%) объясняется возможная их причина. Кроме того, строится график зависимости коэффициента затекания от скорости теплоносителя в стояке.

## 5 ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ

Неисправности технической части оборудования разрешается устранять только электрикам.

К оголенным проводам и токоведущим частям оборудования нельзя прикасаться.

При работе с подогревателем запрещается:

- а) приступать к эксплуатации до тщательного ознакомления с инструкцией;
- б) оставлять без присмотра водоподогреватель в рабочем состоянии;
- в) эксплуатировать подогреватель без заземления.

Перед началом лабораторной работа кран воздухоотводящей трубки верхнего расширительного сосуда водоподогревателя должен быть открыт и оставаться в таком положении в течение всего времени выполнения лабораторной работы.

При работе с потенциометром строго запрещается включать схему под напряжение без предварительной проверки и разрешения руководителя. Не допускается оставлять потенциометр без наблюдений.



## ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ ОТОПИТЕЛЬНОГО ПРИБОРА

## 1. НАЗНАЧЕНИЕ РАБОТЫ

Отопительные приборы - один из основных элементов систем водяного и парового отопления - предназначены для передачи теплоты от теплоносителя в помещения зданий, в которых необходимо обеспечить требуемый температурный режим. Тепловой поток, передаваемый от теплоносителя в помещение через стенку прибора, обычно называют теплопередачей прибора. Исследование теплопередачи прибора является задачей настоящей работы.

## 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАБОТЫ

Теплопередача отопительного прибора  $Q$ , Вт, может быть определена по выражениям:

$$Q = G_{cm} \cdot C \cdot (t_{ex} - t_{cm}), \quad (2.1)$$

$$Q = G_{np} \cdot C \cdot (t_{ex} - t_{вых}), \quad (2.2)$$

$$Q = \frac{F_3 \cdot K_3 \cdot (t_{cp} - t_6)}{b_1 \cdot b_2 \cdot b_3 \cdot b_4}, \quad (2.3)$$

где  $G_{cm}$  - расход воды, протекающей через стояк, кг/с;

$C$  - массовая теплоемкость воды, Дж/кгК;

$t_{ex}$  - температура воды, поступающей в прибор, °С

$t_{cm}$  - температура смешанной воды, °С .

$G_{np}$  - расход воды, протекающей через прибор, кг/с;

$t_{вых}$  - температура воды, выходящей из нагревательного прибора, °С;

$F_3$  - поверхность нагревательного прибора, м<sup>2</sup>;

$K_3$  - коэффициент теплопередачи нагревательного прибора, Вт/м<sup>2</sup>К;

$t_{cp}$  - средняя температура воды в нагревательном приборе, °С;

$t_6$  - температура воздуха в помещении, °С;

$b_1$  - поправочный коэффициент, принимается в зависимости от количества секций в нагревательном приборе по табл.2.1;

$b_2$  - поправочный коэффициент, учитывающий остывание воды в трубах;

$b_3$  - коэффициент, учитывающий способ установки нагревательного прибора и всякого рода укрытия: при установке нагревательного прибора открыто у стены или на стенде этот коэффициент равен 1.

$b_4$  - коэффициент, учитывающий схему подачи теплоносителя в прибор и изменение теплопередачи в зависимости от относительного расхода воды через прибор; принимается по табл. 2.2.

Таблица 2.1.

Значение поправочного коэффициента  $b_1$ 

Число секций	до 5	6-8	9-14	15 и более
Коэффициент $b_1$	0,95	1	1,02	1,05

Таблица 2.2.

Значение поправочного коэффициента  $b_2$ 

Схема подачи теплоносителя в прибор	При относительном расходе воды						
	1	2	3	4	5	6	7 и более
«Сверху-вниз»	1	0,98	0,97	0,96	0,95	0,95	0,94
«Снизу-вверх»	1,28	1,22	1,18	1,18	1,14	1,12	1,09

Значение массовой теплоемкости воды следует принимать равной  $C = 4190$  Дж/КГК. Температура воды  $t_{\text{вх}}$  измеряется в точке 8 (рис.1), температура  $t_{\text{см}}$  - в точке 7, а температура  $t_{\text{вых}}$  - в точке 6. В лабораторной работе используется в качестве отопительного прибора - радиатор типа М-140-АО с поверхностью нагрева одной секции  $0,287 \text{ м}^2$

Коэффициент теплопередачи радиатора  $K_s$ , Вт/эмК, может быть определен по несколько упрощенной зависимости

$$K_s = 6,82 + 0,0427(t_{\text{cp}} - t_s), \quad (2.4)$$

где  $t_{\text{cp}}$  и  $t_s$  - то же, что в формуле (2.3).

Формула (2.4) действительна для случая открытой установки прибора около наружной стены при одностороннем присоединении по схеме подводки теплоносителя "сверху - вниз" и относительном расходе равном единице.

Средняя температура воды в отопительном приборе  $t_{\text{cp}}$ , °С, определяется по формуле

$$t_{\text{cp}} = \frac{t_{\text{вх}} + t_{\text{вых}}}{2}, \quad (2.5)$$

где  $t_{\text{вх}}$  и  $t_{\text{вых}}$  - то же, что в формуле (2.2).

Значение поправочного коэффициента  $b_2$ , учитывающего остывание воды в трубах можно принять равным 1. В рассматриваемом случае температура воды измеряется у отопительного прибора, а остыванием воды в трубах пренебрегаем.

Относительный расход воды через нагревательный прибор определяется по формуле

$$\bar{G} = \frac{G_{\text{np}}}{0,0059 \cdot F_s}, \quad (2.6)$$

где  $G_{\text{np}}$  и  $F$  - то же, что в формуле (2.3).

### 3. ОПИСАНИЕ ОПЫТНОЙ УСТАНОВКИ

Опытная установка (рис.3.1) состоит из водонапорного бака 1, водоподогревателя 2, отопительного прибора 3, пробковых кранов 4 и 5, вентилей 10,11,12,13,14,15,16,17,18,30, насоса 20, сливного бака 21, водоразборного крана 22, сборного бака 23, спускной трубы 24, резинового шланга 25. Для удаления воздуха из бака 1 при его заполнении водой предусмотрена воздухоотводящая труба 26 с вентилем 27. Температура воды при проведении опыта измеряется термомпарами, установленными в точках 6, 7, 8 и 9 и потенциометром 28 с переключателем термопар 29.

### 4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Перед началом работы необходимо изучить методические указания к работе и ознакомиться с опытной установкой. Затем открыть кран 22 и убедиться а наличии воды в баке 1 (из трубопровода вода должна вытекать в сливной бак 21). Увеличивая или уменьшая степень открытия крана 22 устанавливается необходимый расход теплоносителя через прибор. После достижения установившегося состояния (о нем судят по неизменности показаний термомпар) можно проводить опыт. Шланг 25 перебрасывается в мерный бак 19 и производится засечка времени. При этом вентиль 14 у мерного бака должен быть закрыт. Записываются значения температур в точках 6 и 8 последовательно устанавливая переключатель 29 потенциометра 28 в нужное положение. В момент заполнения мерного бачка примерно до половины его емкости производятся еще один замер температур. В момент заполнения мерного бачка до условной черты производится второй отсчет времени и записываются в третий раз значения температур в точках 6 и 8.

Схема опытной установки

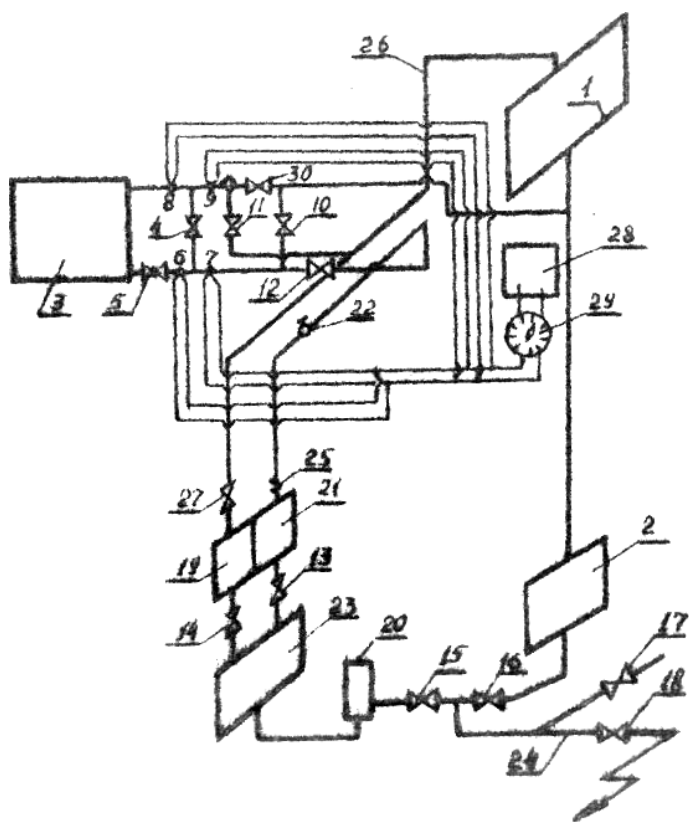


Рис 3.1.

1 – бак с горячей водой; 2 – водоподогреватель; 3 – отопительный прибор; 4 и 5 – краны; 6, 7, 8 и 9 – точки установки термомпар; 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18 – вентили; 19 – мерный бак; 20 - насос; 21 – сливной бак; 22 – водоразборный кран; 23 – сборный бак; 24 – спускная труба; 25 – резиновый шланг; 26 – воздухоотводящая труба; 27 – вентиль; 28 – потенциометр; 29 – переключатель термомпар; 30 – вентиль

Подобные опыты следует произвести не менее пяти раз. При этом каждый раз следует устанавливать новое значение расхода воды регулируемое краном 22.

Лабораторная установка позволяет определить теплопередачу прибора и при схеме движения воды через него " снизу - вверх". В этом случае вентили 12, 30 и кран 4 должны быть закрыты, а вентили 10 и 11 открыты. Температура воды  $t_{ex}$  измеряется в точке 6, а температура  $t_{вых}$  - в точке 8.

## 2 ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ

Результаты измерений и вычислений при проведении работы должны быть занесены в табл.5.1.

Таблица 5.1.

Результаты измерений и вычислений

1	Температура, °С				6	7	8	Поправочные коэффициенты				13	14
	2	3	4	5				9	10	11	12		
Поверхность нагревательного прибора $F_3, м^2$	Температура воды, поступающей в прибор (т. 8)	Смешанной воды $t_{см}$ (т. 7)	Воды, из нагревательного прибора $t_{вых}$ (т. 6)	Воздуха $t_в$	Коэффициент теплопередачи $K_3, Вт/м^2К$	Расход воды протекающий через стояк $G_{ст}, кг/с$	Расход воды, протекающий через прибор, $кг/с$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	$\beta_4$	Относительный расход воды через отопительный прибор $G$	Теплопередача нагревательного прибора $Q, Вт$

Теплопередача отопительного прибора  $Q, Вт$ , определяется по формулам (2.3) и (2.2). При этом коэффициент теплопередачи нагревательного прибора  $K_3, Вт/м^2К$ , определяется по формуле (2.4), а средняя температура воды в нагревательном приборе  $t_{cp}, °С$  по формуле (2.5). Значения поправочных коэффициентов  $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$  берутся из табл.2.1 и 2.2 и в соответствии с изложенными выше рекомендациями. Относительный расход воды  $G$  через отопительный прибор определяется по формуле (2.6).

Объемный расход теплоносителя  $V, м^3/с$ , измеренный с помощью мерного бака, вычисляют по формуле

$$V = \frac{J}{t}, \quad (5.1)$$

где  $J$  - емкость мерного бачка, принятая до условной черты,  $м^3$ ;  
 $t$  - продолжительность опыта, с.

Массовый расход теплоносителя  $G, кг/с$ , определяется по формуле

$$G = V \cdot r, \quad (5.2)$$

где  $V$  - то же, что в формуле (5.1);

$r$  - плотность воды в мерном баке,  $\text{кг/м}^3$ .

Плотность воды в мерном баке определяется по приложению 3 и соответствует температуре, измеренной термопарой, установленной в точке 7. Найденный по формуле (5.2) массовый расход теплоносителя будет равен расходу воды, протекающей через прибор  $G_{np}$   $\text{кг/с}$ , если при проведении опыта кран 4 закрыт, а кран 5 открыт. В этом случае будут одинаковыми и температуры, измеренные термопарами, установленными в точках 6 и 7.

При необходимости могут быть использованы результаты измерения величин в работе 2. В этом случае теплопередача отопительного прибора  $Q$ , Вт, определяется по формулам (1), (2) и (3), а в таблице 3 заполняется графа 3. Измерения величин производится при различных расходах теплоносителя, а затем строится график зависимости теплопередачи от расхода теплоносителя.

Требования к написанию отчета по работе даны в приложении 1.

### 3 ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ

Неисправности технической части оборудования разрешается устранять только электрикам.

К оголенным проводам и токоведущим частям оборудования нельзя прикасаться.

При работе с подогревателем запрещается:

- а) приступать к эксплуатации до тщательного ознакомления с инструкцией;
- б) оставлять без присмотра водоподогреватель в рабочем состоянии;
- в) эксплуатировать подогреватель без заземления.

Перед началом лабораторной работы кран воздухоотводящей трубки верхнего расширительного сосуда водоподогревателя должен быть открыт и оставаться в таком положении в течение всего времени выполнения лабораторной работы.

При работе с потенциометром строго запрещается включать схему под напряжение без предварительной проверки и разрешения руководителя.

## ИССЛЕДОВАНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ ОТОПИТЕЛЬНОГО ПРИБОРА

### 1. НАЗНАЧЕНИЕ РАБОТЫ

Передача теплоты от теплоносителя - воды или пара - в помещение происходит через стенку отопительного прибора. Интенсивность теплового потока характеризуется коэффициентом теплопередачи  $K_3$ . Величина коэффициента теплопередачи выражается плотностью теплового потока на внешней поверхности стенки, отнесенного к разности температуры теплоносителя и воздуха, разделенных стенкой.

Эффективность работы нагревательных приборов и Точность расчета их требуемой поверхности влияет на комфортность воздушной среды для жизни и работы людей, а также на установочную стоимость систем центрального отопления зданий.

В задачу данной работы входит исследование коэффициента теплопередачи отопительного прибора – радиатора РСГ2.

### 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАБОТЫ

Применительно к принятой лабораторной установке (рис.2.1) коэффициент теплопередачи прибора  $K_{31}$ , Вт/м<sup>2</sup>К, определяется по формуле

$$K_{31} = \frac{J \cdot r \cdot (t_{ex} - t_{вых}) \cdot C}{t \cdot F_3 \cdot \left( \frac{t_{ex} + t_{вых}}{2} - t_e \right)}, \quad (2.1)$$

где  $J$  - объем мерного бачка, м<sup>3</sup>;

$r$  - средняя плотность воды в приборе, кг/м<sup>3</sup>, принимается по приложению 3;

$t_{ex}$  - температура воды, поступающей в прибор, °С;

$t_{вых}$  - температура воды, уходящей из прибора, °С;

$t$  - время наполнения мерного бачка, с;

$F_3$  - поверхность нагрева прибора, м<sup>2</sup>, для радиатора РСГ2 равная 0,54;

$t_e$  - температура воздуха в помещении, °С;

$C$  – 4190 Дж/кгК – массовая теплоемкость воды.

Полученное значение коэффициента теплопередачи  $K_{31}$ , Вт/м<sup>2</sup>К необходимо сравнить со значением коэффициента теплопередачи  $K_{32}$ , Вт/м<sup>2</sup>К, вычисленным по формуле

$$K_{32} = m \cdot \Delta t_{cp}^n \cdot \bar{G}^p, \quad (2.2)$$

Где  $m$  - экспериментально вычисленный коэффициент;

$\Delta t_{cp}$  - температурный напор;

$n, p$  - показатели степени, установленные экспериментальным путем;

$\bar{G}$  - относительный расход воды в приборе, т.е. отношение действительного рас-

хода воды в приборе к расходу, принятому при проведении испытания образца прибора.

Экспериментальный коэффициент  $m$  и показатели степени  $n$  и  $p$  имеют следующие значения:

Для радиатора РСГ2 при схеме питания «снизу-вверх»  $m=3,7$ ;  $n=0,32$ ;  $p=0,1$

Температурный напор  $\Delta t_{cp}$ , °С, можно определять по формуле

$$\Delta t_{cp} = \frac{t_{ex} + t_{вых}}{2} - t_e, \quad (2.3)$$

Где  $t_{ex}$ ,  $t_{вых}$ ,  $t_e$  - то же, что в формуле (2.1)

Схема опытной установки

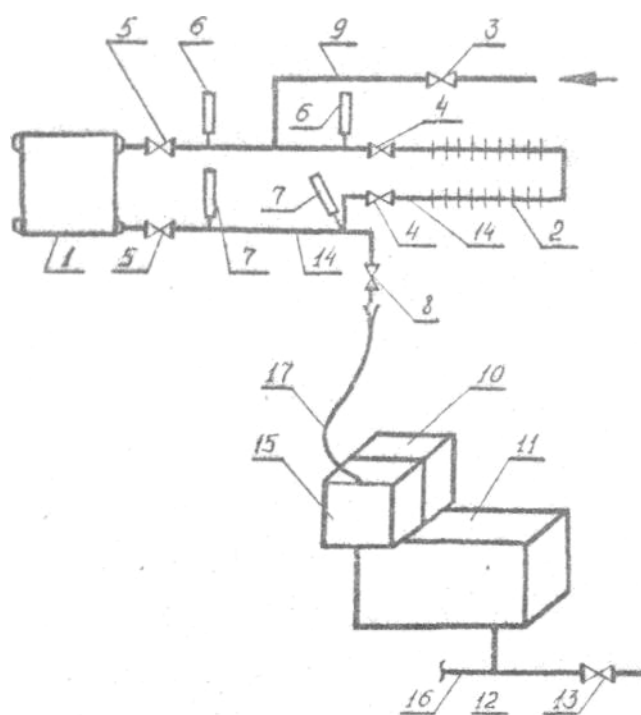


Рисунок 2.1. Схема опытной установки

1 - радиатор; 2 – конвектор; 3, 4, 5, 13 – запорные вентили; 6- термометры для замера температуры воды, входящей в прибор; 7 - термометры для замера температуры воды, выходящей из прибора; 8 – регулирующий вентиль; 9 - трубопровод горячей воды; 10 - мерный бак; 11 - сборный бак; 12 - насос; 14 - трубопровод; 15 - сливной бак; 16 - спускная труба; 17 – шланг.

Относительный расход воды в приборе  $\bar{G}$  для стальных радиаторов следует определять по формуле (2.4), а для конвекторов типа КП по формуле (2.5)

$$\bar{G} = \frac{G_{np}}{0,0834 \cdot F_s}, \quad (2.4)$$

$$\bar{G} = \frac{G_{np}}{0,00972}, \quad (2.5)$$

где  $G_{np}$  - массовый расход воды в приборе, кг/с;

$F_3$  - то же, что в формуле (2.1).

Массовый расход воды в приборе  $G_{np}$ , кг/с, можно подсчитать по формуле

$$G_{np} = \frac{V \cdot r}{t}, \quad (2.6)$$

где  $V$ ,  $r$ ,  $t$  - то же, что в формуле (2.1)

Величина отклонения в значениях коэффициентов теплопередачи  $\Delta K$ , %, полученная опытным путем (формула 2.1) и подсчитанная по формуле (2.2), определяется по формуле

$$\Delta K = \frac{K_{31} - K_{32}}{K_{31}} \cdot 100\% \quad (2.7)$$

где  $K_{31}$  - коэффициент теплопередачи, полученный в результате опыта, Вт/м<sup>2</sup>К

$K_{32}$  - коэффициент теплопередачи, полученный из формулы (2.2), Вт/м<sup>2</sup>К

При большом отклонении (свыше 15%) следует проанализировать причины, вызвавшие его.

В целях выяснения какой из отопительных приборов экономически более выгоден, необходимо определить тепловое напряжение металла каждого прибора  $M$ , Вт/кгК. Под тепловым напряжением металла понимают отношение величины теплового потока при температурном напоре в один градус к массе металла прибора. Тепловое напряжение металла можно определять по формуле

$$M = \frac{Q}{G_M \cdot \Delta t_{cp}} \quad (2.8)$$

где  $Q$  - тепловая нагрузка прибора, Вт;

$G_M$  - масса металла прибора, кг;

$\Delta t_{cp}$  - то же, что и в формуле (2.3).

Тепловую нагрузку прибора  $Q$ , Вт, при условиях опыта следует определять по формуле

$$Q = \frac{V}{t} \cdot r \cdot C \cdot (t_{ex} - t_{вых}) \quad (2.9)$$

где  $V$ ,  $t$ ,  $r$ ,  $C$ ,  $t_{ex}$ ,  $t_{вых}$  - то же, что в формуле (2.1)

Масса радиатора РСГ2 составляет бкг.

Значения коэффициента теплопередачи определяются при различных расходах теплоносителя, а затем строится график  $K = j(\bar{G})$

### 3. ОПИСАНИЕ ОПЫТНОЙ УСТАНОВКИ

Из системы отопления по трубопроводу 9 горячая вода подается в отопительные приборы - радиатор 1 и конвекторный блок 2. При прохождении нагретой воды через



отопительные приборы от нее передается теплота стенкам приборов, а охлажденная вода уходит по трубе 14 и шлангу 17 в мерный бак 10. Температуры воды, поступающей в прибор и уходящей из него, измеряются соответственно термометрами 6 и 7. Регулирование расхода теплоносителя осуществляется вентилем 8.

Из мерного бака 10 вода сливается в сборный бак 11, откуда по спускной трубе 16 удаляется в канализацию. Удалять воду из мерного бака 10 можно с помощью насоса 12, причем вентиль 13 открывается только после включения насоса в сеть. Уровень воды в сборном баке 11 должен быть не ниже указанной отметки.

#### 4. ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

Изучаются методические указания к работе. Производится ознакомление с опытной установкой. Перед началом опытов установку следует прогреть в течение 10 минут. Для этого необходимо открыть вентили 3, 4, 5 и 8.

Заготавливается журнал записи результатов измерений (табл. 5.1). Для проведения опыта с радиатором необходимо открыть вентили 3 и 5 (вентили 4 закрыты). Регулирующим вентилем 8 устанавливается определенный (заданный преподавателем) расход теплоносителя. При этом вода должна вытекать в сливной бак 15. После достижения установившегося состояния (о нем судят по неизменности показаний термометров) можно проводить опыт. Шланг 17 перебрасывается в мерный бак 10. С помощью секундомера фиксируется время наполнения бака 10 до установленной отметки.

Во время наполнения бака водой необходимо трижды (в начале, середине, конце опыта) произвести замер температуры входящей воды (термометр 6) и уходящей воды (термометр 7). После окончания замеров вентили 5 закрываются, открываются вентили 4 и опыт повторяется для конвектора.

Для каждого отопительного прибора опыты повторяются при разных расходах теплоносителя (количество опытов задается преподавателем).

Таблица 5.1.

Результаты измерений и вычислений

№ опыта	Тип прибора	Температура, °С			поверхность нагрева прибора, $F_0$	Время наполнения мерного бака $\tau$ , с	объем мерного бака, $V$ , $M^3$	Средняя плотность воды в приборе $\rho$ , $кг/м^3$	массовый расход воды в приборе $G_{пр}$ , $кг/с$	относительный расход воды $\bar{G}$	Коэффициент теплопер. прибора, $Вт/м^2$			тепловая нагрузка прибора $Q$ , $Вт$	тепловое напряжение металла, $М$ $Вт/кгК$
		воздуха, $t_b$	воды, поступающей в прибор, $t_{вх}$	воды, уходящей из прибора, $t_{вых}$							по данным опыта (формула 2.1), $K_{31}$	подсчитан по формуле (2.2), $K_{32}$	отклонение $\Delta K$ , %		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16

Массовый расход воды в приборе  $G_{пр}$ ,  $кг/с$ , определяется по формуле (2.6) относительный расход воды  $\bar{G}$  - по формуле (2.4) для стального радиатора. Коэффициенты теплопередачи приборов  $K_{31}$  и  $K_{32}$   $Вт/м^2К$ , определяются соответственно по формулам (2.1) и (2.2). По формуле (2.9) подсчитывается тепловое напряжение металла  $M$ ,  $Вт/кгК$ , по формуле (2.9) тепловая нагрузка прибора  $Q$ ,  $Вт$ .

## 6. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ

При выполнении работы необходимо плавно открывать и закрывать краны, строго соблюдать меры предосторожности, исключая возможность разлива горячей воды.

Приступать к выполнению экспериментальной части можно только после разрешения преподавателя.

## Работа № 5

# ИССЛЕДОВАНИЕ УДЕЛЬНОЙ ТЕПЛОВОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ И КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ ЗДАНИЙ РАЗЛИЧНОЙ КОНФИГУРАЦИИ

## 1 НАЗНАЧЕНИЕ РАБОТЫ

Цель лабораторной работы является опытное исследование экономически целесообразных удельных тепловых характеристик и коэффициентов теплопередачи моделей зданий в зависимости от их конфигурации.

Удельная тепловая характеристика служит показателем способности здания сохранять теплоту в холодный период года. Она имеет важное значение для экономически обоснованного проектирования систем отопления зданий. Целесообразная величина ее различна для зданий, возводимых в районах с суровой и мягкой зимой. Удельная тепловая характеристика служит критерием для оценки экономичности здания в теплотехническом отношении при сравнении различных вариантов проекта.

## 2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАБОТЫ

Удельная тепловая характеристика модели здания  $q$ ,  $Вт/м^3 \cdot К$ , определяется по формуле

$$q = \frac{Q}{V_m \cdot t \cdot (t_{cp,m} - t_{cp,n})}, \quad (2.1)$$

где  $Q$  – количество теплоты, теряемой моделью за время опыта, Дж;

$V_m$  – объем модели (для всех моделей равен  $0,002 \text{ м}^3$ );

$t$  – время проведения опыта, с;

$t_{cp,m}$  – средняя температура воды в модели за время опыта,  $^{\circ}C$ ;

$t_{cp,n}$  – средняя температура воздуха в помещении за время опыта,  $^{\circ}C$ .

В свою очередь средние температуры  $t_{cp,m}$  и  $t_{cp,n}$ ,  $^{\circ}C$ , подсчитываются по формулам

$$t_{cp,m} = \frac{t_n + t_k}{2}, \quad (2.2)$$

$$t_{cp,n} = \frac{t'_n + t'_k}{2} \quad (2.3)$$

где  $t_n$  и  $t_k$  – начальная и конечная температура воды в модели,  $^{\circ}C$ ;

$t'_n$  и  $t'_k$  – начальная и конечная температура воздуха в помещении,  $^{\circ}C$

Потеря теплоты моделью  $Q$ , Дж, определяется по формуле

$$Q = G \cdot c \cdot (t_n - t_k), \quad (2.4)$$

где  $G$  – масса воды в модели, кг;

$c = 4190$  – удельная теплоемкость воды, Дж/кг·град.

Масса воды в модели равна

$$G = r \cdot V_m, \quad (2.5)$$

где  $r$  – плотность воды при температуре  $t_{cp,m}$ , кг/м<sup>3</sup> (см. приложение 3).

Коэффициент теплопередачи модели здания подсчитывается по формуле

$$K = \frac{Q}{F \cdot t \cdot (t_{cp,m} - t_{cp,n})} \quad (2.6)$$

где  $F$  – поверхность охлаждения модели, м<sup>2</sup>. Так как модели установлены на теплоизолирующем материале, то площадь основания их в расчет не принимается.

### 3 ОПИСАНИЕ ОПЫТНОЙ УСТАНОВКИ

Опытная установка состоит из четырех моделей зданий с одинаковым объемом, но различной конфигурации, и с различной площадью поверхностей (рис. 3.1). Модели установлены на теплоизолирующем основании. В качестве теплоносителя используется вода, подогретая до температуры 70 - 80 °С. Температура воды в моделях и воздуха в помещении измеряется при помощи термометров.

Для проведения опыта необходимо иметь четыре термометра со шкалой от 0 до 100°С, мерную линейку и часы.

### 4 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Сначала изучаются методические указания к работе и проводится ознакомление с опытной установкой.

Затем включается в электросеть подогреватель воды в бачке. После нагрева ее с помощью шланга и крана заполняются пробки с термометрами.

Замеряются размеры моделей и вычисляются в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Результаты измерений

№ опыта	Время замера, часы- минуты			Поверхность охлаждения моделей, м <sup>2</sup>			
	начало	конец	продолжительность	Температура воды в моделях, °С			
				модель № 1	модель № 2	модель № 3	модель № 4

По сигналу одного из студентов, имеющих часы, берутся начальные отсчеты по термометрам моделей здания и по термометру в помещении. В дальнейшем отсчеты берутся через каждые 5 минут и записываются в табл. 4.1. Всего для каждой модели должно быть не менее 10 отсчетов.

### 5 ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ

По формулам (1) и (6) подсчитываются значения удельной тепловой характеристики и коэффициента теплопередачи моделей здания. Результаты подсчетов сводятся в табл. 5.1.

№ моделей	Схема формы модели здания	Средняя температура воды в модели $t_{ср.м.}, ^\circ\text{C}$	Средняя температура воздуха в помещении $t_{ср.п.}, ^\circ\text{C}$	Разность температур, $t_{ср.м.} - t_{ср.п.}$	Объем воды в модели, $V_{м}, \text{м}^3$	Плотность воды $\rho, \text{кг}/\text{м}^3$	Масса воды в модели, $G, \text{кг}$	Количество теплоты, теряемой моделью $Q, \text{Дж}$	Время проведения опыта $\tau, \text{с}$	Поверхность охлаждения модели $F, \text{м}^2$	Удельная тепловая характеристика модели здания $q, \text{Вт}/\text{м}^3 \cdot \text{К}$	Коэффициент теплопередачи модели здания $K, \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13

По данным табл. 5.1 строится график интенсивности охлаждения воды в моделях здания (рис. 5.1).

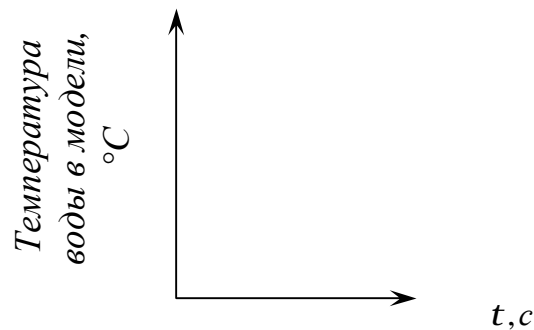


Рис. 5.1 – Интенсивность охлаждения моделей здания

По виду кривых на графике рис. 5.1 результативным данным табл.5.1 дается характеристика моделей здания в отношении интенсивности охлаждения и их экономичности.

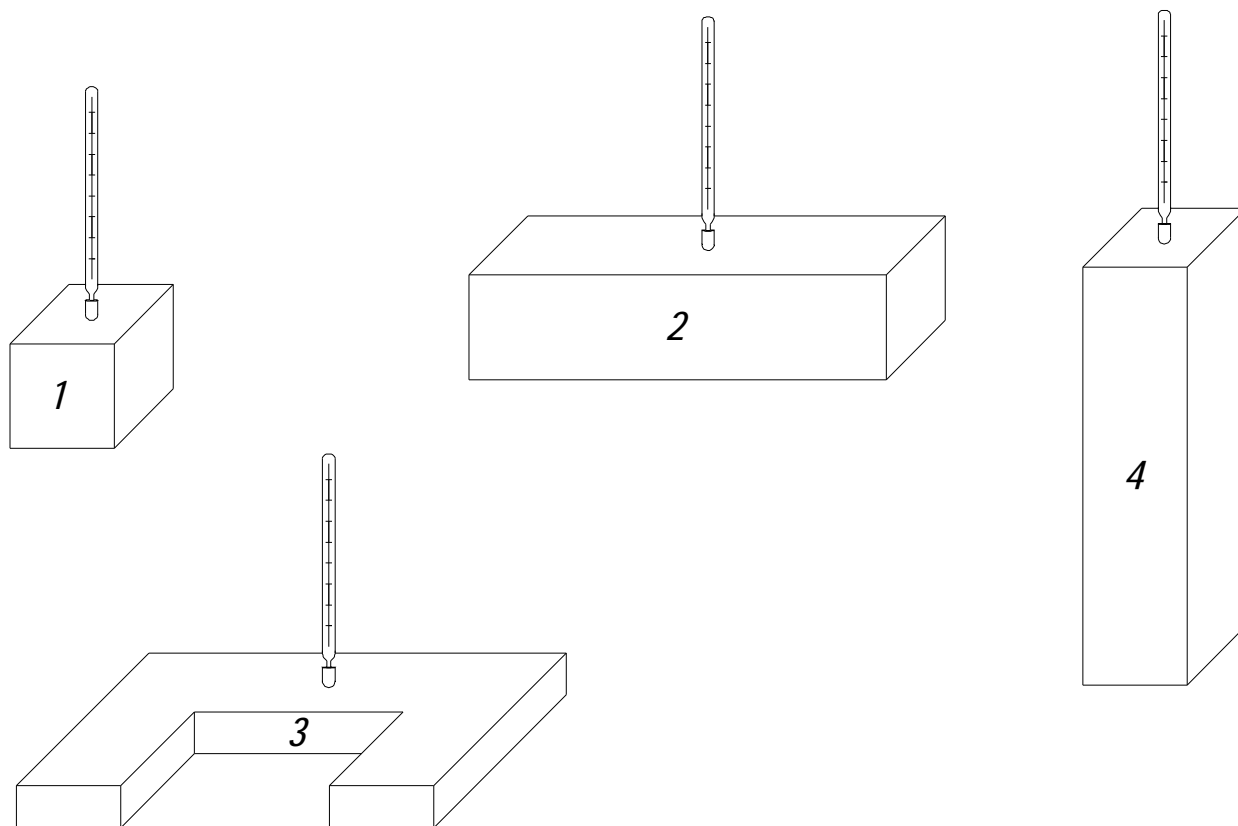


Рис. 5.2 – Схема лабораторной установки.

## 6 ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

При работе с электроподогревателем необходимо:

- не приступать к эксплуатации его без тщательного ознакомления с инструкцией;
- не оставлять подогреватель в рабочем состоянии без присмотра;
- не доливать воду в электроподогреватель через воронку без разрешения преподавателя
- не эксплуатировать электроподогреватель без заземления;
- включать и выключать электроподогреватель в сеть осторожно, не прикасаясь к случайно обнаруженным оголенным частям.

## УСТАНОВЛЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ ПУЗЫРЬКОВ ВОЗДУХА ОТ УКЛОНА ТРУБОПРОВОДА

### 1 Назначение работы

Трубы систем водяного отопления обычно прокладывают с отклонением от горизонтали – уклоном. В водяных системах отопления уклон горизонтальных труб необходим для отвода в процессе эксплуатации скоплений воздуха, находящегося в свободном состоянии, в какое-либо заранее выбранное место, а также для самостоятельного удаления воды из труб при опорожнении систем.

При невозможности обеспечения уклона допустима строго горизонтальная прокладка труб (магистралей  $d_v > 50$  мм и распределительных линий горизонтальных систем водяного отопления) при скорости движения воды в трубопроводах не менее 0,25 м/с, когда скопления воздуха уносятся протекающей водой.

В данной работе необходимо установить зависимость скорости движения пузырьков воздуха от уклона трубопровода, по которому он движется, при постоянной скорости движения воды.

### 2 Теоретические основы

В системах центрального отопления, особенно водяного, скопления воздуха нарушают циркуляцию теплоносителя и вызывают повышенную коррозию стали. Воздух в системы отопления попадает в основном двумя путями: частично остается в свободном состоянии при заполнении их теплоносителем и вносится водой в процессе заполнения и эксплуатации в растворенном (точнее, поглощенном или абсорбированном) виде.

Количество растворенного воздуха, вводимого в систему при периодических добавках воды в процессе эксплуатации – подпитках системы – зависит от содержания воздуха в подпиточной воде. Холодная водопроводная вода содержит свыше 30 г. воздуха в тонне воды, деаэрированная вода в теплофикационной сети – менее 1 г.

Количество растворенного воздуха, переходящего в свободное состояние, зависит от температуры и давления в системах отопления.

Повышение температуры воды и понижение гидростатического давления сопровождается переходом абсорбированного воздуха в свободное состояние. Следовательно, в верхних частях систем водяного отопления, где горячая вода находится под пониженным давлением, должно выделяться наибольшее количество воздуха. В нижних частях систем при высоком гидростатическом давлении воздух содержится только в растворенном виде. Следует отметить, что растворенный в воде воздух содержит около 33 % кислорода. Поэтому «водяной» воздух более опасен в коррозионном отношении для стальных труб, чем атмосферный, в котором содержится около 21% кислорода.

В вертикальных водяных трубах пузырьки воздуха могут всплывать, находиться во взвешенном состоянии и увлекаться потоком воды вниз.

В горизонтальных и наклонных водяных трубах пузырьки воздуха занимают верхнее положение. Мельчайшие пузырьки задерживаются в углублениях шерохова-

той поверхности труб. Более крупные пузырьки (объемом 0,1 см<sup>3</sup> и более) в зависимости от уклона трубы скорости движения воды как бы катятся вдоль «потолочной поверхности» труб в виде прерывистой ленты. С увеличением скорости движения воды до 0,6 м/с начинается дробление воздушных скоплений. Пузырьки воздуха в верхней части труб, отрываясь от них поверхностей, двигаются по криволинейным траекториям. При скорости движения воды более 1 м/с мелкие пузырьки постепенно распространяются по всему сечению труб – возникает воздушная эмульсия.

Рассмотрим состояние идеального воздушного пузырька – шарика диаметром  $d$  в потоке воды, движущем сверху вниз. Подъемная сила  $P$ , действующая на пузырек, направлена вверх. При движении со скоростью  $V_в$  в потоке воды, обладающем скоростью  $u$ , пузырек испытывает силу сопротивления  $R$ .

При  $P=R$  скорость  $x_в = 0$  и пузырек находится в потоке во вешенном состоянии. Скорость  $u$  водяного потока не ограниченного стенками трубы, при которой пузырек воздуха «витают» в воде, называется скоростью витания или критической скоростью движения воды.

При  $P > R$  пузырек воздуха «витают» против течения воды и в системе водяного отопления перемещается в верхние ее части.

При  $P < R$ , т. е. при скорости движения водяного потока, превышающей критическую, пузырек воздуха уносится потоком воды и в системе водяного отопления перемещается в нижние ее части.

Исследованиями было установлено значение критической скорости потока воды для обычных геотермических размеров воздушных скоплений в системах водяного отопления в наклонных и горизонтальных трубах равное 0,1-0,15 м/с. Скорость всплывания пузырьков воздуха не превышает скорости витания.

Теперь можно установить совокупность мероприятий для сбора воздуха в системах водяного отопления. К таким мероприятиям относятся прокладка труб с определенным уклоном и установка воздухоотборников: вертикальных и горизонтальных.

Уклон трубопровода  $i$  определяется по формуле

$$i = \frac{h}{l}, \quad (2.1)$$

где  $h$  – превышение между началом и концом трубопровода, м;

$l$  – длина трубопровода, м.

Магистраль верхней разводки рекомендуется контролировать с уклоном против направления движения воды для того, чтобы использовать подъемную силу совместно с силой течения воды для удаления воздуха.

Наружные магистрали всегда прокладывают с уклоном в сторону теплового пункта здания, где при опорожнении системы вода спускается в канализацию. При этом, если магистралей две (подающая и обратная), то рационально для удобства крепления при монтаже придавать им уклон в одном и том же направлении.

Уклоны магистральных трубопроводов необходимо принимать не менее 0,002 (2 мм на 1 м длины труб). Уклоны труб подводок к отопительным приборам следует предусматривать в сторону движения теплоносителя и принимать равным 5-10 мм на всю длину подводки.

Скорость движения воды  $u$ , м/с, определяется по формуле



$$w = \frac{u \cdot 10^{-6}}{F \cdot t_e}, \quad (2.2)$$

где  $x$  – объем воды в мерном баке, мл;

$F$  – площадь поперечного сечения стеклянной трубки, м<sup>2</sup>;

$\phi_e$  – время наполнения объема  $x$ , с.

Скорость движения пузырька воздуха  $x_e$ , с, определяется по формуле

$$x_e = \frac{l}{\phi_n},$$

где  $l$  – путь, пройденный пузырьком воздуха, м;

$\phi_n$  – время движения пузырька воздуха, с.

Скорость движения воды в трубопроводах систем водяного отопления не должна превышать 3 м/с.

### 3 Описание опытной установки

Установка, на которой производятся опыты (рисунок 3.1) представляет собой стеклянную трубку 5, конец которой соединяется с баком 1, заполненным водой. Зажим 7 предназначен для регулирования количества, а следовательно, и скорости воды, протекающей по трубке 5. По патрубку 3 вода подается в бак 1, в котором поддерживается постоянный уровень воды за счет ее избытка через патрубок 2.

### 4 Порядок выполнения работы

Изучаются методические указания к работе. Производится ознакомление с опытной установкой.

Для выполнения опытов, стеклянная трубка 5 с помощью подвижной планки 6 устанавливается на максимальной положительный уклон. Резиновой грушей 4 в стеклянную трубку запускают пузырек воздуха и с помощью зажима 7 устанавливают расход воды через трубку, при котором имеет место движение пузырька воздуха с минимальной скоростью (направления движения пузырька и воды совпадают). При этом вода должна вытекать в сливной бак 10.

При неизменном положении зажима 7 шланг 11 перебрасывается в мерный бак 8. Замеряют время наполнения мерного бака до отметки 500 мл. Пузырек воздуха при этом в трубку пока не запускают.

Затем запускают пузырек воздуха в трубку 5 и замеряют время его движения между красными метками. Положение зажима 7 не меняют и замер расхода воды не производят.

В остальных опытах, при изменении уклона (трубу 5 постепенно поднимают вверх, с помощью подвижной планки 6 и зажима 7) добиваются того же расхода воды через трубку, что и в первом опыте (т. е. за то же время должно набираться то же количество воды). Затем запускают пузырек воздуха и замеряют время движения пузырька воздуха между красными метками.

В процессе выполнения работы необходимо обратить внимание на режим, при котором направления движения воды и воздушного пузырька не совпадают (при максимальном положительном уклоне трубки).

Обязательным условием всех опытов является равенство размеров пузырьков воздуха, запускаемых в трубку. Количество опытов задает преподаватель.

## 5 Обработка результатов

Результаты измерений и вычислений при проведении работы должны быть занесены в табл. 5.1.

Таблица 5.1.

Результаты измерений и вычислений

№ опыта	Уклон трубопровода $i$	Объем воды в мерном баке $x$ , мл	Время наполнения объема в мерном баке $\phi_6$ , с	Скорость движения воды, $u$ , м/с	Время движения пузырька воздуха $\phi_n$ , с	Скорость движения пузырька воздуха $x_6$ , м/с
1	2	3	4	5	6	7

На основании проведенных наблюдений и обработки их результатов строится график зависимости скорости движения пузырька воздуха  $x_6$ , от уклона  $i$  трубопровода при постоянном расходе воды. Опыты повторяются при других расходах воды и снова результаты наносятся на график.

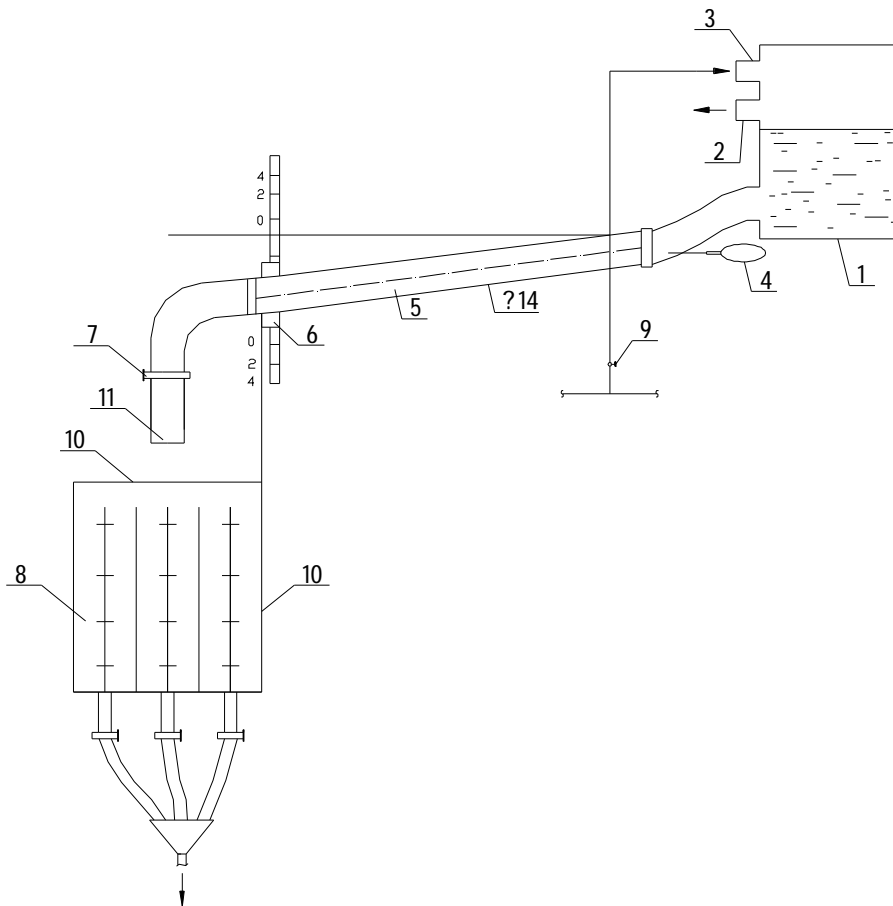


Рисунок 3.1 – Схема опытной установки

1 – бак, заполненный водой; 2 – сливной патрубок; 3 – патрубок для подачи водопроводной воды; 4 – резиновая груша; 5 – стеклянная трубка; 6 – подвижная планка; 7 – зажим; 8 – мерный бак; 9 – вентиль; 10 – сливной бак; 11 – шланг.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЕЛИЧИНЫ КОЭФФИЦИЕНТОВ МЕСТНЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ

### 1. НАЗНАЧЕНИЕ РАБОТЫ

Целью данной работы является исследование опытным путем коэффициентов различных местных сопротивлений в системе отопления.

### 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАБОТЫ

Изменения в конфигурации трубопроводов (изгибы, сужения и др.) и установленная на трубопроводах запорно-регулирующая арматура создает дополнительные сопротивления для прохода потока жидкости и вызывает дополнительные потери давления на их преодоление. Такие сопротивления называют местными сопротивлениями.

Величину потерь давления  $\Delta P_m$ , Па вызванную местными сопротивлениями, принято оценивать в долях динамического давления потока протекающей жидкости и определять по выражению

$$\Delta P_m = x P_o \quad (2.1)$$

где  $x$  – коэффициент местного сопротивления;  
 $P_o$  – динамическое давление потока жидкости, Па.

Динамическое давление потока жидкости  $P_o$ , Па определяется по формуле

$$P_o = \frac{w^2}{2} \rho \quad (2.2)$$

где  $w$  – скорость движения жидкости,  $\frac{м}{с}$   
 $\rho$  – массовая плотность жидкости,  $\frac{кг}{м^3}$

Коэффициент местного сопротивления  $\xi$  показывает потерю давления, выраженную в долях динамического давления потока на том участке, на котором это сопротивление имеется или к которому оно условно относится.

При движении жидкости с малыми числами Рейнольдса коэффициенты местных сопротивлений зависят не только от геометрических характеристик каждого местного сопротивления, но и от числа Рейнольдса. При очень малых числах Рейнольдса жидкость течет через местные сопротивления без отрыва; потери напора обуславливаются непосредственным действием сил вязкого трения и пропорциональны скорости потока в первой степени. С увеличением числа Рейнольдса наряду с потерями на трение возникает потеря давления, обусловленные отрывом потока и образованием вихрей. При достаточно больших числах Рейнольдса вихреобразование приобретает основное значение, потери напора становятся пропорциональны квадрату скорости, так как коэффициент  $\xi$  перестает зависеть от числа Рейнольдса и определяется только

геометрией потока.

В большинстве случаев с увеличением числа Рейнольдса коэффициент сопротивления  $\xi$  уменьшается.

Коэффициент разных местных сопротивлений находят, как правило, опытным путем: таблицы значений этих коэффициентов (или эмпирические кривые и формулы для них) содержатся почти во всех инженерных справочниках и руководствах по отоплению. Для некоторых практически важных случаев значения коэффициентов местных сопротивлений удалось получить также теоретическим путем.

Величину коэффициентов исследуемого местного сопротивления (крана двойной регулировки или трехходового крана), определяют из уравнения (2.1) решением относительно  $\xi$ , т.е.

$$x = \frac{P_m}{P_n} \quad (2.3)$$

Так как величина потери давления в местных сопротивлениях зависит не только от вида их, но и от правильности геометрических очертаний, то для более точного получения осредненной величины на исследуемом участке трубопровода установлено 4 однотипных угольника из ковкого чугуна с цилиндрической резьбой. Средняя величина коэффициентов местного сопротивления угольника определяется по выражению

$$x = \frac{\Delta P_m}{4P_0} \quad (2.4)$$

Объемный расход теплоносителя  $V$ ,  $\text{м}^3/\text{с}$ , измеренный с помощью мерного бачка, вычисляется по формуле

$$V = \frac{u}{t} \quad (2.5)$$

где  $u$  – емкость мерного бачка, принятая до условной черты,  $\text{м}^3$

$t$  – продолжительность опыта, с

Массовый расход теплоносителя  $G$ ,  $\text{кг}/\text{с}$ , определяется по формуле

$$G = Vr \quad (2.6)$$

где  $V$  – объемный расход,  $\text{м}^3/\text{с}$

$r$  – плотность воды в мерном баке,  $\text{кг}/\text{м}^3$

Плотность воды в мерном баке определяется по приложению 3 и соответствует температуре, измеренной термопарой, установленной в точке 26 (рис. 2.1). Скорость движения воды находится по выражению

$$w = \frac{G}{rf} \quad (2.7)$$

где  $w$  – скорость движения воды,  $\text{м}/\text{с}$

$f$  – площадь живого сечения трубопровода,  $\text{м}^2$

### 3. ОПИСАНИЕ ОПЫТНОЙ УСТАНОВКИ

Опытная установка (рис. 3.1) состоит из водонапорного бака 1, водопроводной линии 2 для заполнения бака водой, расходного трубопровода 3, вентиляей 4 и 5, мерного бака 6, сборного бака 7, насоса 8, спускной трубы 9 с вентиляем 10, участков трубопровода с местными сопротивлениями. Водонапорный бак 1 разделен на две части перегородкой, которая не доходит до верха бака. Избыток водопроводной воды переливается через перегородку и по спускной трубе 2 отводится в канализацию. Таким образом, в водонапорном баке 1 при работе установки поддерживается постоянный уровень воды.

Опытная установка предназначена для определения коэффициентов местных сопротивлений крана двойной регулировки 12, трехходового крана 13 и угольника из ковкого чугуна с цилиндрической резьбой 14. Точки отбора давления 15 расположены от местных сопротивлений на расстояниях, обеспечивающих стабилизацию потока до и после местного сопротивления. Падение давления  $h$  между точками измерения определяется по разности уровней воды в пьезометрических трубках. Падение давления между точками измерения на трубопроводе с краном двойной регулировки измеряется пьезометрами 16, 17, 18: на трубопроводе с трехходовым краном пьезометрами 19, 20, 21, 22; на трубопроводе с угольником из ковкого чугуна пьезометрами 23, 24, 25. При измерении сопротивления трехходового крана на проход с поворотом падения давления следует определять по пьезометрам 20, 21, а при измерении сопротивления трехходового крана на прямой проход – по пьезометрам 20 и 22.

1. Водонапорный бак; 2. Водопроводная линия; 3. Расходный трубопровод; 4-5. вентиль; 6. мерный бак; 7. сборный бак; 8. насос; 9-11. спускная труба; 10. вентиль; 12. кран двойной регулировки; 13. трехходовой кран; 14. угольник; 15. точка отбора давления; 16-17-18-19-20-21-22-23-24-25 – пьезометрические трубки; 26. точка установки термопары; 27. потенциометр; 28. сливной бак; 29. шланг.

### 4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Перед началом работы необходимо открыть вентиль на водопроводной линии 2 и заполнить водой водопроводный бак 1. Вентиль на линии водопровода остается открытым в период проведения работы, избыток воды бака 1 удаляется по спускной трубе 2.

При заполнении водой бака 1 необходимо проверить равенство уровней воды в пьезометрических трубках при открытом вентиле 4.

Для выполнения работы открывают вентиль 5. При этом вода из бака 1 через исследуемый участок трубопровода сливается в сливной бак 28. Увеличивая или уменьшая степень открытия вентиля 5, устанавливается необходимый расход воды. После достижения установившегося состояния (о нем судят по неизменности уровней жидкости в пьезометрических трубках) можно производить опыт. Для этого шланг 29 перебрасывается в мерный бак 6. Затем производится засечка времени. В момент заполнения мерного бака до условленной черты производится второй отсчет времени и записывается разность уровней жидкости в пьезометрических трубках. Возникшая вследствие потерь давление на преодоление сопротивления трения и в местном сопротивлении при движении жидкости по участку между точками при-

соединения пьезометрических трубок.

Исследуемый участок трубопровода с соответствующим местным сопротивлением принимается по указанию преподавателя. Подобные опыты следует произвести не менее пяти раз. При этом каждый раз следует устанавливать новое значение расходов воды, регулируемое вентилем 5.

## 5. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ

На участке трубопровода, где установлено местное сопротивление, помимо потерь непосредственно в нем, имеются потери на трение на прямых участках трубопровода, которые необходимо исключать из общих потерь давления на исследуемом участке. В этом случае величину потерь давления в местном сопротивлении определяют по формуле

$$\Delta P_m = 9,81h - 9,81R\Sigma l \quad (5.1)$$

где  $h$  – разность показания пьезометров, м вод.ст.

$R$  – удельная потеря давления на трения, мм вод.ст.

$\Sigma l$  – сумма длин прямых участков трубы между точками отбора давления, м

Значение удельной потери давления на трение  $R$  следует принимать по одновременным замерам потерь на трение на прямых участках трубопровода. При измерении сопротивления крана двойной регулировки значение удельной потери давления на трение будет равно разности уровней воды в пьезометрах 16 и 17, при измерении сопротивления трехходового крана – разности уровней воды с пьезометрах 19 и 20, при измерении сопротивления угольника из ковкого чугуна с цилиндрической резьбой – разности уровней воды в пьезометрах 23 и 24.

Длины и диаметры исследуемых участков трубопроводов приведены на рис. 5.1.

Итоговые значения  $\xi_{\Delta P_m-G}$  и  $\Delta P_m$  представляются графически в координатах  $\xi-G$ .  $\Delta P_m-G$  и  $\xi-Re$ .

При определении  $\xi$  трехходового крана, следует сравнивать полученные значения при работе крана на прямой проход  $\xi_{npax}$  и на проход с поворотом  $\xi_{nav}$  и сделать вывод (с точки зрения уменьшения гидравлического сопротивления) о рациональном месте расположения крана при компоновке узла обвязки отопительного прибора трубопроводами в проточных регулируемых системах водяного отопления.

Данные измерений и подсчетов сводятся в табл. 5.1.

Таблица 5.1

Результаты измерений и вычислений

Объемный расход Теплоносителя $V, \text{ м}^3/\text{с}$	Массовый расход Теплоносителя $G, \text{ кг/с}$	Продолжительность опыта, сек	Удельная потеря давления на трения $R, \text{ мм вод.ст}$	Сумма длин прямых участков трубы между точками отбора давления $\sum l, \text{ м}$	Потеря давления по длине $9,81R\sum l, \text{ Па}$	Потеря давления в местном сопротивлении $\Delta P_m, \text{ Па}$	Скорость жидкости в трубо- проводе $\omega, \text{ м/с}$	Динамическое давление по- тока жидкости $P_d, \text{ Па}$	Коэффициент местного со- противления $\epsilon$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

## 6. Техника безопасности

При выполнении лабораторной работы в лаборатории теплоснабжения, имеющей осветительную (220в) и силовую (380в) электрическую сеть, следует помнить, что смертельно-опасным напряжением является напряжение 12 вольт и выше. Поэтому, при обнаружении отсутствия заземления у насосов, отсутствии ограждения возле них или их неисправности, выполнять лабораторную работу категорически запрещается.

Неисправности технической части оборудования разрешается устранять только электриками.

Выполнение лабораторной работы в одиночку запрещается, присутствие второго лица необходимо на случай оказания помощи при поражении электрическим током или другом несчастном случае.

К оголенным проводам и токоведущим частям электрооборудования нельзя прикасаться. Нельзя прикасаться и к вращающимся частям оборудования.



## ТРЕБОВАНИЯ К ОТЧЕТУ ПО УИРС

Отчет по лабораторной работе должен быть изложен в предельно сжатой форме и в то же время содержать все необходимые материалы. Изложение текста должно вестись в логической последовательности. В тексте отчета в подписях к рисункам не допускается произвольное сокращение слов. Графики должны выполняться на миллиметровой бумаге.

Отчет по лабораторной работе должен включать в указанной ниже последовательности:

Титульный лист (см. приложение 2); краткое описание работы и ее теоретических основ; схему опытной установки; краткие выводы по работе; таблицы записи опытных данных и результатов подсчетов; графики зависимостей по результатам экспериментов