

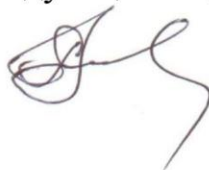
МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Тульский государственный университет»

Институт горного дела и строительства  
Кафедра «Санитарно-технических системы»

Утверждено на заседании кафедры  
«Санитарно-технических систем»  
«20» января 2023 г., протокол №5

Заведующий кафедрой



Р.А. Ковалев

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**  
**по выполнению лабораторных работ**  
**по дисциплине (модулю)**  
**«Отопление»**

**основной профессиональной образовательной программы**  
**высшего образования – программы бакалавриата**

по направлению подготовки  
**08.03.01 – "Строительство"**

с направленностью (профилем)  
**"Теплогазоснабжение и вентиляция"**

Форма(ы) обучения: *очная, очно-заочная*

Идентификационный номер образовательной программы: 080301-06-23

Тула 2023 год

**Разработчик методических указаний**

Вялкова Н.С. доцент, к.т.н.

(ФИО, должность, ученая степень, ученое звание) (подпись)



## СОДЕРЖАНИЕ:

1.	Предисловие.....	4
2.	Лабораторная работа № 1. Определение коэффициента теплопередачи чугунного радиатора «Бриз - 500».....	5
3.	Лабораторная работа №2. Исследование регулирующей способности воздушного клапана конвектора.....	13
4	Лабораторная работа №3. Исследование нестационарного теплового режима чугунного радиатора.....	24
5.	Лабораторная работа № 4. Исследование работы радиаторного узла...	35
6.	Лабораторная работа № 5. Исследование на модели работы верти- кальной двухтрубной системы отопления с нижней разводкой.....	48
7.	Лабораторная работа № 6. Определение потерь давления на трение и в местных сопротивлениях.....	62

## **1. ПРЕДИСЛОВИЕ.**

В методических указаниях приводятся лабораторные работы, выполняемые при освоении теоретического курса дисциплины "Отопление".

## **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1.**

### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ ЧУГУННОГО РАДИАТОРА «БРИЗ - 500».**

#### **1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ РАБОТ.**

Лабораторная работа проводится в течение 2 часов занятий с целью изучения основных факторов, определяющих величину коэффициента теплопередачи отопительного прибора.

#### **2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ.**

##### **2.1. Требования, предъявляемые к отопительным приборам.**

К отопительным приборам предъявляются следующие требования:

1. санитарно-гигиенические - относительно пониженная температура поверхности; ограничение площади горизонтальной поверхности приборов для уменьшения отложения пыли; удобство и доступность очистки от пыли поверхности приборов и пространства вокруг них;

2. экономические - относительно пониженная стоимость прибора; экономный расход металла на прибор, обеспечивающий повышение теплового напряжения металла прибора;

3. архитектурно-строительные - соответствие внешнего вида приборов интерьеру помещений; сокращение площади помещений, занимаемой приборами.

4. производственно-монтажные - механизация изготовления и монтажа приборов для повышения производительности труда; достаточная механическая прочность приборов.

##### **2.2. Коэффициент теплопередачи отопительного прибора.**

###### **Методика определения.**

Передачу теплоты от теплоносителя в помещение происходит через стенку отопительного прибора. Интенсивность теплового потока характеризуется коэффициентом теплопередачи  $K_{пр}$ .

Коэффициентом теплопередачи отопительного прибора называется величина, численно равная тепловому потоку в ваттах, проходящему через  $1\text{ м}^2$  внешней поверхности прибора при разности средней температуры теплоносителя и воздуха помещения в  $1^\circ\text{С}$ .

Коэффициент теплопередачи зависит от вида теплоносителя и его параметров, типа отопительного прибора и способа его присоединения к системе водяного отопления, расхода воды через прибор, способа установки и других факторов.

При повышении разности средней температуры теплоносителя и окружающего воздуха возрастает передача теплоты в помещение, как конвекцией, так и лучеиспусканием, а, следовательно, увеличивается и коэффициент теплопередачи прибора.

У оребренных приборов температура ребра в направлении его наружных границ уменьшается, поэтому коэффициент теплопередачи такого прибора меньше, чем гладкого.

Уменьшение коэффициента теплопередачи для гладких и оребренных труб, установленных в несколько рядов, объясняется взаимным облучением и уменьшением у вышележащих труб перепада температур теплоносителя и воздуха, уже подогретого нижележащими трубами.

Количество секций в чугунном радиаторе также влияет на величину коэффициента теплопередачи. При меньшем количестве секций и прочих равных условиях он возрастает.

Это объясняется тем, что передача теплоты излучением происходит в основном лишь крайними секциями. Большая часть излучения с поверхности близко расположенных и взаимно закрывающих друг друга колонок средних секций не попадает в помещение. При меньшем количестве секций поверхность крайних секций составляет больший процент от всей поверхности отопительного прибора, поэтому весь прибор будет иметь больший коэффициент за счет теплоотдачи лучеиспусканием.

Уменьшают коэффициент теплопередачи различные декоративные решетки у приборов, улучшающие интерьер помещения, но снижающие конвективную и лучистую составляющие в передаче теплоты от приборов в помещение

Изложенное выше показывает, что многофакторная зависимость коэффициента теплопередачи отопительного прибора значительно затрудняет аналитическое его определение, поэтому коэффициент теплопередачи каждого нового прибора определяется экспериментальным путем при определенных условиях с учетом области его значений для отдельных видов (рис. 3.1).

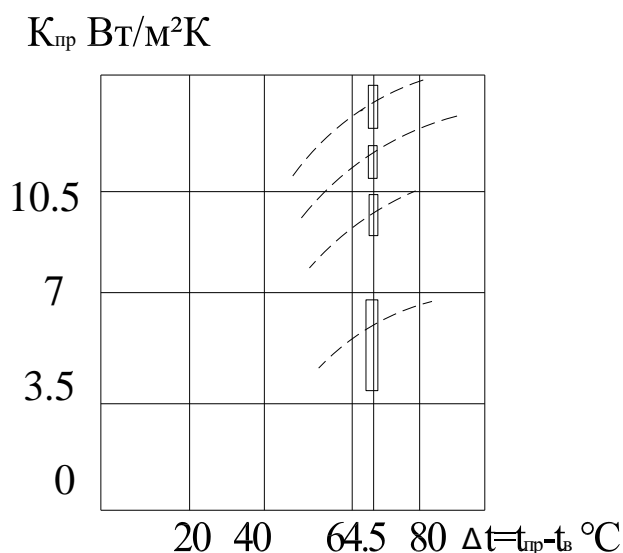


Рис. 1.1. Области значений коэффициентов теплопередачи отопительных приборов: 1 - гладкотрубные приборы; 2- панельные радиаторы; 3- секционные радиаторы; 4- конвекторы и ребристые трубы.

Отклонение конкретных условий эксплуатации от стандартных учитывается введением при расчете поправочных коэффициентов на остывание воды в трубопроводах, способ установки, расход воды через прибор, число секций в радиаторе.

В общем случае коэффициент теплопередачи данного прибора при водяном теплоносителе зависит от разности температур теплоносителя в приборе и воздуха в помещении и расхода воды через прибор:

$$\dot{E}_{i\partial} = f(t_{i\partial} - t_a, G) \quad (1.1)$$

В лабораторной работе ставится задача установить зависимость коэффициента теплопередачи только от первого параметра для радиатора отопления чугунного секционного «БРИЗ-500», предназначенного для применения в системах водяного отопления жилых, административных и общественных зданий. Радиаторы сертифицированы в системе ГОСТ РФ и соответствуют ГОСТ 8690-94. Секции радиатора изготовлены из высококачественного литейного чугуна. Технические данные: рабочее давление 1,2 МПа; испытательное давление 1,8 МПа; максимальная температура теплоносителя 130 °С; номинальный тепловой поток одной секции 150 Вт.

Если пренебречь инерцией при передачи теплоты от теплоносителя прибору, а от него воздуху помещения, то при установившемся стационарном режиме тепловой поток ( $Q_1$ ), отданный в приборе водой, за некоторый момент времени равен тепловому потоку ( $Q_2$ ) переданному прибором помещению.

Тепловой поток, передаваемый водой прибору, можно определить по формуле

$$Q_1 = cG(t_{ex} - t_{vix}) \quad (1.2)$$

где  $G$ -расход воды через прибор, кг/с;  $c$ - удельная теплоемкость воды,  $c=4190$  Дж/(кг К);  $t_{ex} - t_{vix}$  - температура воды на входе в прибор и выходе, °К или °С. Тепловой поток, передаваемый прибором в помещение, определяют с помощью основного уравнения теплопередачи

$$Q_2 = K_{np}F_{np}(t_{np} - t_{\theta}) \quad (1.3)$$

где  $K_{np}$  - коэффициент теплопередачи отопительного прибора, Вт/(м²К),  $F_{np}$  - площадь внешней поверхности прибора, омываемой воздухом, обычно искусственно развитой с помощью приливов, оребрения и т. п.,  $t_{np}$  - средняя температура воды в приборе, °С,

$$t_{np} = (t_{ex} + t_{vix}) / 2 \quad (1.4)$$

$t_{\theta}$ - температура воздуха в помещении, °С.



Из равенства тепловых потоков  $Q_1=Q_2$  можно определить коэффициент теплопередачи

$$K_{ПП} = \frac{cG(t_{BX} - t_{BIX})}{F_{ПП}(t_{ПП} - t_B)} \quad (1.5)$$

### 3. ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.

#### 3.1. Схема опытной установки.

На рис.2.2 приведена схема опытной установки.

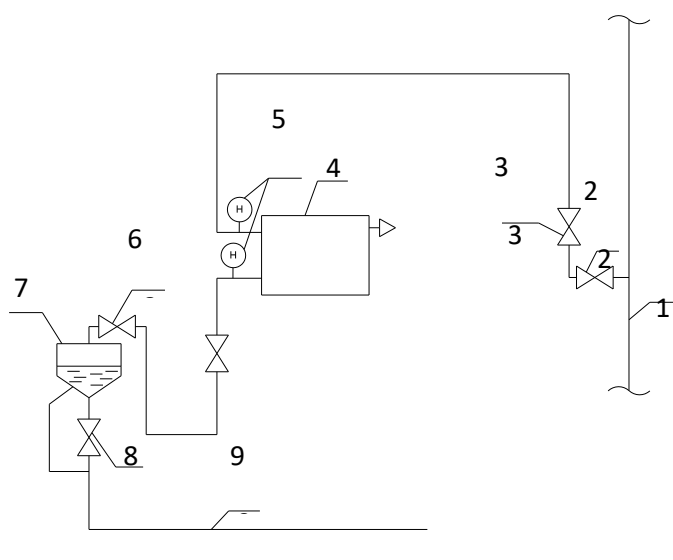


Рис. 2.2. Схема опытной установки.

В отопительный прибор 4 горячая вода поступает из стояка 1 системы отопления здания после открытия вентилей 2 и 3. Из мерного бака 7 вода по трубопроводу 9 сбрасывается в канализацию (см. рис.3.2). Регулирование расхода воды через прибор производится краном 6.

#### 3.2. Методика измерений.

В ходе лабораторной работы необходимо измерить:

1. Температуру воды на входе и выходе из прибора  $t_{вх}$   $t_{вых}$ ;
2. Температура воздуха в помещении  $t_{в}$ ;
3. Расход воды через прибор  $G$ ;
4. Площадь внешней поверхности прибора.

Температуры воды  $t_{вх}$  и  $t_{вых}$  измеряются с помощью ртутных термометров 5, установленных в защитных гильзах, которые предохраняют термометры от поломки. Температура воздуха внутри помещения определяется по сухому термометру психрометра. Расход воды определяется наиболее простым и достаточно точным способом с помощью непосредственного определения количества вытекающей из трубопровода жидкости за единицу времени. Для этой цели используют мерный бак 9, объем которого заранее известен:  $V_6 = 0,0041 \text{ м}^3$ . Обвязка мерного бака выполнена так, что при открытом проходном кране 8 вода в баке не скапливается, он без воды.

При измерении расхода закрывается кран 8 и одновременно открывается кран 6. Определяется расход воды через прибор по формуле

$$G_{np} = (V_6 / \tau) \rho, \quad (3.6)$$

где  $G_{np}$  - расход через прибор, кг/с;  $\tau$  - время наполнения мерного бака, с;  $\rho$  - плотность воды при температуре  $t_{вых}$  (рис. 2.3.),  $\text{кг/м}^3$ .

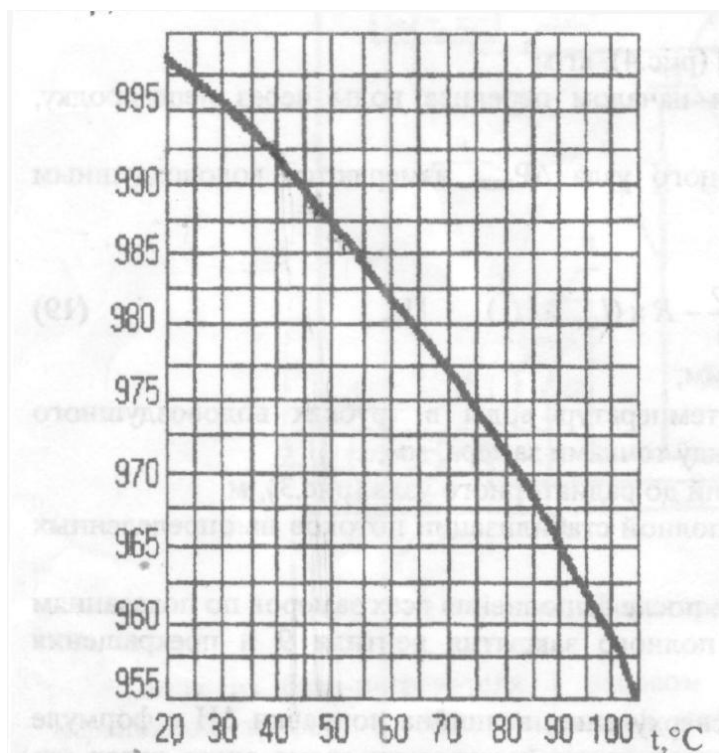


Рис.2.3. График зависимости плотности воды от температуры.

Наполнение мерного бака определяется началом перелива воды через перегородку, установленную в этом баке.

Площадь внешней поверхности

$$F_{np} = n f_c \quad (2.7)$$

где  $n$  - количество секций, шт;  $f_c$  - площадь внешней поверхности 1 секции прибора,  $\text{м}^2$ ,  $f_c = 0.29 \text{ м}^2$ .

Результаты измерений записываются в таблицу 3.1 экспериментальных и расчетных данных.

Таблица 2.1

Таблица экспериментальных и расчетных данных.

Номер режима	Номер замера	$\tau$ , с	Температура, $^{\circ}\text{C}$			$\rho$ , $\text{кг/м}^3$	$G$ , $\text{кг/с}$	$\Delta t = t_{np} - t_b$ , $^{\circ}\text{C}$	$K_{np}$ , $\text{Вт/(м}^2\text{К)}$
			$t_{ex}$	$t_{вых}$	$t_{\theta}$				
1	1								
	2								
	3								
	Среднее значение								
2	1								
	2								
	3								
	Среднее значение								
3	1								
	2								
	3								
	Среднее значение								

#### 4. ЗАДАНИЕ НА РАБОТУ.

Во время работы следует выполнять требуемые замеры и, обрабатывать данные наблюдений, построить необходимые графики.

#### 5. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ.

Замеры выполняются звеном студентов 3-4 человека при различных значениях расхода воды, которые изменяют с помощью вентиля 6. В конце лабораторной работы студенты обмениваются результатами и строят необходимые графики.

Лабораторная работа проводится в следующем порядке.

1. За 15-60 мин. до начала работы включают опытную установку, при этом устанавливается минимальный расход воды.

2. Сразу после начала занятия замеряют экспериментальные данные  $\tau$ ,  $t_{вх.}$  и  $t_{вых.}$  на первом режиме работы, при этом показания приборов фиксируют три раза через 1-2 мин., полученные результаты усредняют и все последующие расчеты выполняют для средних значений опытных данных (таблица 3.1).

3. Преподаватель или лаборант изменяет режим работы, увеличивая расход воды через прибор.

4. Через 20-25 мин производят замер параметров на втором режиме и т.д.

## **6. УКАЗАНИЯ ПО ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЕТА.**

Отчет о лабораторной работе должен включать следующие разделы.

1. Цель работы.
2. Схема опытной установки.
3. Обработка результатов измерений по своему режиму.
4. Таблица экспериментальных и расчетных данных по всем режимам работы установки.
5. График зависимости  $K_{np} = f(\Delta t)$ .

## **7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.**

1. Какие требования предъявляются к отопительным приборам?
2. Что называется коэффициентом теплопередачи?

## **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2**

### **ИССЛЕДОВАНИЕ РЕГУЛИРУЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ВОЗДУШНОГО КЛАПАНА КОНВЕКТОРА.**

#### **1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ.**

Целью работы является знакомство с индивидуальным регулированием тепловой мощности отопительного прибора без изменения расхода теплоносителя и конструктивной схемой однотрубного стояка при установке конвекторов "Комфорт-20"; объяснение происходящих процессов.

В работе исследуется регулирующая способность воздушного клапана настенного конвектора "Комфорт-20".

#### **2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ.**

Тепловой режим отапливаемых зданий и помещений определяется как результат совместного влияния внешних и внутренних возмущающих воздействии. Влияние внешних возмущающих факторов (температуры наружного воздуха, скорости и направления ветра, интенсивности солнечной радиации и влажности воздуха) учитывается различными способами регулирования тепловой мощности системы отопления.

В системах водяного отопления применяется качественное и количественное регулирование тепловой мощности по теплоносителю. Качественное регулирование может быть центральным - на тепловой станции, групповым - в ЦТП и местным - в ИТП здания, а количественное, кроме указанных выше мест, индивидуальное - у отопительных приборов.

Качественное регулирование тепловой мощности систем водяного отопления проводят по основному возмущающему воздействию на тепловой режим помещений - температуре наружного воздуха. Для отдельных частей систем, ориентированных по противоположным сторонам горизонта, или

предназначенных для отопления различных зон и блоков зданий учитывают дополнительные внешние факторы - воздействие ветра и солнечной радиации, т.е. осуществляют регулирование по приведенной температуре наружного воздуха.

Вода, направляемая в системы отопления, централизованно нагревается до температуры, необходимой для компенсации теплопотерь. В системах отопления, присоединяемых к наружным тепловым сетям по зависимой схеме со смешением, качественное регулирование осуществляют путем изменения соотношения между расходами высокотемпературной и охлажденной воды. При независимой схеме прибегают к изменению расхода высокотемпературной воды, пропускаемой через теплообменники, или к смешению части охлажденной воды из системы отопления с водой, нагреваемой в теплообменниках.

В городских кварталах в настоящее время применяют качественное регулирование температуры горячей воды в центральных тепловых пунктах. При таком регулировании температуры греющей воды для группы зданий трудно избежать неравномерного прогрева отдельных зданий или их частей и требуется дополнительное местное количественное регулирование, например, с помощью смесительных: насосов ЦВЦ или элеваторов с регулируемым соплом, т.е. местное количественное регулирование применяется как дополнительное к центральному качественному.

Влияние внутренних возмущающих воздействий (теплоты, выделяемой при приготовлении пищи, от электрических бытовых и осветительных приборов, непосредственно от людей) устраняется индивидуальным количественным регулированием тепловой мощности приборов.

Индивидуальное количественное регулирование по теплоносителю может быть ручным и автоматическим. Для ручного регулирования в системах водяного отопления при температуре теплоносителя до 105°C используют: в однотрубных системах - регулирующие краны с пониженным гидравлическим сопротивлением; в двухтрубных системах - регулирующие кра-

ны с повышенным гидравлическим сопротивлением. Для автоматического регулирования по отклонению температуры воздуха помещения от заданной применяет регуляторы прямого действия как наиболее дешевые и простые в обслуживании, устанавливая их на подводке к отопительному прибору.

Существенным недостатком индивидуального количественного ручного или автоматического регулирования тепловой мощности приборов является снижение надежности работы системы. Установка регулирующих кранов или автоматически действующих регуляторов на подводках к прибору приводит к значительному увеличению мест возможных течей в системе (резьбовые соединения, сальниковые уплотнения). Кроме того, усложняется устройство системы, возникает необходимость монтажа замыкающих участков, что приводит к дополнительным затратам металла и труда.

Заслуживает внимания второй способ индивидуального регулирования тепловой мощности - путем изменения величины конвективного или лучистого потока, поступающего от отопительного прибора в обогреваемое помещение. Лучистая составляющая теплового потока от прибора изменяется установкой экрана, конвективная составляющая - изменением расхода воздуха, омывающего поверхность прибора. Такой способ используется в конвекторах "Комфорт - 20".

### **3. ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ, ОБОРУДОВАНИЕ, ПРИБОРЫ.**

#### **3.1. Устройство и техническая характеристика конвектора "Комфорт-20".**

Увеличение поверхности стальных труб пластинами из стали или алюминия позволяет получить отопительные приборы - конвекторы, которые, как и стальные радиаторы, имеют значительно меньший расход металла. Металлоемкость системы отопления с конвекторами "Комфорт-20" в 2,5 раза ниже металлоемкости системы с чугунными радиаторами, при этом металло-

емкость отопительных приборов в первом случае составляет 40 %, а во втором 80 % металлоемкости системы.

Все типы конвекторов с кожухом - "Комфорт-20", "Ритм", "Изотерм" и КВ (конвекторы высокие для отопления лестничных клеток) - разработаны согласно требованиям ГОСТ 20849-75 "Стальные конвекторы с кожухом" и предназначены для работы в системах отопления с температурой воды до 150 °С и избыточным рабочим давлением до I МПа (давление испытания 1,5 МПа).

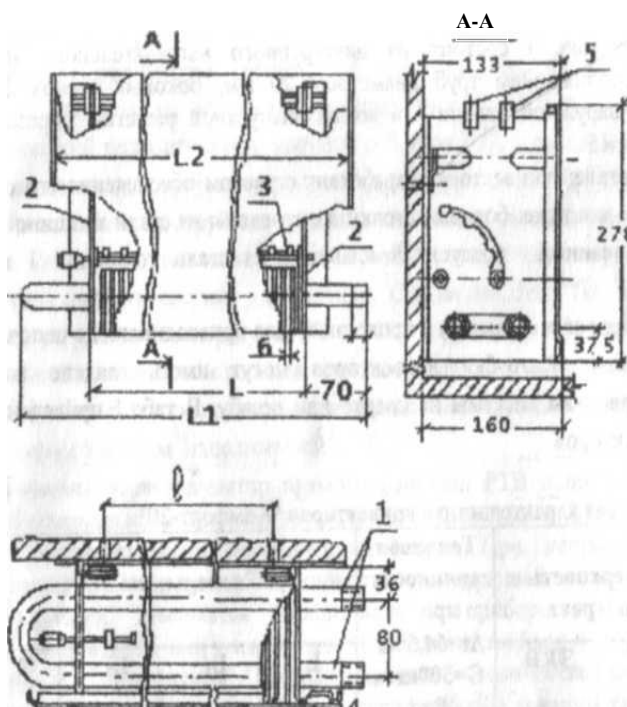


Рис.2.1. Настенный конвектор с кожухом "Комфорт-20"

Конвекторы "Комфорт-20" (обозначение на чертежах КН20 - 0,65 К: 20 - диаметр трубок, 0,65 - поверхность нагрева, К – концевой) - это стальные настенные отопительные приборы. Конвектор (рис. 6.1) состоит из двухтрубного нагревательного элемента 1 с горизонтальным расположением труб диаметром 20 мм, боковых стенок 2, воздушного клапана-заслонки 3, наружной панели 4 и воздуховыпускной решетки, образованной двумя П-образными деталями 5.



Конструкция деталей конвектора разработана с учетом обеспечения его прочности при транспортировании, и монтаже : боковые стенки изготовлены из стали толщиной 2 мм, детали кожуха и профилированной воздушный клапан - из стали толщиной 1 мм, пластины оребрения - 0,5 мм

Приборы выпускаются в концевом и проходном (для присоединения в цепочку нескольких приборов) исполнениях. Патрубки конвекторов могут иметь гладкие концы для присоединения к подводкам системы на сварке или резьбу. В таблице 2.1 приведены технические характеристики конвекторов.

Таблица 2.1

Технические характеристики конвекторов "Комфорт-20".

Обозначение конвектора	Поверхность нагрева		Тепловая мощность при $\Delta t=64,5^{\circ}\text{C}$ G= 300 кг/ч, Вт	Размеры, мм				Масса, Кг.
КН20-0,65К	0,71	0,65	329	200	340	300	140	5,6
КН20-0,9К	1,06	0,9	456	300	440	400	240	7,15
КН20-1,1К	1,42	1,1	581	400	540	500	340	8,68
КН20-1,4К	1,77	1,4	727	500	640	600	440	10,24
КН20-1,7К	2,13	1,7	872	600	740	700	540	11,75
КН20-2,0К	2,48	2,0	1018	700	840	800	640	13,32
КН20-2,3К	2,84	2,3	1163	800	940	900	740	14,87
КН20-2,6К	3,19	2,6	1309	900	1040	1000	840	16,39
КН20-2,9К	3,55	2,9	1454	1000	1140	1100	940	17,94
КН20-3,2К	3,9	3,2	1600	1100	1240	1200	1040	19,51
КН20-3,5К	4,26	3,5	1745	1200	1340	1300	1140	21,02

Перестановкой наружной панели и воздушного клапана (для удобства очистки клапан должен открываться к стене) можно получить конвектор с присоединением слева и справа.

На боковых стенках конвектора имеются кронштейны, с помощью которых он навешивается на крюки - пластины, поставляемые в комплекте. Такое решение наряду с простотой монтажа обеспечивает компенсацию линейных температурных изменений при установке конвекторов в цепочку за счет возможного перемещения на кронштейне в пределах 15 - 20 мм

Конвекторы не требуют установки регулировочной арматуры, так как все приборы имеют клапан для регулирования тепловой мощности "по воздуху". Благодаря этому становится возможным применение проточных одноструйных стояков систем водяного отопления. Клапан имеет фиксированные положения, остаточная тепловая мощность при закрытом клапане, по данным опытных испытаний равна 30 %.

Эксплуатация конвекторов сводится к регулированию тепловой мощности с помощью воздушного клапана и периодической очистке нагревательных элементов от пыли, что осуществляется при снятой панели и открытом клапане. В летнее время клапаны должны быть закрыты для защиты нагревательных элементов от пыли.

### 3.2. Схема экспериментальной установки.

Для исследования регулирующей способности воздушного клапана конвектора смонтирована экспериментальная установка (рис.2.2).

В конвектор 5 по подающему трубопроводу 3 горячая вода поступает из стояка системы отопления здания 1 после открытия вентилей 2. Из мерного бака 9 вода по трубопроводу 11 сбрасывается в канализацию. Регулирование расхода воды через прибор производится краном 8.

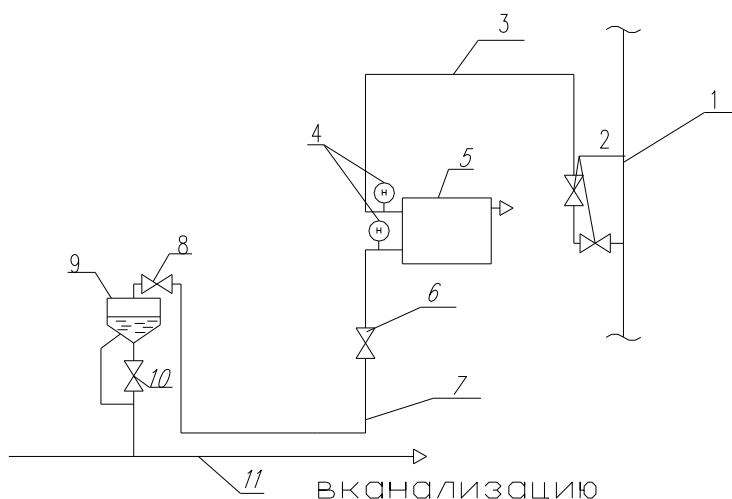


Рис 2.2. Схема экспериментальной установки для определения регулирующей способности воздушного клапана конвектора.

### 3.3. Методика измерений.

При выполнении лабораторной работы измеряются следующие величины:

- 1) температура воды на входе и выходе из конвектора -  $t_{\text{вх}}$ ,  $t_{\text{вых}}$ ;
- 2) температура воздуха в помещении -  $t_{\text{в}}$ ;
- 3) время наполнения мерного бака.

Температура воды измеряется с помощью ртутных термометров установленных в гильзах, помещенных в поток движущейся по трубопроводу воды. Для улучшения теплопередачи от воды к резервуару термометра нижняя часть гильзы заполняется машинным маслом. Верхняя часть гильзы защищает термометр от поломки.

Расход воды через конвектор определяется с помощью мерного бака 9, объем которого известен ( $V_6 = 0,003 \text{ м}^3$ ). Обвязка мерного бака выполнена так, что при открытом кране 10 вода уходит в канализацию. При измерении расхода воды через прибор закрывается кран 10 и одновременно включается секундомер. По времени наполнения мерного бака можно определить расход воды (кг/ч) через прибор:

$$G_{\text{в}} = \frac{3600 \times V_6 \rho}{\tau} \quad (2.1)$$

где  $\tau$  - время наполнения мерного бака, с;  $\rho$  - плотность вода при температуре на выходе из конвектора, кг/м (см.рис.1.3 , лаб.работа №1).

Температура воздуха в помещении определяется по показанию сухого термометра психрометра.

Замеры температуры воды следует выполнять только при стационарном тепловом режиме, когда показания термометров будут постоянными. Результаты измерений записывают в табл. 2.2.

Таблица 2.2

Экспериментальные данные.

№ режима	№ опыта	Положение воздушного клапана	$\tau, \text{с}$	Температура, 0 С		
				$t_{\text{вх}}, 0\text{С}$	$t_{\text{вых}}, 0\text{С}$	$t_{\text{в}}, 0\text{С}$
1	1	Полностью открыт				
	2	Открыт на 600				
	3	Открыт на 300				
	4	Закрыт				

### 3.4.Методика обработки опытных данных.

Тепловую мощность конвектора при полностью открытом воздушном клапане на основании полученных экспериментальных данных можно считать по формуле

$$Q = \frac{1}{3.6} G \times c \times (t_{ex} - t_{vix}) \quad (2.2)$$

При прикрытии воздушного клапана уменьшаются конвективная составляющая в теплопередаче от теплоносителя к воздуху и общая тепловая мощность прибора.

Так как тепловая мощность прибора при открытом воздушном клапане равна единице можно рассчитать относительную тепловую мощность конвектора при любом промежуточном положении клапана:

$$\varphi = \frac{Q'}{Q} \quad (2.3)$$

Экспериментальные данные позволяют рассчитать коэффициент теплопередачи конвектора:

$$K = \frac{Q}{F_{np}(t_{np} - t_v)} \quad (2.4)$$

где  $K_{np}$  - коэффициент теплопередачи конвектора, Вт/(м<sup>2</sup>.К);  $Q$  - тепловая мощность конвектора при данном режиме и опыте, Вт;  $F_{np}$ - площадь нагревательной поверхности конвектора, м<sup>2</sup>; для конвектора КН 20-2,6К  $F_{np}$  – 3,19 м<sup>2</sup>;  $t_{np}$  - средняя температура теплоносителя в приборе, °С, (см.ф.3.4 лаб.работа №3);  $t_v$  - температура внутреннего воздуха помещения, °С.

Результаты расчетов сводят в таблицу 2.3.

Таблица 2.3

Расчетные величины

№ режима	№ опыта	G, кг/ч	Q, Вт	φ	t <sub>np</sub> , °С	(t <sub>np</sub> - t <sub>v</sub> ), °С	K <sub>np</sub> , Вт/м <sup>2</sup> .К
1	1						
	2						
	3						
	4						

#### 4. ЗАДАНИЕ НА РАБОТУ.

Во время работы следует выполнять требуемые замеры и, обрабатывать данные наблюдений, построить необходимые графики.

#### 5. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ.

Лабораторная работа проводится при нескольких режимах работы конвектора. Режим работы определяется расходом воды через конвектор. На каждом режиме проводится исследование тепловой мощности прибор, а при разной степени открытия воздушного клапана ( $\alpha = 90^\circ, 60^\circ, 30^\circ, 0^\circ$ ). Замеры выполняются звеном студентов в 3-4 человека. По результатам всех опытов строятся необходимые графики.

Лабораторная работа проводится в следующем порядке:

1. 30 мин до начала работы включается опытная установка при максимальном расходе воды через конвектор и полностью открытым воздушным клапане конвектора (угол открытия  $\alpha = 90^\circ$ )
2. После начала занятий производятся замеры экспериментальных данных  $\tau, t_{\text{вх}}, t_{\text{вых}}, t_{\text{в}}$  и воздушный клапан прикрывается (угол открытия  $60^\circ$ ).
3. После выхода прибора на стационарный режим, когда температура воды на выходе из прибора изменяться не будет, производятся замеры экспериментальных данных.
4. Замеры повторяются при углах открытия  $30^\circ$  и  $0^\circ$  после чего изменяют расход воды через прибор, воздушный клапан полностью открывают и продолжают исследование.

#### 6. УКАЗАНИЯ ПО ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЕТА.

Отчет о лабораторной работе должен включать следующие разделы.

1. Цель исследования,
2. Схема опытной установки.
3. Методика измерений и таблица экспериментальных данных.

4. Методика обработки опытных данных и таблица расчетных величин.

5. График зависимостей относительной тепловой мощности прибора от угла открытия воздушного клапана и график зависимости коэффициента теплопередачи конвектора от разности температур  $\varphi=f(\alpha)$  и  $K=f(t_{\text{пр}}-t_{\text{в}})$ .

## 7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.

1. Что такое расчётная тепловая мощность системы отопления, отопительного прибора?

2. Какие внешние возмущающие факторы учитываются при определении тепловой мощности системы отопления?

3. Какие способы регулирования тепловой мощности системы отопления знаете?

4. В каких местах может осуществляться регулирование тепловой мощности системы отопления?

5. Какие внешние и внутренние возмущающие воздействия на тепловой режим помещения учитываются индивидуальным количественным регулированием тепловой мощности отопительного прибора?

6. Почему в однотрубных системах водяного отопления нецелесообразно использовать краны двойной регулировки?

7. Какая регулирующая арматура используется для ручного индивидуального количественного регулирования тепловой мощности отопительных приборов?

8. Как осуществляется индивидуальное регулирование тепловой мощности отопительного прибора без изменения расхода теплоносителя?

9. Какие виды отопительных приборов Вы знаете?

10. Почему отопительный прибор, состоящий из труб небольшого диаметра с дополнительным оребрением пластинами, называется конвектором?

11. Расскажите о достоинствах конвектора с кожухом.

12. В чем конструктивное отличие концевых и проходных конвекторов с кожухом?
13. Какую конструктивную схему однотрубного стояка следует применять при установке конвекторов "Комфорт-20"?
14. Почему воздушный клапан конвектора "Комфорт-20" должен быть закрыт в летнее время?
15. Как работает экспериментальная установка?
16. Как определить расход воды через конвектор?
17. По какой формуле можно рассчитать тепловую мощность конвектора?
18. Что называется коэффициентом теплопередачи конвектора?
19. Как рассчитать коэффициент теплопередачи конвектора?
20. Проанализируйте построенные графики зависимостей  $\varphi=f(\alpha)$  и  $K=f(t_{\text{пр}}-t_{\text{в}})$ .

## 8. ЛИТЕРАТУРА.

1. Сканави А.Н. , Махов Л.М. Отопление/А.Н.Сканави, Л.М.Махов. – М. : Издательство АСВ, 2002. – 576 с.:ил. .- Библиогр. в конце кн.-ISBN 5-93093-161-5 : 192.00.
2. Соснин Ю.П., Бухаркин Е.Н., Орлов К.С., Самусь О.Р. Инженерные сети и оборудование зданий и сооружений: Учебник/ Е.Н.Бухаркин, К.С. Орлов, О.Р.Самусь и др.; Под ред.Ю.П.Соснина.-3-е изд., испр.-М.:Высш.шк., 2009.- 415 с.:ил.- Библиогр. в конце кн.- ISBN 978-5-06-006141-3 : 927.00.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3

### ИССЛЕДОВАНИЕ НЕСТАЦИОНАРНОГО ТЕПЛОВОГО РЕЖИМА ЧУГУННОГО РАДИАТОРА

#### 1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ РАБОТЫ

Лабораторная работа проводится в течение 2 часов занятий с целью изучения закономерностей протекания тепловых процессов в отопительных приборах, а также экспериментально-аналитического исследования теплового режима чугунного радиатора в период его разогрева, т.е. до выхода в стационарный режим работы.

#### 2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

##### 2.1. Теплообмен на внутренней и наружной поверхностях радиатора.

##### Коэффициент теплопередачи.

Коэффициент теплоотдачи у внутренней поверхности отопительного прибора  $\alpha_v$  определяется в основном скоростью движения и температурой воды. В емких чугунных радиаторах передача теплоты через пограничный слой обычно происходит при незначительной скорости движения воды - около 0,001 м/с. Такой скорости соответствует ламинарный режим течения воды ( $Re < 2320$ ).

Коэффициент теплоотдачи у внутренней поверхности стенки радиатора при этом определяется по уравнению подобия из работы [1]

$$Nu_T = 0.17 \times Re_T^{0.33} - Pr_T^{0.43} \times Gr_T^{0.1} \times (Pr_T / Pr_c)^{0.25} \times \varepsilon \quad (3.1)$$

где числа Нуссельта  $Nu_T$ , Рейнольдса  $Re_T$ , Прандтля  $Pr_T$  и Грасгофа  $Gr_T$  определяются по средней температуре теплоносителя в приборе  $t_t$ , а число  $Pr_c$  - по средней температуре стенки прибора  $t_c$ ;

$\varepsilon$ - поправочный коэффициент, учитывающий отношение длины канала, по которому движется вода в приборе, к его эквивалентному диаметру.

Так как безразмерные комплексы  $Nu_T$ ,  $Re_T$ ,  $Pr_T$ ,  $Pr_c$  и  $Gr_T$  имеют вид



$$Nu_T = \frac{a_B \times d_3}{\lambda_T}; \quad Re_T = \frac{v_T \times d_3}{\nu_T}; \quad Pr_T = \frac{\nu_T}{a_T}; \quad Pr_c = \frac{\nu_c}{a_c};$$

$$(3.2) Gr_T = \frac{\beta_T \times g \times d_3^3 \times (t_T - t_c)}{\nu_T^2}$$

то, приняв температуру стенки  $t_c = 0,95t_T$  и поправочный коэффициент  $\varepsilon$  для чугунного радиатора равным 1,25, выражение (3.1) относительно коэффициента теплоотдачи  $a_B$ , Вт/(м<sup>2</sup>К), можно переписать в виде

$$\alpha_B = \varphi_T \times \nu_T^{0..33} \quad (3.3)$$

В выражениях (3.2)-(3.3) использованы следующие обозначения:

$d_3$ - эквивалентный внутренний диаметр радиатора, м;  $\nu_T$  и  $\nu_c$  -коэффициенты кинематической вязкости воды соответственно при температуре теплоносителя и стенки, м<sup>2</sup>/с;  $\lambda_T$  - коэффициент теплопроводности воды, Вт/(м<sup>2</sup>К);  $\nu_T$  - скорость движения воды в радиаторе, м/с;  $a_T$  и  $a_c$  - коэффициенты температуропроводности воды соответственно при температуре теплоносителя и стенки, м<sup>2</sup>/с;  $\beta_T$  - коэффициент температурного расширения воды, 1/К;  $g$  - ускорение силы тяжести, м/с;  $\varphi_T$  - комплексный параметр, учитывающий физические свойства воды в приборе (табл.1).

Таблица 1. Физические свойства воды

t, °C	ρ, кг/м3	φТ	t, °C	ρ, кг/м3	φТ
18	998,9	550,5	50	988,8	740,0
20	998,6	556,9	52	987,9	748,7
22	998,2	582,0	54	986,9	757,1
24	997,8	596,4	56	985,9	765,2
26	997,3	611,0	58	984,9	773,2
28	996,8	624,1	60	983,8	780,7
30	996,3	636,9	62	982,7	788,6
32	995,7	648,0	64	981,6	796,4
34	995,1	659,3	66	980,4	803,4
36	994,4	670,7	68	979,3	811,2
38	993,7	682,3	70	978,1	817,1
40	993,0	691,8	72	976,9	824,5
42	992,2	702,5	74	975,9	831,4
44	991,4	711,4	76	974,4	836,4
46	990,6	721,4	78	973,1	844,0
48	989,7	730,2	80	971,8	849,8

Коэффициент теплоотдачи у наружной поверхности отопительного прибора а., можно представить в виде суммы коэффициентов конвективного  $\alpha_H^K$  и лучистого  $\alpha_H^L$  теплообмена:

$$\alpha_H = \alpha_H^K + \alpha_H^L \quad (3.4)$$

Конвективный теплообмен при свободном движении воздуха обуславливается температурным напором. Коэффициент конвективного теплообмена определяется по уравнению подобия из работы [1]

$$Nu_B = \beta_k \times (Gr_B \times Pr_B)^{1/3} \quad (3.5)$$

где коэффициент  $\beta_k$  зависит от положения поверхности отопительного прибора в пространстве, а числа  $Nu_B$ ,  $Gr_B$  и  $Pr_B$  находятся при температуре воздуха в помещении  $t_B$ .

При температуре воздуха, равной 20 °С, выражение для определения  $\alpha_H^K$ , Вт/(м²К), запишется в виде

$$\alpha_H^K = 12,2 \times \beta_k \times (t_C - t_B)^{1/3} \quad (3.6)$$

Лучистый теплообмен зависит от материала и формы отопительного прибора, размеров, температуры и взаимного расположения прибора и окружающих поверхностей в помещении. Коэффициент лучистого теплообмена  $\alpha_H^K$ , Вт/(м²К), определяется по формуле

$$\alpha_H^L = C_O + \varepsilon_{PP} \times \varphi_{1-R} \frac{\left(\frac{t_C + 273}{100}\right)^4 - \left(\frac{t_R + 273}{100}\right)^4}{t_C - t_B} \approx C_O \times \beta_L \times [0,81 + 0,005 \times (t_C - t_D)] \quad (3.7)$$

где  $c_0$  - коэффициент излучения абсолютно черного тела, принимается равным 5,67 Вт/(м²К);  $\varepsilon_{пр}$  - приведенный относительный коэффициент излучения;  $\varphi_{1-R}$  - коэффициент облученности с поверхности радиатора на окружающие поверхности;  $t_R$  - радиационная температура помещения, °С;  $\beta_L$  - коэффициент, учиты-

вающий материал и форму радиатора, размеры, температуру и взаимное расположение прибора и окружающих поверхностей; в лабораторной работе можно ориентировочно принять  $\beta_{\text{Л}} \approx 0,45$ .

Сопротивление теплопередаче отопительного прибора  $R_{\text{пр}}$  складывается из сопротивления теплоотдаче у внутренней поверхности стенки прибора  $R_{\text{в}}$ , сопротивления теплопроводности стенки  $R_{\text{с}}$  и сопротивления теплоотдаче у наружной поверхности прибора  $R_{\text{н}}$ .

Так как

$$R_{\text{в}} = \frac{F_{\text{ПП}}}{\alpha_{\text{в}} \times F_{\text{в}}}; R_{\text{н}} = \frac{1}{\alpha_{\text{н}}}$$

а величина  $R_{\text{с}}$  для чугунного радиатора пренебрежимо мала, то выражение для определения коэффициента теплопередачи прибора  $K_{\text{пр}}$ , Вт/(м\*К), можно записать в виде

$$K_{\text{ПП}} = \frac{1}{R_{\text{ПП}}} = \frac{1}{\frac{F_{\text{ПП}}}{\alpha_{\text{в}} \times F_{\text{в}}} + \frac{1}{\alpha_{\text{н}}}} \quad (3.8)$$

где  $F_{\text{пр}}$ ,  $F_{\text{в}}$  - площадь наружной и внутренней поверхностей радиатора, м<sup>2</sup>; в лабораторной работе следует принимать  $F_{\text{пр}} = 2,093 \text{ м}^2$ ;  $F_{\text{в}} = 1,61 \text{ м}^2$ .

## 2.2. Нестационарный тепловой режим радиатора

Нестационарный тепловой режим отопительного прибора описывается системой дифференциальных уравнений теплового баланса, которые в конечных разностях имеют следующий вид: для теплоносителя

$$C_T \times G_{\text{ПП}} \times (t_{\text{ВХ}}^{\text{CP}} - t_{\text{ВЫХ}}^{\text{CP}}) = m_T \times C_T \times \frac{t_T^{\text{КОИ}} - t_T^{\text{НАЧ}}}{\Delta Z} + \alpha_{\text{в}} \times F_{\text{в}} \times (t_T^{\text{CP}} - t_{\text{с}}^{\text{CP}}) \quad (3.9)$$

для стенки прибора

$$\alpha_B \times F_B \times (t_T^{CP} - t_C^{CP}) + \alpha_H \times F_{ПП} \times (t_B^{CP} - t_C^{CP}) = m_c \times C_c \times \frac{t_T^{CP} - t_C^{CP}}{\Delta Z} \quad (3.10)$$

где  $C_T$  - удельная теплоемкость воды, принимаемая равной 4190 Дж/(кгК);  $G_{пр}$  - расход воды через отопительный прибор, кг/с;  $t_{вх}$ ,  $t_{вых}$  - температура воды соответственно на входе и выходе из радиатора, °С;  $m_T$  - масса воды в радиаторе, кг,  $\Delta Z$  - расчетный интервал времени, с;

$m_c$  - масса стенки радиатора, принимается равной 57,6 кг;  $C_c$  - удельная теплоемкость чугуна,  $C_c = 482$  Дж/(кгК).

Масса воды в радиаторе рассчитывается по формула

$$m_T = V_{ПП} \times \rho_T \quad (3.11)$$

где  $V_{пр}$  - объем воды в радиаторе, в работе принимается  $V_{пр} = 1,001 \times 10^{-2} \text{ м}^3$ ;  $\rho_T$  - плотность воды при температуре  $t_T$ , кг/м<sup>3</sup>; принимается по табл.1.

Расчетный интервал времени определяется из выражения

$$\Delta Z = 60 \times (Z_{КОН} - Z_{НАЧ}) \quad (3.12)$$

Индексы "ср", "кон" и "нач" означают, что параметры принимаются соответственно для середины, конца и начала расчетного интервала времени. При этом параметры, принимаемые для середины расчетного интервала времени, определяются как средние арифметические значения этих параметров для начала и конца данного временного интервала.

Решая совместно уравнения (3.9) и (3.10), получим выражения для определения конечных температур стенки радиатора  $t_C^{Кон}$  и теплоносителя в приборе  $t_C^{Кон}$ , °С, в расчетном интервале времени:

$$t_C^{KOH} = \frac{\frac{2 \times C_T \times G_{PP}}{\Lambda_B} \times \frac{\Lambda_H}{\Lambda_B} \left( \frac{2 \times M_T}{\Lambda_B} + 1 \right) \times \left[ 2 \times t_B^{CP} + \left( \frac{2 \times M_C}{\Lambda_H} - 1 \right) \times t_C^{HAЧ} \right] + \frac{2 \times M_T}{\Lambda_B} \times (2 \times t_T^{CP} - t_C^H)}{\frac{\Lambda_H}{\Lambda_B} \times \left( \frac{2 \times M_T}{\Lambda_B} + 1 \right) \times \left( \frac{2 \times M_C}{\Lambda_H} + 1 \right) + \frac{2 \times M_T}{\Lambda_B}} \quad (3.13)$$

$$t_T^{KOH} = \left[ \frac{\Lambda_H}{\Lambda_B} \times \left( \frac{2 \times M_C}{\Lambda_H} + 1 \right) + 1 \right] \times t_C^{KOH} - \left[ \frac{\Lambda_H}{\Lambda_B} \times \left( \frac{2 \times M_C}{\Lambda_H} - 1 \right) - 1 \right] \times t_C^{HAЧ} - \frac{2 \times \Lambda_H}{\Lambda_B} \times t_B^{CP} - t_C^{HAЧ} \quad (3.14)$$

где  $\Lambda_B$ ,  $\Lambda_H$  - показатели теплообмена соответственно на внутренней и наружной поверхностях радиатора, Вт/К;  $\Delta t_{пр}$  - температурный перепад в приборе, °С;  $M_T$ ,  $M_C$  - показатели теплопоглощения соответственно теплоносителя в приборе и стенок прибора, Вт/К.

Показатели теплообмена определяются как произведение коэффициента теплоотдачи на поверхности прибора на площадь этой поверхности:

$$\Lambda_B = \alpha_B \times F_B; \quad (3.15)$$

$$\Lambda_H = \alpha_H \times F_{ПП}$$

Температурный перепад представляет собой разность средних за расчетный период температур теплоносителя на входе и выходе из прибора:

$$\Delta t_{ПП} = t_{BX}^{CP} - t_{BЛX}^{CP} \quad (3.16)$$

Показатели теплопоглощения рассчитываются по формулам

$$M_T = \frac{m_T \times C_T}{\Delta Z} \quad (3.17)$$

$$M_C = \frac{m_C \times C_C}{\Delta Z}$$

Тогда средний тепловой поток от теплоносителя к стенкам прибора в каждый расчетный интервал времени можно определить по формуле

$$q_T^{CP} = C_T \times G_{ПП} \times \Delta t_{ПП} \quad (3.18)$$

Средний за расчетный интервал времени тепловой поток от прибора в помещение находится из выражения

$$q_{ПП}^{CP} = \Lambda_H \times (t_C^{CP} - t_B^{CP}) \quad (3.19) \text{3.}$$

## ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

### 3.1 .Схема опытной установки

Горячая вода поступает в отопительный прибор 6 из стока 1 системы отопления здания по магистральному трубопроводу 4 (рисунок 3.1). Из отопительного прибора остывшая вода по стояку 7 поступает в мерный бак 10 через водоразборный кран 9. Из мерного бака вода сбрасывается в канализацию по трубе 12.

С целью предварительного прогрева магистрального трубопровода 4 перед началом лабораторной работы горячая вода направляется в обход отопительного прибора по трубопроводу 13. При этом пробковый кран 3 открыт, а вентиль 5 закрыт. В момент начала измерений пробковый кран 3 закрывается, вентиль 5 открывается и вода направляется в отопительный прибор 6.

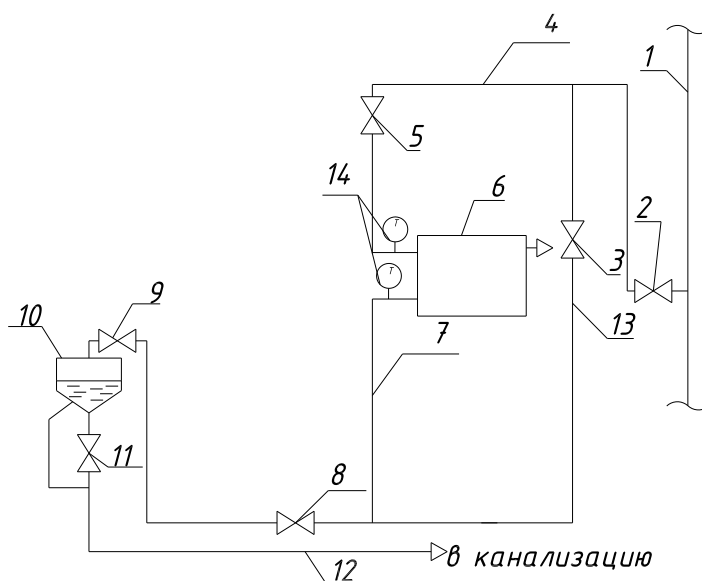


Рис.3.1 Схема лабораторной установки

### 3.2. Методика измерений

Экспериментальное исследование связано с измерением следующих величин:

- 1) температур воды на входе  $t_{вх}$  и выходе  $t_{вых}$  из радиатора;
- 2) температуры воздуха в помещении  $t_{в}$ ;
- 3) времени наполнения мерного бака  $\tau$ .

Температура воды измеряется с помощью ртутных термометров 11, установленных на подводках к радиатору. При измерении температуры воды следует соблюдать особую осторожность, так как для облегчения замеров защитные гильзы с термометров в начале работы снимаются. Температуру воздуха измеряют по отдельному ртутному термометру или по сухому термометру психрометра. Время наполнения мерного бака измеряется секундомером. С этой целью закрывается пробковый кран 6 и одновременно включается секундомер. Наполнение мерного бака определяется началом перелива воды через перегородку, установленную в этом баке.

По измеренному времени наполнения бака  $\tau$  определяется расход воды через радиатор  $G_{пр}$ , кг/с, по формуле

$$G_{пр} = \frac{V_B}{\tau} \times \rho \quad (3.20)$$

где  $V_B$  - объем бака,  $V_B=0,0041 \text{ м}^3$ ;  $\rho$  - плотность воды,  $\text{кг/м}^3$ , принимается по температуре на выходе из радиатора  $t_{вых}$ .

Результаты измерений записываются в табл.3.2.

Таблица 3.2 Экспериментальные данные

Z мин	$\tau$ , с	$t_{вх}$ , $^{\circ}\text{C}$	$t_{вых}$ , $^{\circ}\text{C}$	$t_{в}$ , $^{\circ}\text{C}$
0				
3				
6				
9				

...				
-----	--	--	--	--

#### 4. ЗАДАНИЕ НА РАБОТУ

Во время работы необходимо выполнить требуемые замеры, обработать опытные данные, построить графики и сформулировать выводы по полученным результатам исследования.

#### 5. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Экспериментальное исследование осуществляется бригадами студентов из 2 - 3 человек. В ходе работы студенты обмениваются полученными результатами. Измерения температур воды и воздуха проводятся каждые 2-3 минуты, а времена наполнения мерного бака - 2 - 3 раза в течение всей работы. За расчетное время наполнения мерного бака  $\tau$  принимается среднее арифметическое из полученных значений. Сигналом об окончании замеров является выход радиатора в стационарный режим работы, т.е. постоянство во времени температур воды и воздуха. В начале занятий студенты знакомятся с методикой выполнения работы и готовят таблицу экспериментальных данных.

Лабораторная работа проводится в следующем порядке:

- 1) за 30 - 40 минут до начала работы включается опытная установка, вода направляется в обход радиатора по трубе 8 (пробковый кран 9 открыт, вентиль 13 закрыт);
- 2) для проведения замеров водоразборным краном 4 устанавливается минимальный расход воды, затем закрывается пробковый кран 9 и открывается вентиль 13, в результате чего горячая вода начинает поступать в радиатор. Одновременно с этим измеряются температуры воды и воздуха в начальный момент времени ( $Z = 0$ );
- 3) каждые 2-3 минуты замеры температур воды и воздуха повторяются, параллельно с этим измеряется время наполнения мерного бака;
- 4) по окончании замеров отключается лабораторная установка и студенты приступают к математической обработке полученных опытных данных;



5) обработка результатов эксперимента начинается с определения коэффициента теплопередачи радиатора  $K_{пр}$ , Вт/(м<sup>2</sup>К), в стационарном режиме его работы по формуле

$$K_{пр} = \frac{C_T^{CT} \times G_{пр} \times \Delta t_{пр}^{CT}}{F_{пр} \times \Delta t^{CT}} \quad (3.21)$$

где  $\Delta t^{CT}$  -температурный напор  $\Delta t^{CT} = \Delta t_{пр}^{CT} - t_B^{CT}$ , °С;  $\Delta t_{пр}^{CT}$  -температура прибора,  $\Delta t_{пр}^{CT} = 0,5 * (\Delta t_{BX}^{CT} + \Delta t_{BIX}^{CT})$ , °С; индекс "ст" указывает на то обстоятельство, что величины принимаются для условий стационарного режима работы радиатора;

6) по полученному значению  $K_{пр}$  рассчитывается коэффициент теплоотдачи на наружной поверхности радиатора  $\alpha_n$ , Вт/(м<sup>2</sup>К), по формуле

$$\alpha_n = \frac{1}{\frac{1}{K_{пр}} - \frac{F_{пр}}{\alpha_B \times F_B}} \quad (3.22)$$

где коэффициент теплопередачи на внутренней поверхности радиатора  $\alpha_B$ , Вт/(м<sup>2</sup>К), определяется по формуле (3.3), в которой скорость воды в приборе  $v_T$  м/с, принимается по формуле

$$v_T = \frac{0.205}{\tau} \quad (3.23)$$

температура теплоносителя  $t_T$  принимается равной  $t_T = t_{пр}^{CT}$ ;

7) по формуле (3.7) рассчитывается коэффициент лучистого теплообмена на наружной поверхности прибора  $\alpha_n^л$ , Вт/(м<sup>2</sup>К), после чего из выражения (3.6) с учетом формулы (3.4) находится значение эмпирического коэффициента  $\beta_K$ ;

8) результаты последующих расчетов заносятся в таблицу расчетных данных (табл.3.3) при этом все величины определяются для середины расчетных интервалов времени. При ручном расчете допускается коэффициенты теплоотдачи  $\alpha_B$  и  $\alpha_n$  принимать постоянными в течение всего процесса, т.е.п.7 студенты не выполня-

ют. Следует отметить, что коэффициенты теплообмена при этом получаются несколько завышенными по сравнению с фактическими значениями;

9) по окончании расчетов строятся графики и формулируются выводы по результатам работы.

Таблица 3.3. Расчетные данные

Z <sub>р</sub> , мин	G <sub>пр</sub> , кг/с	Температура, °С											Тепловой поток, Вт
		t <sub>вх</sub> <sup>ср</sup>	t <sub>вых</sub> <sup>ср</sup>	Δt <sub>пр</sub>	t <sub>в</sub> <sup>ср</sup>	t <sub>с</sub> <sup>нач</sup>	t <sub>с</sub> <sup>кон</sup>	t <sub>с</sub>	t <sub>т</sub> <sup>нач</sup>	t <sub>т</sub> <sup>кон</sup>	t <sub>т</sub>	q <sub>т</sub>	q <sub>пр</sub>
1,5													
4,5													
7,5													
...													

## 6. УКАЗАНИЯ ПО ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЕТА

Отчет по лабораторной работе должен включать следующие материалы:

- 1.Цель работы.
- 2.Схему опытной установки (по усмотрению преподавателя).
- 3.Обработку своих результатов измерений.
- 4.Таблицы экспериментальных и расчетных данных по всем замерам.
5. Графики зависимостей  $t_{\text{вх}}, \text{вых}} = f(Z)$ ;

$$q_{\text{т,пр}} = \varphi(Z_{\text{р}}),$$

На графиках выделить характерные этапы работы установки.

## 7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.

- 1 .Что называется стационарным и нестационарным режимами работы отопительного прибора?
- 2.Какие факторы оказывают влияние на интенсивность теплообмена на поверхностях отопительного прибора?
3. Что включают уравнения теплового баланса для радиатора?

4. Как работает лабораторная установка во время подготовительного и рабочего периодов?
5. Как и почему изменяются во времени температура воды и тепловые потоки?
6. Как определяется по графикам время выхода радиатора в стационарный режим работы?

## **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4.**

### **ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ РАДИАТОРНОГО УЗЛА**

#### **1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ РАБОТЫ.**

Лабораторная работа проводится в течение 4 часов занятий с целью практического изучения основных факторов, влияющих на коэффициент затекания воды в отопительный прибор в радиаторном узле со смещенным замыкающим участком, а также с целью определения зависимости гидравлических сопротивлений радиаторного узла от расхода и скорости воды в стояке.

Исследование проводится для двух схем питания прибора:

1) вода движется по стояку сверху - вниз, что характерно для однотрубной системы отопления с верхней разводкой или для опускной части стояка однотрубной системы отопления с нижней разводкой;

2) вода движется по стояку снизу - вверх, что имеет место в подъемной части стояка однотрубной системы отопления с нижней разводкой.

#### **2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ**

##### **2.1. Коэффициент затекания воды в радиатор.**

Одним из основных элементов системы отопления являются отопительные приборы, предназначенные для передачи теплоты от теплоносителя в помещение. Существуют различные схемы присоединения отопительных приборов к однотрубному стояку. В настоящее время наибольшее распространение получила схема радиаторного узла со смещенным замыкающим

участком. Поток теплоносителя у таких радиаторных узлов распределяется по двум параллельным вертикальным направлениям: радиатору и замыкающему участку (рис.4.1)

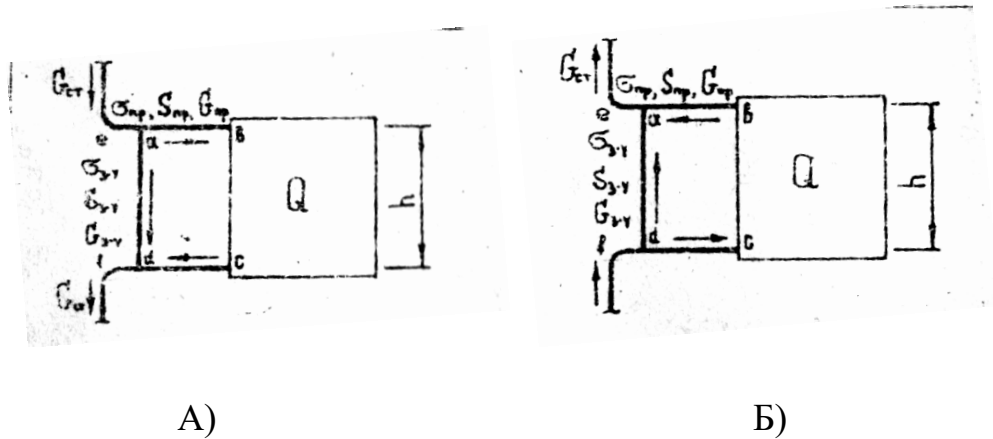


Рис.4.1Схема радиаторного узла:а) при движении воды сверху вниз, б) при движении воды снизу вверх.

Отношение расхода воды через отопительный прибор  $G_{пр}$  к расходу воды в стояке  $G_{ст}$  называется коэффициентом затекания :

$$\alpha = \frac{G_{пр}}{G_{ст}} \quad (4.1)$$

При изотермических условиях поток теплоносителя распределяется по параллельным участкам пропорционально их проводимости

$$\frac{G_{пр}}{G_{зв}} = \frac{\sigma_{пр}}{\sigma_{зв}} \quad (4.2)$$

или

$$S_{пр} \times G_{пр}^2 = S_{зв} \times S_{зв}^2 \quad (4.3)$$

где  $\sigma_{пр}$ ,  $\sigma_{зв}$  -проводимость соответственно отопительного прибора с проводящими трубами и замыкающего участка,  $\text{кг}/(\text{ч Па}^{1/2})$ , показывает расход воды или потери давления на участке 1 Па;

$S_{\text{пр}}, S_{\text{зв}}$  - характеристика сопротивления соответственно отопительного прибора с подводящими трубами и замыкающего участка,  $\text{кг}/(\text{ч Па}^{-1})^2$ , показывает потерю давления на участке при расходе воды  $1 \text{ кг}/\text{ч}$ .

$G_{\text{зв}} = (1-\alpha)G_{\text{ст}}$  - расход воды в замыкающем участке,  $\text{кг}/\text{ч}$ .

Изотермическими называются условия, при которых температуры помещения и теплоносителя в приборе равны, т.е. теплоотдача отопительного прибора равна нулю.

Коэффициент затекания воды в этом случае можно определить из уравнения (5.3) с учетом (5.1)

$$\alpha_{\text{из}} = \frac{1}{1 + \sqrt{\frac{S_{\text{пр}}}{S_{\text{зв}}}}} \quad (4.4)$$

В общем случае (при изотермических условиях) коэффициент затекания зависит от многих факторов, а именно:

- 1) от расхода или скорости движения воды в стояке ( $G_{\text{ст}}, V_{\text{ст}}$ );
- 2) от теплоотдачи отопительного прибора ( $Q$ );
- 3) от схемы радиаторного узла;
- 4) от длин и диаметров подводов к радиатору и замыкающего участка;
- 5) от высоты отопительного прибора ( $h$ );
- 6) от направления движения воды в стояке.

Уравнение, связывающее перечисленные факторы и характеризующее давление потоков воды в радиаторном узле, может быть представлено в виде:

$$S_{\text{пр}} \times G_{\text{пр}}^2 = S_{\text{зв}} \times G_{\text{зв}}^2 \pm \Delta P_E$$

.....

где  $\Delta P_e$  - естественное циркуляционное давление, возникающее в малом кольце циркуляции  $abcd$  (см. рис.4.1) из-за разности плотностей воды в отопительном приборе и в замыкающем участке, Па.

Естественное циркуляционное давление принимают со знаком плюс при движении воды сверху вниз, когда оно способствует затеканию воды в радиатор, и со знаком минус, когда оно препятствует затеканию воды в радиатор.

Если пренебречь охлаждением воды в трубах, то:

$$\begin{aligned} \Delta P_E &= h \times (\rho_{\text{пр}} - \rho_{\text{зв}}) \times g = h \times b \times (T_1 - t_{\text{пр}}) \times g = 0,5 \times h \times b (T_1 - t_2) \times g, \\ [\Delta P_E &= h \times (\rho_{\text{пр}} - \rho_{\text{зв}}) \times g = h \times b \times (T_2 - t_{\text{пр}}) \times g = 0,5 \times h \times b \times (T_2 - t_1) \times g] \end{aligned} \quad (4.6)$$

где  $t_{\text{пр}} = 0,5(T_1 - t_2)$ ,  $[t_{\text{пр}} = 0,5(T_2 - t_1)]$  - средняя температура воды в приборе, °C,  $h$  - высота радиатора, м;

$b$  - температурный коэффициент, кг/(м<sup>3</sup> °C).

$\rho_{\text{пр}}$ ,  $\rho_{\text{зв}}$  - плотность воды соответственно в радиаторе и замыкающем участке, кг/м<sup>3</sup>;

$g$  - ускорение силы тяжести, м/с<sup>2</sup>;

$T_1$  и  $t_2$  - температуры воды соответственно на входе в радиаторный узел и на выходе из радиатора при питании сверху - вниз, °C (рис. 4.3);

$T_2$  и  $t_1$  - температуры воды соответственно на входе в радиаторный узел и на выходе из радиатора при питании снизу - вверх, °C (рис.4.3).

Здесь и в дальнейшем в квадратных скобках приведены формулы для случая движения воды снизу - вверх.

Решение уравнения (4.5) относительно  $\alpha$  затруднительно, поэтому в данной лабораторной работе коэффициент затекания можно определить из уравнения теплоотдачи радиатора.

$$Q = \frac{1}{3.6} \times c \times G_{\text{пр}} \times (T_1 - t_2) = \frac{1}{3.6} \times c \times G_{\text{ст}} \times (T_1 - T_2), \text{ Вт},$$

$$[Q = \frac{1}{3.6} \times c \times G_{\text{пр}} \times (T_2 - t_1) = \frac{1}{3.6} \times c \times G_{\text{ст}} \times (T_2 - T_1)], \text{ Вт}, \quad (4.7)$$

где  $c$  – теплоемкость воды кДж/(кг °С); откуда

$$\alpha_{\text{НЕИЗ}} = \frac{T_1 - T_2}{T_1 - t_2} \quad [\alpha_{\text{НЕИЗ}} = \frac{T_2 - T_1}{T_2 - t_1}]. \quad (4.8)$$

В нашем случае  $b = 0,64 \text{ кг}/(\text{м}^3 \text{ } ^\circ\text{C})$ ;  $h = 0,5 \text{ м}$ ;  $c = 4,19 \text{ кДж}/(\text{кг } ^\circ\text{C})$ ;  $g = 9,81 \text{ м}/\text{с}^2$ .

## 2.2 Гидравлические сопротивления радиаторного узла.

В общем случае (при неизотермических условиях) гидравлические сопротивления радиаторного узла определяются по формуле:

$$\Delta P_{\text{НЕИЗ}} = S_{\text{пр}} \times \alpha_{\text{НЕИЗ}}^2 \times G_{\text{ст}}^2 \text{ и } \Delta P_{\text{Е}} = S_{\text{зв}} (1 - \alpha_{\text{НЕИЗ}})^2 \times G_{\text{ст}}^2, \text{ Па} \quad (4.9)$$

Знак минус принимается при движении воды сверху - вниз, плюс - при движении воды снизу - вверх.

Характер сопротивления  $S_{\text{пр}}$  и  $S_{\text{зв}}$  зависят от длины и диаметра трубопроводов и суммы коэффициентов местных сопротивлений на участках, а при больших скоростях воды и от ее расхода. Из уравнения (9) следует, что

$$S_{\text{пр}} = \frac{\Delta P_{\text{НЕИЗ}} \pm \Delta P_{\text{Е}}}{\alpha_{\text{НЕИЗ}}^2 \times G_{\text{ст}}^2}, \text{ Па}/(\text{кг} \cdot \text{ч}^{-1})^2,$$

$$S_{\text{зв}} = \frac{\Delta P_{\text{НЕИЗ}}}{(1 - \alpha_{\text{НЕИЗ}})^2 \times G_{\text{ст}}^2}, \text{ Па}/(\text{кг} \cdot \text{ч}^{-1})^2, \quad (4.10)$$

Гидравлические сопротивления радиаторного узла при изотермических условиях определяются по формуле:

$$\Delta P_{\text{ИЗ}} = S_{\text{пр}} \times \alpha_{\text{ИЗ}}^2 \times G_{\text{ст}}^2 = S_{\text{зв}} \times (1 - \alpha_{\text{ИЗ}})^2 \times G_{\text{ст}}^2 = S_{\text{рв}} \times G_{\text{ст}}^2, \text{ Па} \quad (4.11)$$

Тогда характеристики сопротивления радиаторного узла равна:

$$S_{PV} = \frac{\Delta P_{из}}{G_{CT}^2}, \text{ Па}/(\text{кг} \cdot \text{ч}^{-1})^2, \quad (4.12)$$

В последнее время с целью индустриализации заготовительно-монтажных работ стояки в системах отопления собирают из отдельных блоков-этажестояков (рис. 4.2).

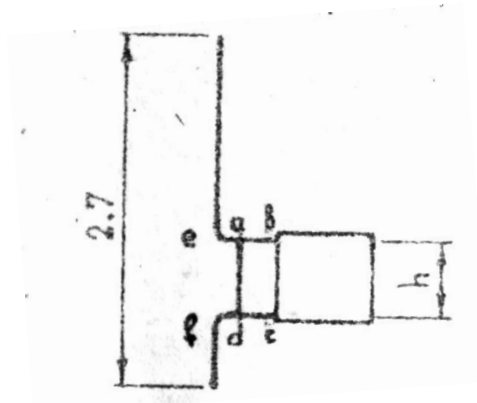


Рис.4.2. Схема этажестояка.

Гидравлические сопротивления такого этажестояка в изотермических и неизотермических условиях представляют собой сумму сопротивлений радиаторного узла и части стояка.

$$\Delta P_{\text{э-ст}} = \Delta P + R \times (2,7 - h + l_{ab} + l_{df}) + \sum \xi_{отв} \times \frac{V_{CT} \times \rho}{2}, \text{ Па} \quad (4.13)$$

где-  $\Delta P$  -гидравлические сопротивления радиаторного узла соответственно в изотермических и неизотермических условиях, Па;

$R$ -удельное падение давления на трение, принимаемое по графику (рис.4.5), Па/м;

$\sum \xi_{отв}$ - суммарный коэффициент местных сопротивлений отводов;

$(V_{CT}^2 \times \rho)/2$ -динамическое давление воды в стояке.



$$\frac{V_{CT}^2 \times \rho}{2} = \frac{(4 \times G_{CT})^2 \times \rho}{2 \times (3600 \times \rho \times \pi \times d_{CT}^2)^2} = \frac{16}{2 \times 3600^2 \times \rho^2 \times \pi^2 \times d_{CT}^4} \times G_{CT}^2 = A \times G_{CT}^2, \text{ Па}, (4.14)$$

$A$ - удельное динамическое давление в стояке,  $\text{Па}/(\text{кг} \cdot \text{ч}^{-1})^2$ , возникающее при расходе воды 1  $\text{кг}/\text{ч}$ .

В нашем случае  $\sum \xi_{отв} = 2$ ;  $A = 3,18 \cdot 10^{-4} \text{ Па}/(\text{кг} \cdot \text{ч}^{-1})^2$ .

Характеристика сопротивления этажестояка определяется по формуле

$$S_{э-ст} = \frac{\Delta P_{э-ст}^{из}}{G_{CT}^2}, \text{ Па}/(\text{кг} \cdot \text{ч}^{-1})^2, (4.15)$$

где  $\Delta P_{э-ст}^{из}$  -гидравлические сопротивления этажестояка в изотермических условиях, Па.

Используя понятие приведенного коэффициента местных сопротивлений, формулу(13) можно переписать в виде:

$$\Delta P_{э-ст} = \sum \xi_{отв} \times \frac{V_{CT}^2 \times \rho}{2} = \xi_{э-ст}^{пр} \times A \times G_{CT}^2, \text{ Па}, (4.16)$$

где  $\xi_{э-ст}^{пр}$  -приведенный коэффициент местных сопротивлений этажестояка, показывает потерю давлений в местных сопротивлениях, выраженную в долях динамического давления.

Откуда

$$\xi_{э-ст}^{пр} = \frac{\Delta P_{э-ст}}{A \times G_{CT}^2}. (4.17)$$

### 3.ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ.

#### 3.1. Схема опытной установки.

На рис.4.3 приведена схема опытной установки. В отопительный прибор 6 горячая вода поступает из стояка 1 системы отопления здания после открытия вентиля 2. Из мерного бака 11 вода по трубопроводу 14 сбрасыва-

ется в канализацию. Регулирование расхода воды через прибор производится краном 10.

При испытании радиаторного узла по схеме движения воды сверху - вниз вентили 3 и 8 закрыты, а краны 5,13 открыты. Тогда вода по трубопроводу 4 будет поступать в радиатор 6 сверху в направлении ВА. Далее, пройдя через мерный бачок 11, вода сбрасывается в канализацию по трубопроводу 14.

При исследовании радиаторного узла по схеме движения воды снизу - вверх краны 5,13 закрываются, а вентили 3 и 8 открываются. В этом случае вода по трубопроводу 4 проходит через вентиль 3 и в отопительном стояке движется в направлении АВ и дальше через вентиль 8 в мерный бачок 11.

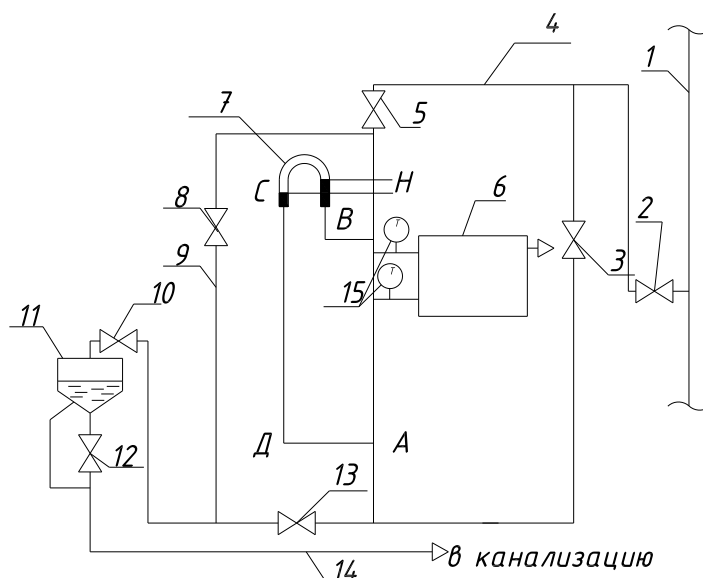


Рис.4.3. Схема опытной установки

### 3.2 Методика измерений

Экспериментальное исследование связано с измерением следующих величин:

- 1) расхода воды в стояке  $G_{ст}$ ;
- 2) температур воды  $T_1, t_1, T_2, t_2$ ;
- 3) падения давления в радиаторном узле  $\Delta P_{неиз}$ ,

Температуры воды  $T_1, t_1, T_2, t_2$  измеряются с помощью ртутных термометров, установленных в защитных гильзах, которые предохраняют термометры от поломки. Для улучшения теплоотдачи от гильзы к резервуару термометра, образующийся в гильзе кольцевой зазор между резервуаром и ее стенкой заполняется машинным маслом.

Расходы воды определяются с помощью мерного бачка 8, объем которого заранее известен и равен  $V_6$ . Обвязка камерного бака трубопроводами выполнена так, что при открытом проходном кране 13 вода в баке не скапливается, он без воды.

При измерении расхода воды закрывается кран 13 и одновременно включается секундомер. По времени наполнения мерного бачка можно определить часовой расход воды в стояке по формуле

$$G_{CT} = \frac{3600 \times V_6}{\tau} \times \rho, \text{ кг/ч}, \quad (4.18)$$

где  $\tau$  – время наполнения мерного бачка, с;  $\rho$  – плотность воды при температуре  $T_2 [T_1]$  (см.рис.3.3, лаб.раб. №3),  $\text{кг/м}^3$ .

Наполнение мерного бачка определяется началом перелива воды через перегородку, установленную в этом бачке.

Гидравлическое сопротивление радиаторного узла  $\Delta P_{\text{неиз}}$  измеряются водовоздушным манометром 14 и определяются по формуле

$$\Delta P_{\text{неиз}} = (H \pm \Delta H) \times \frac{g \times \rho}{1000} - R \times (l_{BA} - l_{AA}), \text{ Па} \quad (4.19)$$

где  $H$  – показания водовоздушного манометра, мм;

$\Delta H$  – поправка, учитывающая разность температур воды в трубках водовоздушного манометра на участке СД и в участке между точками замера, мм;

$l_{Ba}, l_{Ad}$  – расстояние от точек замера давлений до радиаторного узла (рис.3), м.

Точки замеров А и В равны в сечениях полной стабилизации потоков на определенных расстояниях от местных сопротивлений.

Величину поправки  $\Delta H$  следует определять после выполнения всех замеров по показаниям этого же водовоздушного манометра после полного закрытия вентиля 9 и прекращения циркуляции воды.

При работе радиаторного узла по схеме сверху вниз, величина поправки  $\Delta H$  в формуле (3.19) принимается со знаком минус. При работе радиаторного узла по схеме снизу вверх эта поправка имеет знак плюс.

Результаты измерений записываются в таблицу экспериментальных данных (табл.3.1).

Замеры параметров следует выполнять только при стационарном тепловом процессе, когда показания термометров  $T_1, T_2, t_1, t_2$  будут постоянными.

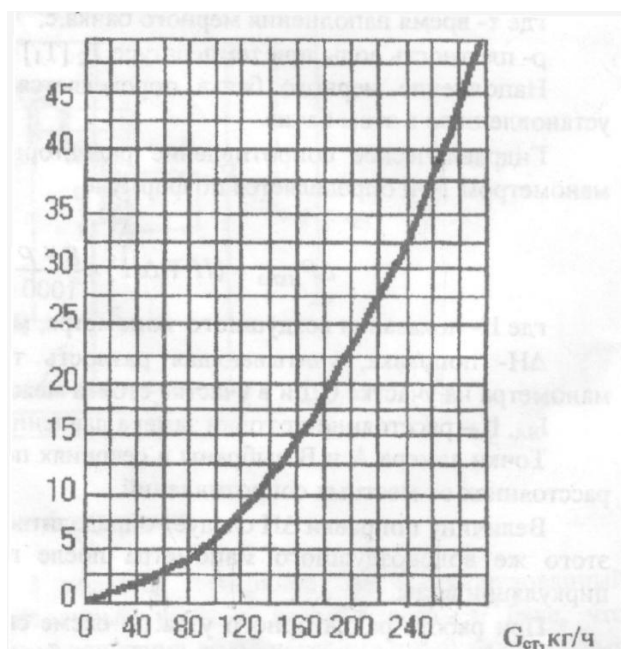


Рис. 4.5 График зависимости  $R$  от расхода воды в стояке,  $d=20\text{мм}$

Результаты расчетов записываются в таблицу расчетных данных (табл.4.2).

Таблица 4.1

№ режимов	№№ опытов	$\tau$ , с	Температуры, °С				Н, мм. вод. ст.	$\Delta H$ , мм. вод. ст.
			$T_1$	$T_2$	$t_1$	$t_2$		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
I	1							
	2							
	3							
	ср.							
II	1							
	2							
	3							
	ср.							
III	1							
	2							
	3							
	ср.							

Экспериментальные данные

Таблица 4.2.

Расчетные данные.

№ ре- жи- мов	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$G_{ст}$ , кг/ ч	$R$ , Па/ м	Неизотермические усло- вия						Изотермич. усл.				$S_{py}$ , Па/(кг · ч <sup>-1</sup> ) <sup>2</sup>	$S_{э-ст}$ , Па/(кг · ч <sup>-1</sup> ) <sup>2</sup>
				$\alpha$	$G_{пр}$ , кг/ ч	$\Delta P_e$ , Па	$\Delta P$ , Па	$Q$ , Вт	$\xi_{э-ст}^{II}$ $P$	$\alpha$	$G_{пр}$ , кг/ ч	$\Delta P$ , Па	$\xi_{э-ст}^{II}$ $P$		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
I															
II															
III															

#### 4. ЗАДАНИЕ НА РАБОТУ

Во время работы необходимо выполнить экспериментальное исследование радиаторного узла, обработать опытные данные и построить необходимые графики.

#### 5. ПОРЯДОК ВЫПОНЕНИЯ РАБОТЫ

Исследование радиаторного узла осуществляется на 3-4 режимах его работы. Режим работы узла определяется расходом воды в стояке. Переход на другой режим производится изменением расхода воды с помощью вентиля 9.

Исследование работы радиаторного узла на каждом режиме осуществляется бригадой студентов из 3-4 человек. В конце лабораторной работы студенты обмениваются результатами и строят необходимые графики.

Лабораторная работа производится в следующем порядке:

- 1) за 35-40 минут до начала работы включается опытная установка, при этом устанавливается минимальный расход воды;
- 2) сразу же после начала занятий производятся замеры экспериментальных данных  $\tau$ ,  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $t_1$ ,  $t_2$ ,  $N$  на первом режиме работы при этом показания приборов необходимо фиксировать три раза через 1-2 минуты; полученные значения усредняют и все последующие расчеты для средних значений опытных данных (табл.4.2)
- 3) преподаватель или лаборант изменяет режимы работы, увеличивая расход воды в стояке;
- 4) через 20-25 минут производятся замеры параметров на втором режиме и т.д.;
- 5) определяется поправка  $\Delta N$ .

## 6. УКАЗАНИЕ ПО ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЕТА

Отчет по лабораторной работе должен включать следующие материалы:

1. Цель работы.
2. Схема опытной установки.
3. Обработка результатов измерений по своему режиму.
4. Таблицы экспериментальных и расчетных данных по своим режимам работы установки (табл. 4.1, 4.2).

### 5. Графики зависимостей.

$\alpha_{из} = f(G_{CT})$ ;  $\xi_{9-ст}^{np} = \varphi(G_{CT})$  - для изотермических и неизотермических условий.

## 7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что называется коэффициентом затекания и от каких факторов он зависит?
2. Как определяется естественное давление в малом кольце циркуляции и как оно влияет на работу радиаторного узла?
3. Как определяется гидравлическое сопротивление радиаторного узла при изотермических и неизотермических условиях?
4. Что называется приведенным коэффициентом местных сопротивлений?
5. Как работает лабораторная установка при движении воды в радиаторном узле сверху - вниз и снизу - вверх?
6. Как определяется поправка  $\Delta H$  и что она учитывает?
7. Почему замеры параметров производятся через 20-25 минут после изменения расхода воды?
8. Как в лабораторной работе определяется расход воды в стояке?

## 8. ЛИТЕРАТУРА

1. Сканава А.Н., Махов Л.М. Отопление/А.Н.Сканава, Л.М.Махов. – М. : Издательство АСВ, 2002. – 576 с.:ил. .- Библиогр. в конце кн.-ISBN 5-93093-161-5 : 192.00.
2. Соснин Ю.П., Бухаркин Е.Н., Орлов К.С., Самусь О.Р. Инженерные сети и оборудование зданий и сооружений: Учебник/ Е.Н.Бухаркин, К.С. Орлов, О.Р.Самусь и др.; Под ред.Ю.П.Соснина.-3-е изд., испр.-М.:Высш.шк., 2009.- 415 с.:ил.- Библиогр. в конце кн.- ISBN 978-5-06-006141-3 : 927.00.

## **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5.**

### **ИССЛЕДОВАНИЕ НА МОДЕЛИ РАБОТЫ ВЕРТИКАЛЬНОЙ ДВУХ-ТРУБНОЙ ОТОПЛЕНИЯ С НИЖНЕЙ РАЗВОДКОЙ.**

#### **ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ РАБОТЫ**

Лабораторная работа проводится в течение 2 часов занятий с целью практического изучения устройства системы отопления, заполнения и пуска системы в работу, удаления воздуха из системы при пуске и во время работы, измерения и расчета циркуляции воды в системе, эксплуатационного регулирования мощности системы отопления.

## **2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ**

### **2.1. Системы отопления с естественной циркуляцией. Преимущества и недостатки.**

Системы водяного отопления с естественной циркуляцией весьма удобны для отдельных зданий, получающих теплоту от собственной котельной установки или теплообменника при независимом присоединении системы к тепловой сети. Эти системы надежны, бесшумны, просты в эксплуатации, не требуют затрат электрической энергии на привод насоса.

К недостаткам систем с естественной циркуляцией следует отнести небольшой радиус действия ( до 30 м ) и повышенный расход металла, замедленный прогрев системы а период пуска и возможность замерзания воды на опасных участках из-за малой скорости движения.

При естественной циркуляции наиболее целесообразно применение верхней разводки подающих магистральных теплопроводов , нижняя разводка применяется в основном в тех случаях, когда отапливаемое здание имеет бесчердачное покрытие или подвал, проходящий под всем зданием и дающий возможность прокладывать магистральные трубопроводы без дополнительных затрат на сооружение подпольных каналов.



Двухтрубные системы отопления с нижней разводкой обладают следующими положительными свойствами: монтаж и пуск системы может производиться поэтажно по мере возведения здания; уменьшаются потери теплоты подающими магистральями; по сравнению с двухтрубными системами с верхней разводкой, эти системы имеют большую гидравлическую устойчивость.

Одним из недостатков таких систем является необходимость устройства специальной воздушной линии для удаления воздуха из системы в период ее пуска и эксплуатации. Воздушную линию прокладывают под потолком верхнего этажа здания. Устанавливаемые вместо воздушной линии воздуховыпускные краны на каждом из приборов верхнего этажа требуют периодической проверки путем обхода всех помещений. Кроме того, для присоединения расширительного бака необходима прокладка соединительного и циркуляционного трубопроводов значительно большей протяженности, чем в системе с верхней разводкой.

Расход труб на систему с нижней разводкой при удалении воздуха через воздушную линию на 5% больше, а при удалении воздуха через воздушные краны – на 5% меньше, чем на двухтрубную систему с верхней разводкой.

## **2.2. Заполнение системы отопления водой. Удаление воздуха.**

Система отопления заполняется водой из водопровода или тепловой сети. Если давление в водопроводе не достаточно, то используют ручной насос или насос с электрическим приводом.

На модели ( см. рис.5.3 ) заполнение системы производят с помощью сосуда<sup>10</sup> путем его медленного подъема. Медленное заполнение системы водой обеспечивает полное удаление воздуха из системы.

В системах водяного отопления скопление воздуха нарушают циркуляцию теплоносителя и вызывают коррозию металла. Воздух в систему отопления попадает двумя путями: частично остается в свободном состоянии при заполнении их теплоносителем или водой в процессе заполнения и эксплуатации в растворенном виде. Количество свободного воздуха, остающегося в трубопроводах и приборах при их заполнении, не поддается учету, но этот воздух в правильно смонтированных системах устраняется в течение нескольких дней эксплуатации.

Количество растворенного воздуха, вводимого в систему при периодических добавках воды в процессе эксплуатации, зависит от качества исходной воды. Подпиточная вода содержит свыше 30 мг. воздуха в 1 кг воды, подпиточная деаэрированная вода из тепловой сети – 1 мг.

Количество растворенного воздуха, переходящего в свободное состояние, зависит от температуры ( табл.5.1) и давления воды.

Таблица 5.1.

Зависимость растворимости кислорода воздуха  
от температуры чистой воды при атмосферном давлении.

Температура, °С	5	30	50	70	90	95
Растворимость кислорода воздуха, мг/кг	33	20	15	11	5	3

Из таблицы 4.1 видно, что повышение температуры воды сопровождается значительным понижением содержания в ней растворенного кислорода, переходящего при этом в свободное состояние. Для удаления воздуха из системы должны быть предусмотрены специальные устройства. Так как плотность воздуха меньше плотности воды, пузырьки выделяющегося воздуха всплывают и скапливаются в верхних точках системы. В системах с верхней разводкой подающие магистрали прокладываются с необходимым уклоном ( не мене 0,002 ) для фиксации верхних точек сбора воздуха и удаления его в атмосферу. В этих точках устанавливают воздухоотборники; из которых воздух удаляют через ручные спускные краны или автоматические

воздухосборники. В системах с нижним расположением магистралей отвод воздуха может осуществляться двумя способами:

1. С помощью ручных и автоматических кранов, установленных в отопительных приборах верхнего этажа. При использовании ручных кранов для обеспечения надежности работы и уменьшения частоты удаления воздуха радиаторы, несмотря на уменьшение коэффициента теплопередачи, рекомендуется присоединять по схеме «снизу-вниз» (рис. 7.1).

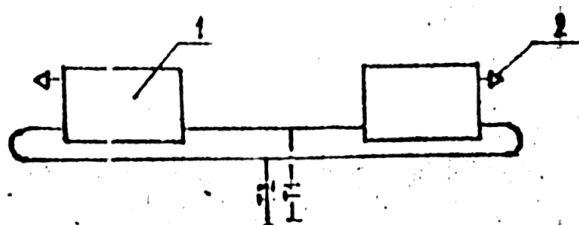


Рис. 5.1. Схема присоединения отопительных приборов верхнего этажа в двухтрубной системе отопления с нижней разводкой: 1 – отопительный прибор; 2 – воздушный кран.

Конструкция ручного воздушного крана не должна допускать разбора воды из системы отопления для бытовых целей. Получили распространение воздушные краны типа Маевского или СТД (рис. 5.2) –кран с поворотным игольчатым штоком, а также более простая конструкция крана в виде болтика с осевым и радиальным сверлением, вворачиваемого в верхнюю пробку радиатора. В последнем случае выпуск воздуха осуществляется после того, как при вывертывании болта из пробки покажется радиальное отверстие. При появлении воды болтик заворачивается в начальное положение.

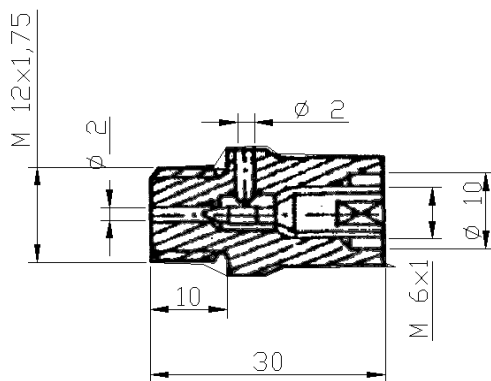


Рис. 5.2. Конструкция ручных воздушных кранов.

## 2. Централизованно через специальную воздушную линию 11 (рис. 4.3).

В этом случае подающие стояки объединяют специальной горизонтальной воздушной линией 11 и присоединяют ее к соединительному трубопроводу 3 расширительного бака 4 с помощью петли 12, которая обеспечивает расчетный гидравлический режим системы, исключая циркуляцию воды между стояками по воздушной линии. Высота петли должна быть не слишком малой, чтобы обеспечить «отсечку» циркуляции между всеми стояками, но и не слишком большой, чтобы верхние приборы не забивались воздухом.

Для случая, когда в здании нет расширительного бака, воздух удаляется через воздушную линию и воздухоотборник.

При заполнении системы водой воздух будет удаляться через воздушную линию в расширительный бак до тех пор, пока уровень воды в соединительном трубопроводе не станет выше точки присоединения петли.

При выделении воздуха в процессе эксплуатации его давление в воздушной линии будет испаряться. При давлении, большем гидростатического давления воды в точке присоединения петли, будет происходить «пробулькивание» «избыточного» воздуха.

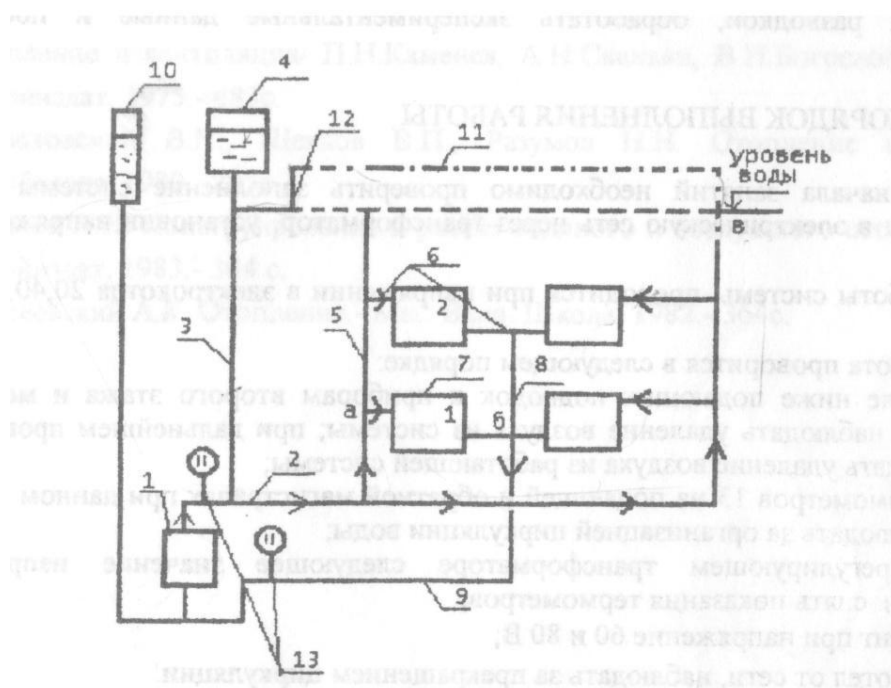


Рис 5.3 Схема опытной установки

### 2.3. Циркуляция воды в системе отопления.

В двухтрубной системе водяного отопления число циркуляционных колец равно числу отопительных приборов.

Причиной возникновения естественного (гравитационного) циркуляционного давления в системах водяного отопления является свойство воды, как и всякого физического тела, изменять объем при изменении температуры. Плотность горячей воды всегда меньше плотности холодной воды, в результате этого из-за действия гравитационного поля Земли возникает разность давлений (циркуляционное давление), благодаря которой происходит движение воды в теплопроводах системы отопления.

Величина естественного циркуляционного давления за счет остывания воды в приборах равна расстоянию по вертикали от середины нагревателя до середины отопительного прибора, умноженному на гравитационное ускорение и на разность плотностей охлажденной и горячей воды.

Так, для колец проходящих через приборы разных этажей циркуляционное давление определяется по формулам

$$\Delta\rho_{\text{ПР1}} = h_1 \times g \times (\rho_o - \rho_{\Gamma}), \quad (5.1)$$

$$\Delta\rho_{\text{ПР2}} = h_2 \times g \times (\rho_o - \rho_{\Gamma}), \quad (5.2)$$

где  $h_1$  и  $h_2$  – расстояние между центром электродкотла и центром приборов 1-го и 2-го этажей, м;

$g$  – гравитационное ускорение,  $\text{м/с}^2$ ;

$\rho_{\Gamma}$  и  $\rho_o$  – плотность воды при температурах в падающей и обратной магистралях,  $\text{кг/м}^3$  (рис. 5.4).

Из рис. 5.3 видно, что в циркуляционном кольце, проходящем через прибор второго этажа, естественное давление будет больше, чем в кольце, проходящем через прибор второго этажа, на величину  $hg(\rho_o - \rho_{\Gamma})$ , где  $h = h_2 - h_1$ , м.

С этим обстоятельством связаны трудности гидравлической увязки циркуляционных колец, проходящих через приборы разных этажей, а также наличие вертикальной разрегулировки, гидравлической и, как следствие, тепловой неустойчивости. При выполнении гидравлического расчета необходимо добиться, чтобы потери давления в кольце, проходящем через прибор второго этажа а-2-а (см.рис.3) были больше потерь по направлению а-1-б на величину дополнительного естественного циркуляционного давления, возникающего из-за разности высоты установки приборов над электродкотлом, т.е

$$(Rl + Z)_{a-2-a} = (Rl + Z)_{a-1-b} + (h_2 - h_1) \times g \times (\rho_o - \rho_r) \times B, \quad (5.3)$$

где B - коэффициент, определяющий долю максимального гравитационного давления, которую целесообразно учитывать в расчетных условиях; для двухтрубных систем B=0,4...0,5

При выполнении расчета часто путем уменьшения диаметра не удастся полностью использовать располагаемый перепад давлений. Дополнительное сопротивление в кольцах проходящих через приборы второго этажа создается краном двойной регулировки при монтажной регулировке системы.

Системы с нижней разводкой обладают большей гидравлической устойчивостью по сравнению с системами с верхней разводкой, так как большему циркуляционному давлению соответствует и большая длина кольца, проходящего через приборы верхнего этажа (рис. 5.3).

Вертикальная гидравлическая разрегулировка в значительной степени устраняется в насосных системах при повышенных расходах теплоносителя.

Так как вода остывает не только в отопительных приборах, но и трубопроводах, то полностью естественное циркуляционное давление будет равно сумме давлений, возникающих из-за остывания воды в приборе ( $\Delta P_{пр}$ ) и трубопроводах ( $\Delta P_{тр}$ ):

$$\Delta P_c = \Delta P_{пр} + \Delta P_{тр}, \quad (5.4)$$

Естественное циркуляционное давление, возникающее из-за остывания воды в трубопроводах, принимают по справочным данным.

Определение естественного давления с точностью, допустимой для инженерных расчетов, может быть упрощено. Если правую часть формулы (7.2) умножить и разделить на значение перепада температур  $t_r - t_d$ , действующего в системе, и ввести обозначение  $\beta = \frac{\rho_0 - \rho_r}{t_r - t_0}$ , то полу-

$$\text{чим } \Delta P_C = h \times g \times \frac{\rho_0 - \rho_r}{t_r - t_0} (t_r - t_0) = h \times g \times \beta \times \Delta t, \quad (5.5)$$

где  $\beta$  – удельное изменение плотности воды при изменении ее температуры на один градус в пределах небольшого, но вполне определенного диапазона температур, кг/(м<sup>3</sup>·К).

Значение  $\beta$  для параметров теплоносителя, принимаемых в практике строительства, приводится в табл.5.2.

Таблица 5.2

Значение  $\beta$  в зависимости от параметров теплоносителя.

Значение параметра теплоносителя	$\beta$ , кг/(м <sup>3</sup> ·К)
25-65	0,60
95-70	0,64
105-70	0,66
115-70	0,68
130-70	0,72
150-70	0,76

## 2.4. Эксплуатационное регулирование мощности системы отопления.

Расчетная тепловая мощность системы отопления равна недостаткам теплоты в здании, которые определяются путем составления теплового баланса всех помещений при расчетной для проектирования отопления температуре наружного воздуха, равной средней температуре наиболее холодной пятидневке.

Недостатки тепла в здании компенсируются системой отопления, мощность которой при водяном теплоносителе может быть определена по формуле

$$Q = G \times c \times (t_{\Gamma} - t_B) \times \frac{1}{3,6} \quad (5.6)$$

где Q – расчетная мощность системы, Вт;

G – расчетный расход воды в системе, кг/ч.;

$t_{\Gamma}, t_B$  – расчетные параметры воды в подающей и обратной магистралях, °C;

c – теплоемкость воды, равная 4,19 кДж/(кг.К)

Так как факторы, определяющие тепловой режим здания, - температура наружного воздуха и скорость ветра, солнечная радиация, тепловыделения в помещения- являются переменными не только в течение отопительного периода, но и суток ,то при эксплуатации систем отопления должно регулироваться количество подаваемой в здание теплоты.

Регулирование может быть центральным (в котельной или на ТЭЦ), местным (на вводе в отапливаемого здания) и индивидуальным (с помощью регулирующих кранов, установленных у отопительных приборов).

Текущая тепловая мощность системы отопления для условий, отличных от расчетных, определяется по уравнению

$$Q' = G' \times c \times (t'_{\Gamma} - t'_B) \times \frac{1}{3,6}, \quad (5.7)$$

Из уравнения (5.7) видно, что тепловая мощность системы может регулироваться путем изменения расхода воды в системе - количественное регулирование, температура воды- качественное регулирование. При совместном применении качественного и количественного регулирования получают смешанное регулирование.



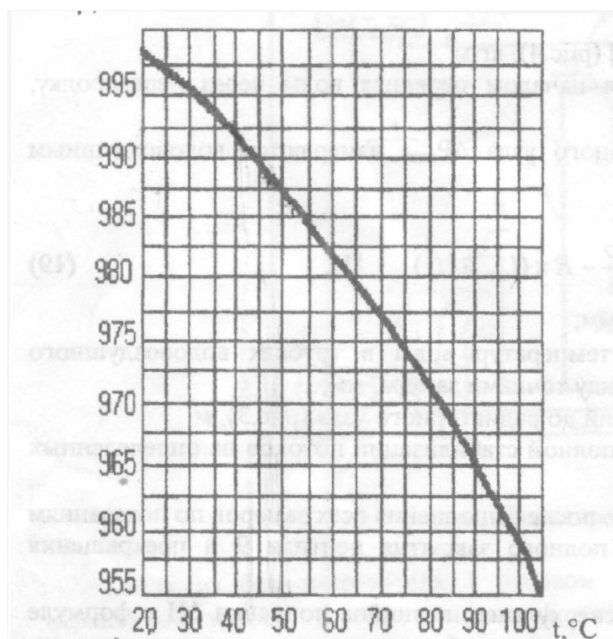


Рис 5.4 График зависимости плотности от температуры

При паровом отоплении применяется регулирование "пропусками".

В настоящее время общепринятым при водяном теплоносителе является центральное качественное регулирование, который осуществляется изменением температуры теплоносителя в тепловом центре системы теплоснабжения. Качественное регулирование производится по специальным графикам отпуска теплоты потребителям.

График центрального качественного регулирования системы отопления для г.Тулы представлен на рис. 5.5. График составлен для расчётной наружной температуры  $t_{н.п} = -27^\circ\text{C}$  при  $t_{в} = 18^\circ\text{C}$ ,  $t_{г} = 95^\circ\text{C}$ ,  $t_{о} = 70^\circ\text{C}$ . Из графика видно, что с повышением температуры наружного воздуха необходимо уменьшать температуру воды в подающей и обратной магистралях, уменьшается также и разность этих температур. Изменение разности температур приводит к изменению плотности воды, а следовательно, к снижению естественного циркуляционного давления, что автоматически приводит к уменьшению расхода воды в системе. Это означает, что в системе вместе с качест-

венным регулированием происходит и количественное саморегулирование. Такое явление в системах с естественным побуждением.

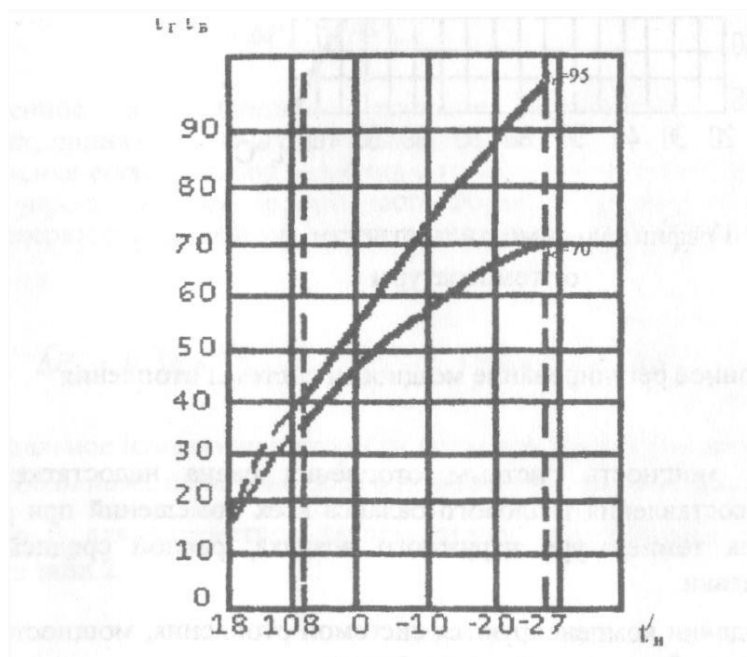


Рис 5.5 График температуры воды в подающей и обратной магистралях системы отопления

### 3. ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

#### 3.1. Схема опытной установки

На рис. 5.3 приведена схема опытной установки. Вода из электродкотла 1 по подающей магистрали 2 движется в подающий стояк 5 и поступает в отопительные приборы 7, а охлажденная вода из каждого прибора отводится в обратный стояк 8 в обратную магистраль. В установке имеется устройство 10 для заполнения системы водой. Воздух через системы удаляется через воздушную линию 11, присоединенную к соединительной трубе 3 расширительного бака 4 с помощью воздушной петли 12, которая служит для обеспечения расчетного гидравлического режима системы, исключая воды между стояками по воздушной линии.

### 3.2. Методика измерений.

В процессе эксперимента необходимо измерить:

1. температуру воды в подающей и обратной магистралях  $t_r$ ,  $t_o$ ; для различных значений напряжения в электродкотле;
2. температура воды  $t_r$  и  $t_o$  измеряется с помощью ртутных термометров;
3. естественное циркулярное давление в кольцах приборов 1-го и 2-го этажей.
4. Таблица 5.3.

Экспериментальные и расчетные данные

№ опыта	Напряжение в сети, В	Высота от центра котла до центра приборов, м	Температура, °C		Перепад температур, °C	Плотность воды, кг/м <sup>3</sup>		Циркуляционное давление, Па	
			$t_r$	$t_o$		$\rho_r$	$\rho_o$	$\Delta P_1$	$\Delta P_2$
1	20								
2	40								
3	60								

### 4. ЗАДАНИЕ НА РАБОТУ

В ходе выполнения работы требуется исследовать принцип работы двухтрубной системы отопления с нижней разводкой, обработать экспериментальные данные и построить необходимые графики.

### 5. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

За 40 минут до начала занятий необходимо проверить заполнение системы водой, включить электродкотел в электрическую сеть через трансформатор, установив напряжение 20В.

Исследование работы системы проводится при напряжении в электродкотле 20,40,60 В.

Лабораторная работа проводится в следующем порядке:

1. Опуская сосуд 10 НЕ НИЖЕ подающих подводов к приборам второго этажа и медленно поднимая его вверх, наблюдать удаление воздуха из системы; при дальнейшем проведении эксперимента наблюдать удаление воздуха из работающей системы.

2. Снять показания термометров 13 на подающей и обратной магистралях при данном режиме работы системы, наблюдать за организацией циркуляции воды.

3. Установить на регулирующем трансформаторе следующее значение напряжения ( $U=20V$ ), через 10 минут снять показание термометров; повторить эксперимент при напряжении 40 и 60 В;

4. Отключить электродотел от сети, наблюдать за прекращением циркуляции.

Результаты экспериментов сводятся в таблице 5.3.

## 6.УКАЗАНИЯ ПО ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЕТА

Отчет о лабораторной работе должен включать следующие разделы:

1.Цель работы.

2.Схема опытной установки.

3.Обработка результатов измерений по всему режиму.

4.Таблица экспериментальных и расчетных данных по всем режимам работы установки (таб.5.3).

5.Графики зависимости

$$\begin{cases} t_r = f(U) \\ t_o = f(U) \end{cases} \quad \begin{cases} \Delta p_1 = f(U) \\ \Delta p_2 = f(U) \end{cases}$$

## 7.КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1.Какие системы отопления называются двухтрубными?

2.Как происходит удаление воздуха из системы отопления?

3.Назначение расширительного бака?

4.Почему возникает циркуляция воды в данной системе отопления?

5.Преимущества и недостатки двухтрубной системы отопления с нижней разводкой?

6.Каким образом осуществляется регулирование мощности системы отопления?

## **8. ЛИТЕРАТУРА**

1. Сканави А.Н. , Махов Л.М. Отопление/А.Н.Сканави, Л.М.Махов. – М. : Издательство АСВ, 2002. – 576 с.:ил. .- Библиогр. в конце кн.-ISBN 5-93093-161-5 : 192.00.

2. Соснин Ю.П., Бухаркин Е.Н., Орлов К.С., Самусь О.Р. Инженерные сети и оборудование зданий и сооружений: Учебник/ Е.Н.Бухаркин, К.С. Орлов, О.Р.Самусь и др.; Под ред.Ю.П.Соснина.-3-е изд., испр.-М.:Вышш.шк., 2009.- 415 с.:ил.- Библиогр. в конце кн.- ISBN 978-5-06-006141-3 : 927.00.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №6.

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТЕРЬ ДАВЛЕНИЯ НА ТРЕНИЕ И В МЕСТНЫХ СОПРОТИВЛЕНИЯХ

#### 1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ РАБОТЫ

Лабораторная работа проводится в течение 2 часов занятий с целью практического изучения зависимости потерь давления на трение и в местных сопротивлениях от расхода или скорости движения воды.

Для исследования принята наиболее распространенная в системах водяного отопления арматура: вентиль, проходной кран, кран двойной регулировки .

#### 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Движение воды в трубопроводах происходит от сечений с большим давлением к сечениям с меньшим давлением. Давление теряется на преодоление сопротивления трения по длине труб и местных сопротивлений.

Падение давления  $\Delta p$ , вызванное трением воды о стенки трубопровода и местными сопротивлениями, определяется по формуле

$$\Delta p = \Delta p_{тр} + \Delta p_{мс}, \quad (6.1)$$

где  $\Delta p_{тр}$  - потери давления на трение, Па;

$\Delta p_{мс}$  - потери давления в местных сопротивлениях, Па.

##### 2.1. Гидравлические сопротивления трения

Потери давления на трение  $\Delta p_{тр}$  на участке трубопровода, определяются по формуле Дарси- Вейсбаха, полученной в XIX веке эмпирическим путем:

$$\Delta p_{mp} = \Lambda l / d \left( v^2 \rho / 2 \right) = Rl, \quad (6.2)$$

где  $\Lambda$ - безразмерный коэффициент гидравлического трения, или сокращенно - коэффициент трения;

$l$ - длина трубопровода, м;

$d$ - диаметр трубопровода, м;

$v$  - скорость движения воды, м/с;

$\rho$ - плотность воды, кг/м<sup>3</sup>;

$(v^2/2) \rho$  - динамическое давление потока, Па.

Величина  $R$  в общем случае зависит от скорости движения или расхода воды, диаметра трубопровода, а также от коэффициента трения  $\Lambda$ .

Для определения зависимости величины  $R$  от расхода воды в трубопроводе заданного диаметра необходимо измерить расход воды  $G$  и потери давления  $\Delta p_{mp}$  на прямолинейном участке длиной  $l$ .

Тогда

$$R = \Delta p_{mp} / l = f(G) = \varphi(v), \quad (6.3)$$

так как

$$v = 4G / 3600 \Pi d^2 \rho, \quad (6.4)$$

## 2.2. Местные сопротивления

Потери давления в местных сопротивлениях определяются по формуле Вейсбаха, полученной в XIX веке эмпирическим путем

$$\Delta p_{mc} = \& \left( v^2 \rho / 2 \right), \quad (6.5)$$

где  $\&$  - коэффициент местного сопротивления, величина безразмерная;

$v$  - скорость воды после прохода через местное сопротивление, м/с.

Коэффициент  $\xi$  характеризует гидравлические особенности различных местных сопротивлений.

Для определения коэффициента местного сопротивления необходимо знать падение давления в местном сопротивлении и скорость воды:

$$\xi = 2\Delta p_{мс} / v^2 \rho, \quad (6.6)$$

### 3. ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

#### 3.1. Схема опытной установки

На рис. 6.1 приведена схема опытной установки. Вода из водопроводной линии по трубе 1 поступает в напорный бак 2, оборудованный переливной трубой 3, обеспечивающий постоянный уровень воды в напорном баке.

По трубе 4 вода из бака с постоянным напором поступает в испытываемый трубопровод, в котором проходит через прямолинейный участок АВ, вентиль 6, проходной кран 7, кран двойной регулировки 5. Затем вода поступает в мерный бак 8 и через раковину спускается в канализацию.

Расход воды можно регулировать вентилем 9. Для измерения перепадов давлений у испытываемых элементов установлены водовоздушные манометры.

Гидравлические сопротивления трубопровода определяется разностью полных давлений и на участке. В данном случае диаметры всех участков сети одинаковы, следовательно, гидравлические сопротивления можно определять по перепаду статических давлений.

#### 3.2. Методика измерений

Экспериментальное исследование связано с измерением следующих величин:



1. Показатели манометра  $\Delta h_1, \Delta h_2, \Delta h_3, \Delta h_4$ , мм. вод. ст.

2. Расход воды в трубопроводах, G, кг/ч.

Измерение параметров следует производить при установившемся движении, когда уровень воды в напорном баке установится на максимальной отметке и через переливную трубу будет проходить некоторое количество воды. В трубах воздушных манометров уровни воды должны быть неподвижными. Вибрации уровней недопустимы.

Потери давления на трение следует определять по формуле

$$\Delta p_{тр} = 9.81 \Delta h_1, \quad (6.7)$$

где  $\Delta h_1$  - показание манометра, установленного на трубопроводе АВ, мм вод.ст., что численно равно потерям давления в кг/м<sup>2</sup>.

Удельные потери давления на трение

$$R = \Delta p_{тр} / l_1, \quad (6.8)$$

где  $l_1$  - длина участка трубы АВ, м.

Потери давления в местных сопротивлениях определяются по формуле

$$\Delta p_{мс} = 9.81 \Delta h - 2Rl, \quad (6.9)$$

где  $\Delta h$  - показана манометра, мм вод.ст.;

R - удельные потери давления, определенные при данном ренине в результате испытания прямолинейного участка АВ, Па/м;

$l$  - длина трубопровода между точками замера, м (без длины местного сопротивления).

Расход воды определяется с помощью мерного бачка 8, объем которого известен:  $V = 0,003 \text{ м}^3$ . Обвязка мерного бачка трубопроводами выполнена так, что при открытом проходном кране 11 в баке вода не накапливается, он без воды.

При измерении расхода воды закрывается кран 11 и одновременно включается секундомер.

По времени наполнения мерного бачка можно определить часовой расход воды  $G$  в трубопроводах по формуле

$$G = 3600 (V_{\text{б}} \rho / \tau), \quad (6.10)$$

где  $\tau$ - время наполнения бачка, с;

$\rho$ - плотность воды, кг/м.

Наполнение мерного бачка определяется началом перелива через перегородку, установленную в этом бачке.

Коэффициент местного сопротивления определяется по формуле (6.6), а скорость движения воды - по формуле (6.4).

Результаты измерений записываются в таблицу 6.1 экспериментальных данных.

Таблица 6.1

Экспериментальные и расчетные данные

Номер режима	Показание водовоздушного манометра, мм вод.ст.				Длина участка, м				$\tau$ , с	$G$ , кг/ч	$v$ , м/с	$R$ , Па/м	$\xi_1$	$\xi_2$	$\xi_3$
	$h_1$	$h_2$	$h_3$	$h_4$	$l_1$	$l_2$	$l_3$	$l_4$							

Замеры параметров следует производить при различных расходах воды.

#### 4. ЗАДАНИЕ НА РАБОТУ

Во время работы необходимо выполнить экспериментальное исследование зависимости потерь давлений на трение и в местных сопротивлениях от расхода или скорости движения воды, обработать опытные данные и построить необходимые графики.

## 5. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Исследование зависимости потерь давления на трение и в местных сопротивлениях от расхода или скорости движения воды осуществляется при четырех режимах работы установки.

Исследование на каждом режиме осуществляется бригадой студентов из трех человек: один студент снимет показания манометра, подключенного к местному сопротивлению, два студента измеряют расходы воды, кроме того, один из них по мере снятия показаний вентилем 9 изменяет расход воды в трубопроводах.

В конце лабораторной работы студенты обмениваются результатами и строят необходимые графики.

Лабораторная работа проводится в следующем порядке:

1. Проверить ветвь трубопроводов, обратив внимание на исправленность воздушных манометров, и удостовериться в том, что все испытываемые краны открыты.

2. Открыть вентиль 12 на холодном водопроводе и наполнить водой напорный бак.

3. Открыть вентиль 9 полностью и установить такой режим работы установки, чтобы при максимальном расходе воды через испытываемые элементы по переливной трубе 3 вытекало некоторое количество воды (желательно минимальное) и уровень воды в напорном баке был постоянным.

4. Отключить все местные сопротивления и снять показания манометра, подключенного к участку АВ, затем открыть вентиль и снять показания второго манометра.

5. Закрыть вентиль 9 и открыть пробковый кран, снять показания третьего манометра.

6. Закрывать пробковый кран, открыть кран двойной регулировки и снять показания четвертого манометра.

7. Измерить расход воды.

В такой последовательности проводятся последующие испытания. При этом каждый раз расход воды в системе уменьшается.

По окончании опытов желательна проверка манометров путем полного закрытия вентиля 9. При этом каждый воздушный манометр не должен показывать разности давлений.

2

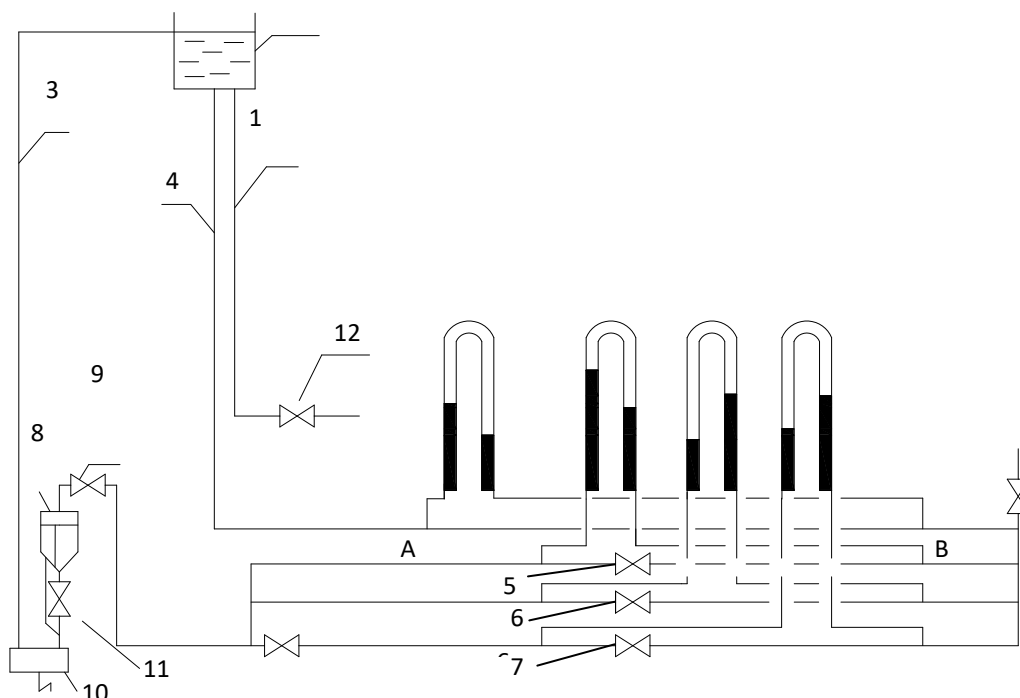


Рис.6.1. Схема опытной установки

## 6. УКАЗАНИЯ ПО ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЕТА

Отчет по лабораторной работе должен включать следующие разделы:

1. Цель работы
2. Схема опытной установки
3. Обработка результатов измерений по своему режиму.

4. Таблица экспериментальных и расчетных данных по всем режимам работы установки

5. Графики зависимостей  $R=f(G)$ ,  $\xi=f(G)$ , сравнение полученных значений со справочными данными.

## 7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Как определяются потери давления на трение?

2. Как определяются потери давления в местных сопротивлениях и от чего они зависят?

3. Что характеризует коэффициент местного сопротивления?

4. От чего зависят удельные потери давления на трение?

5. От чего зависит коэффициент трения?

6. Как работает лабораторная установка?

## 8. ЛИТЕРАТУРА

1. Сканава А.Н., Махов Л.М. Отопление/А.Н.Сканава, Л.М.Махов. – М. : Издательство АСВ, 2002. – 576 с.:ил. – Библиогр. в конце кн.-ISBN 5-93093-161-5 : 192.00.

2. Соснин Ю.П., Бухаркин Е.Н., Орлов К.С., Самусь О.Р. Инженерные сети и оборудование зданий и сооружений: Учебник/ Е.Н.Бухаркин, К.С. Орлов, О.Р.Самусь и др.; Под ред.Ю.П.Соснина.-3-е изд., испр.-М.:Выш.шк., 2009.- 415 с.:ил.- Библиогр. в конце кн.- ISBN 978-5-06-006141-3 : 927.00.

## Литература.

1. СП 131.13330.2012 «Строительная климатология». Актуализированная редакция СНиП 23-01-99\*.
2. СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий». Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003.
3. СП 23-101-2000 «Проектирование тепловой защиты зданий» / Госстрой России. – М.: 2000.
4. СП 60.13330.2012 «Отопление, вентиляция и кондиционирование». Актуализированная редакция СНиП 41-01-2003.
5. СНиП 31-01-2003 Жилые здания/Госстройроссии. – М.: ЦИТП Госстроя России, 2002. – 16 с.
6. СП 118.13330.2012 «Общественные здания и сооружения». Актуализированная редакция СНиП 31-06-2009.
7. СП 54.13330.2011 Здания жилые многоквартирные. Актуализированная редакция СНиП 31-01-2003.
8. ГОСТ 30494-96. Международный стандарт. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях. М.НТКС, Москва, 1999.
9. ГОСТ 21.205-93 Система проектной документации для строительства. Условные обозначения элементов санитарно-технических систем Постановление Госстроя СССР от 05.04.93 N 18-29 ГОСТ от 05.04.93 N 21.205-93
10. ГОСТ 21.206-93 Система проектной документации для строительства. Условные обозначения трубопроводов Постановление Госстроя России от 05.04.94 N 18-30 ГОСТ от 10.11.93 N 21.206-93.
11. ГОСТ 21.602-79 Система проектной документации для строительства. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Рабочие чертежи (С Изменением № 1, утвержденным постановлением Государственного комитета по делам строительства от 12.09.80 № 143) Постановление Госстроя СССР от 31.07.79 N 136 ГОСТ от 31.07.79 N 21.602-79
12. Сканава А.Н., Махов Л.М. Отопление. – М. : Издательство АСВ, 2005. – 576 с.:ил.

13. Справочник проектировщика: Внутренние санитарно-технические устройства. – в 3-х частях/ Под ред. И.Г. Старовойтова. Ч.1. Отопление – М.: Стройиздат, 1990 – 343 с.
14. Справочник по теплоснабжению и вентиляции/ Р.В.Щекин, С.М.Коневский и др.– 4-е изд., перераб. и доп. Книга 1. – Киев: Будивельник, 1976. – 416 с.
15. Каталоги насосов фирмы Grundfos.
16. Соснин Ю.П., Бухаркин Е.Н., Орлов К.С., Самусь О.Р. Инженерные сети и оборудование зданий и сооружений: Учебник/ Е.Н.Бухаркин, К.С. Орлов, О.Р.Самусь и др.;Под ред.Ю.П.Соснина.-3-е изд., испр.-М.:Высш.шк., 2009.- 415 с.:ил.- Библиогр. в конце кн.- ISBN 978-5-06-006141-3 : 927.00.
17. Хрусталева Б.М. Теплогазоснабжение и вентиляция. Курсовое и дипломное проектирование./Под ред.Б.М.Хрусталева-М.:Изд-во АСВ, 2008.-784с., 183 ил. .- Библиогр. в конце кн.- ISBN978-5-93093-394-9 : 627.00.
18. Сканава А.Н. , Махов Л.М. Отопление/А.Н.Сканава, Л.М.Махов. – М. : Издательство АСВ, 2002. – 576 с.:ил. .- Библиогр. в конце кн.-ISBN 5-93093-161-5 : 192.00.
19. Каменев П.Н., Тертичник Е.И.,Вентиляция./ П.Н.Каменев, Е.И. Тертичник.- М. : Издательство АСВ,2008.- 624 с.:ил. - Библиогр. в конце кн.-ISBN 978-5-93093-436-6 : 450.00.
20. Еремкин А.И., Королева Т.И.Тепловой режим зданий/А.И.Еремкин, Т.И.Королева. - М. : Издательство АСВ,2000.-368с. - Библиогр. в конце кн.- ISBN 5-93093-040-6 : 92.00.

