

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова»

Строительный факультет

Кафедра теплотехники и гидравлики

УТВЕРЖДЕН  
на заседании кафедры  
«29» августа 2017 г.,  
протокол № 1  
Заведующий кафедрой  
В.С. Васильев

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ**

**«Б1.Б.21 ТЕПЛОГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ВЕНТИЛЯЦИЯ»**

Направление подготовки (специальность) 08.03.01 Строительство

Квалификация (степень) выпускника – бакалавр

Методические материалы разработаны на основе рабочей программы дисциплины, предусмотренной образовательной программой высшего образования (ОП ВО) по направлению подготовки 08.03.01 «Строительство» направленность (профиль) «Теплогазоснабжение и вентиляция».

*СОСТАВИТЕЛЬ:*

Старший преподаватель  
кафедры теплотехники и гидравлики \_\_\_\_\_ Т.В. Щенникова  
Старший преподаватель  
кафедры теплотехники и гидравлики \_\_\_\_\_ Н.Г. Русинова

*СОГЛАСОВАНО:*

Методическая комиссия строительного факультета «30» августа 2017 г., протокол №1.

Декан факультета \_\_\_\_\_ А.Н. Плотников

## I. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения ОП ВО

В процессе изучения дисциплины обучающиеся формируют следующие компетенции и демонстрируют соответствующие им результаты обучения:

Компетенция по ФГОС	Ожидаемые результаты обучения
ОПК-8 - уметь использовать нормативные правовые документы в профессиональной деятельности	<b>Знать</b> - нормативные документы по проектированию систем теплогазоснабжения и вентиляции
	<b>Уметь</b> - применять нормативные документы для расчета и проектирования
	<b>Владеть</b> - методикой расчета с использованием нормативных документов
ПК-4 способность участвовать в проектировании и изыскании объектов профессиональной деятельности	<b>Знать</b> - законы и основные физико-математические модели переноса теплоты и массы применительно к теплотехническим и теплотехнологическим установкам и системам; -методы создания и анализа теоретических моделей, позволяющих прогнозировать свойства и поведение объектов деятельности;
	<b>Уметь</b> - выполнять самостоятельно все расчеты, связанные с проектированием систем ТГВ; - принимать принципиальные и конструктивные решения систем ТГВ, разрабатывать узлы и детали систем; - самостоятельно углублять свои знания и применять на практике достижения науки и техники в области систем ТГВ
	<b>Владеть</b> - первичными навыками и основными методами решения математических задач; первичными навыками практической работы с проектно-сметной документацией, соответствующей профилю данной дисциплины.
ПК-8 владеть технологией, методами доводки и освоения технологических процессов строительного производства, эксплуатации, обслуживания зданий, сооружений, инженерных систем, производства строительных материалов, изделий и конструкций, машин и оборудования	<b>Знать</b> - знать техническую эксплуатацию зданий и сооружений в области систем ТГВ
	<b>Уметь</b> - осуществлять организацию и планирование технической эксплуатации зданий и сооружений, объектов жилищно-коммунального хозяйства
	<b>Владеть</b> - методами технической эксплуатации систем ТГВ с целью обеспечения надежности, экономичности и безопасности их функционирования

## II. Методические указания обучающимся по выполнению самостоятельной работы

Самостоятельная работа определяется спецификой дисциплины и методикой ее преподавания, временем, предусмотренным учебным планом, а также степенью обучения, на которой изучается дисциплина.

Для самостоятельной подготовки можно рекомендовать следующие источники: конспекты лекций и лабораторных занятий, учебную литературу соответствующего профиля.

Преподаватель в начале чтения курса информирует обучающихся о формах, видах и содержании самостоятельной работы, разъясняет требования, предъявляемые к

результатам самостоятельной работы, а также формы и методы контроля и критерии оценки.

### **II.1. Методические рекомендации по подготовке к экзамену**

Экзамен преследует цель оценить работу студента за определенный курс: полученные теоретические знания, их прочность, развитие логического и творческого мышления, приобретение навыков самостоятельной работы, умения анализировать и синтезировать полученные знания и применять на практике решение практических задач.

Экзамен проводится в письменной форме по билетам, утвержденным заведующим кафедрой. Экзаменационный билет включает в себя два вопроса. Формулировка вопросов совпадает с формулировкой перечня вопросов, доведенного до сведения студентов за один месяц до экзаменационной сессии. В процессе подготовки к экзамену организована предэкзаменационная консультация для всех учебных групп. Результат экзамена выражается оценкой «отлично», «хорошо», «удовлетворительно».

С целью уточнения оценки экзаменатор может задать не более одного-двух дополнительных вопросов, не выходящих за рамки требований рабочей программы. Под дополнительным вопросом подразумевается вопрос, не связанный с тематикой вопросов билета. Дополнительный вопрос, также как и основные вопросы билета, требует развернутого ответа. Кроме того, преподаватель может задать ряд уточняющих и наводящих вопросов, связанных с тематикой основных вопросов билета. Число уточняющих и наводящих вопросов не ограничено.

### **II.2. Методические рекомендации по выполнению расчетно-графической работы**

#### **Критерии оценки расчетно-графической работы:**

«Зачтено» - работа выполнена в соответствии с утвержденным планом, полностью раскрыто содержание каждого вопроса, студентом сформулированы собственные аргументированные выводы по теме работы. Оформление работы соответствует предъявляемым требованиям. При защите работы обучающийся свободно владел материалом и отвечал на вопросы.

«Не зачтено» - если работа выполнена не в соответствии с утвержденным планом, не раскрыто содержание каждого вопроса, обучающимся не сделаны выводы по теме работы, имеются грубые недостатки в оформлении работы, при защите работы обучающийся не владел материалом, не отвечал на вопросы, то работа направляется на дальнейшую доработку.

При определении уровня достижений студентов при защите расчетно-графической работы необходимо обращать особое внимание на:

- усвоение программного материала;
- умение излагать программный материал доступным научным языком;
- умение связывать теорию с практикой;
- умение выполнять чертежи тепловой сети в соответствии с требованиями ГОСТ и ЕСКД;
- владение навыками поиска, систематизации необходимых источников литературы по изучаемой проблеме;
- умение обосновывать принятые решения.

**Варианты заданий для выполнения расчетно-графической работы**  
(контролируемая компетенция - ОПК-8, ПК-4, ПК-8)

Порядковый номер по журналу	Фамилия И.О.	Регион строительства	Вариант конструкции наружной стены	Вариант конструкции пола	Вариант конструкции покрытия	Вариант для выполнения части 2
1		Смоленск	5	2	1	33
2		Нижний Новгород	4	1	2	34
3		Саратов	6	2	1	35
4		Вологда	2	1	2	36
5		Казань	7	2	1	37
6		Ижевск	3	1	2	38
7		Томск	1	2	1	39
8		Москва	2	1	2	40
9		Астрахань	3	2	1	41
10		Чебоксары	7	1	2	42
11		Архангельск	6	2	1	43
12		Великий Новгород	5	1	2	44
13		Челябинск	4	2	1	45
14		Липецк	1	1	2	46
15		Барнаул	3	2	1	47
16		Екатеринбург	5	1	2	48
17		Салават	7	2	1	49
18		Астана	6	1	2	50
19		Кострома	4	2	1	1
20		Омск	3	1	2	2
21		Хабаровск	1	2	1	3
22		Уфа	5	1	2	4
23		Самара	7	2	1	5
24		Волгоград	3	1	2	6
25		Киев	6	2	1	7
26		Санкт-Петербург	4	1	2	8
27		Оренбург	7	2	1	9
28		Петропавловск-Камчатский	2	1	2	10
29		Тюмень	3	2	1	11
30		Ростов-на Дону	1	1	2	12

**Конструкция пола**

Вариант 1: пустотная плита, утеплитель-керамзит

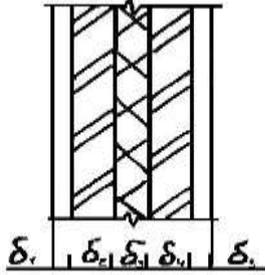
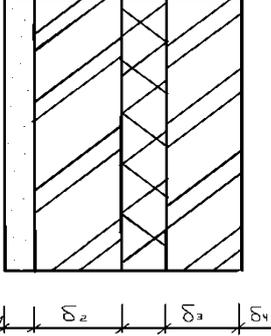
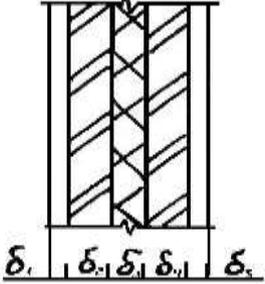
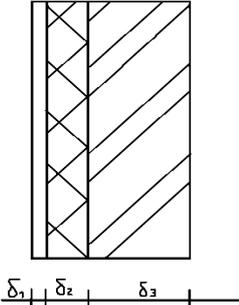
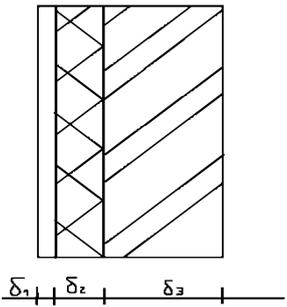
Вариант 2: ж/б плита, утеплитель- пол на лагах

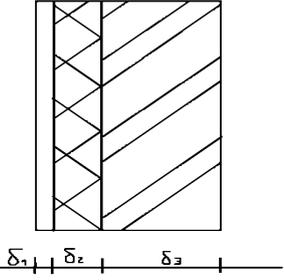
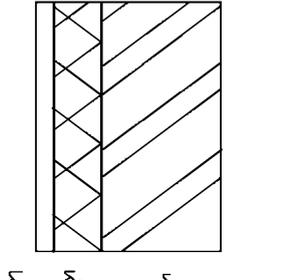
**Конструкция покрытия**

Вариант 1: ж/б плита, утеплитель-керамзит

Вариант 2: пустотная плита, утеплитель- пенополистирол

## Конструкция наружной стены.

№	Эскиз	Название слоя	Толщина слоя
1		Цементно-песчаный раствор Кирпичная кладка пенополиуретан $\gamma=75\text{кг/м}^3$ кирпичная кладка	$\delta_1=10\text{мм}$ $\delta_2=250\text{мм}$ $\delta_3=x$ $\delta_4=120\text{мм}$
2		Цементно-песчаный раствор Кирпичная кладка пенополиуретан $\gamma=75\text{кг/м}^3$ кирпичная кладка	$\delta_1=10\text{мм}$ $\delta_2=250\text{мм}$ $\delta_3=x$ $\delta_4=120\text{мм}$
3		Цементно-песчаный раствор вермикулитобетон $\gamma=400\text{кг/м}^3$ пенопласт $\gamma=125\text{кг/м}^3$ вермикулитобетон $\gamma=400\text{кг/м}^3$ цементно-песчаный раствор	$\delta_1=10\text{мм}$ $\delta_2=100\text{мм}$ $\delta_3=x$ $\delta_4=100\text{мм}$ $\delta_5=10\text{мм}$
4		Цементно-песчаный раствор Утеплитель Roswool (cavity wall) Пенобетон $\gamma=600\text{ кг/м}^3$	$\delta_1=10\text{мм}$ $\delta_2= x\text{ мм}$ $\delta_3=200\text{ мм}$
5		Кирпичная кладка Утеплитель пенополистирол $\gamma=40\text{кг/м}^3$ Тяжелый бетон	$\delta_1=120\text{ мм}$ $\delta_2= x\text{ мм}$ $\delta_3=120\text{ мм}$

6		<p>Цементно-песчаный раствор</p> <p>Утеплитель пенополистирол <math>\gamma=40\text{кг/м}^3</math></p> <p>Тяжелый бетон</p>	<p><math>\delta_1=10\text{ мм}</math></p> <p><math>\delta_2= x\text{ мм}</math></p> <p><math>\delta_3=120\text{ мм}</math></p>
7		<p>Цементно-песчаный раствор</p> <p>Фасадная плита Roswool</p> <p>Тяжелый бетон</p>	<p><math>\delta_1=10\text{ мм}</math></p> <p><math>\delta_2= x\text{ мм}</math></p> <p><math>\delta_3=120\text{ мм}</math></p>

Масштаб 1: 200

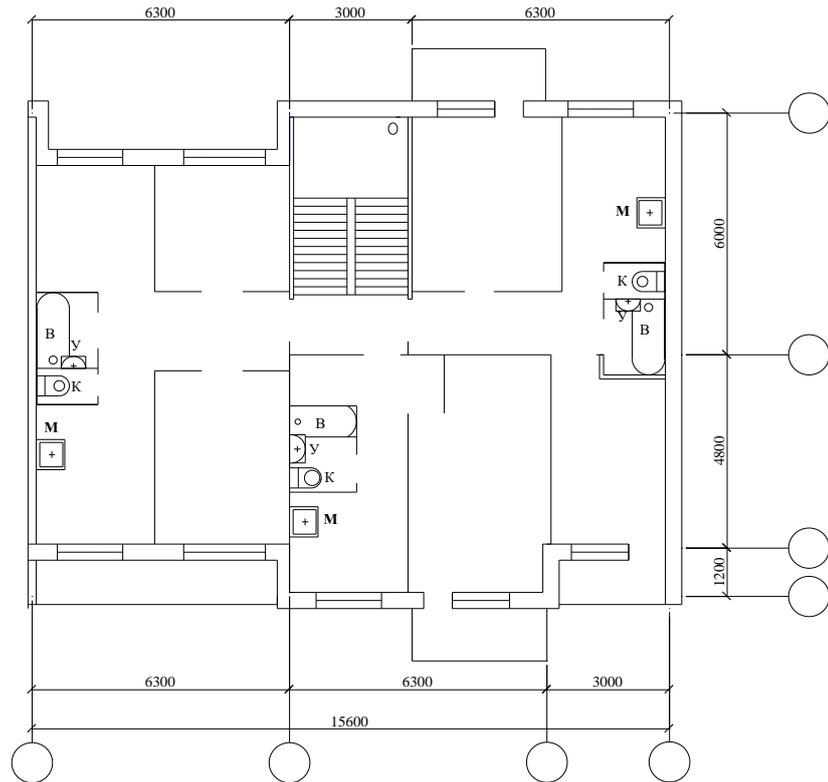


рис. 1 План типового этажа.

Вариант 1

Масштаб 1: 200

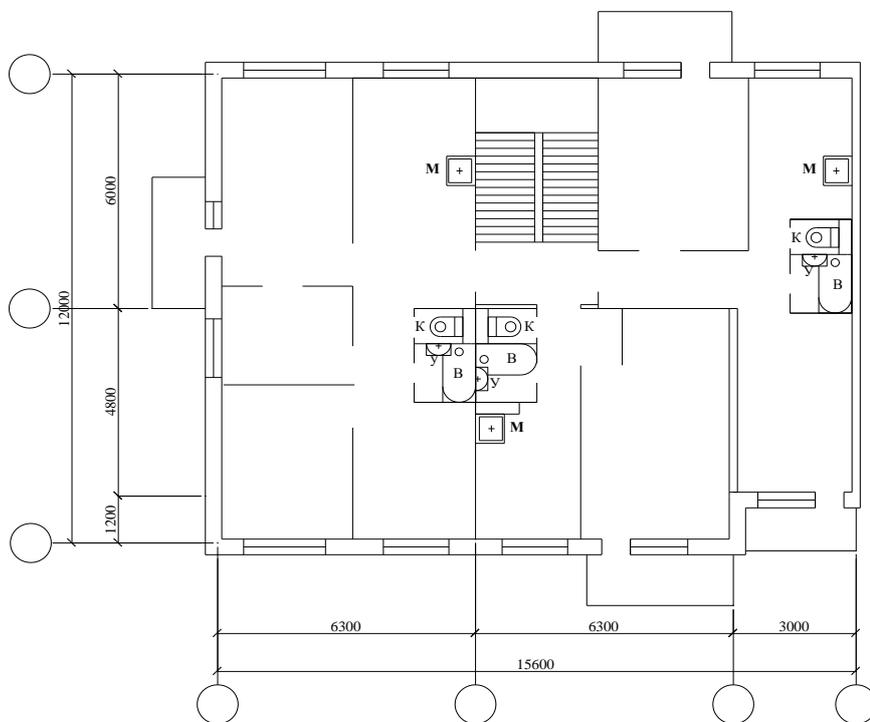


рис. 2 План типового этажа.

Вариант 2

Масштаб 1: 200

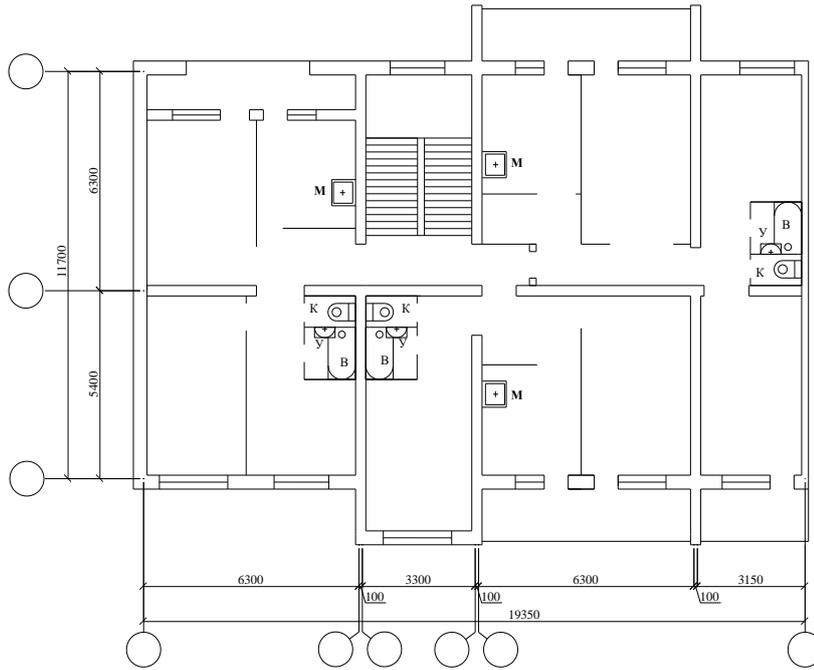


рис. 3 План типового этажа.  
Вариант 3

Масштаб 1: 200

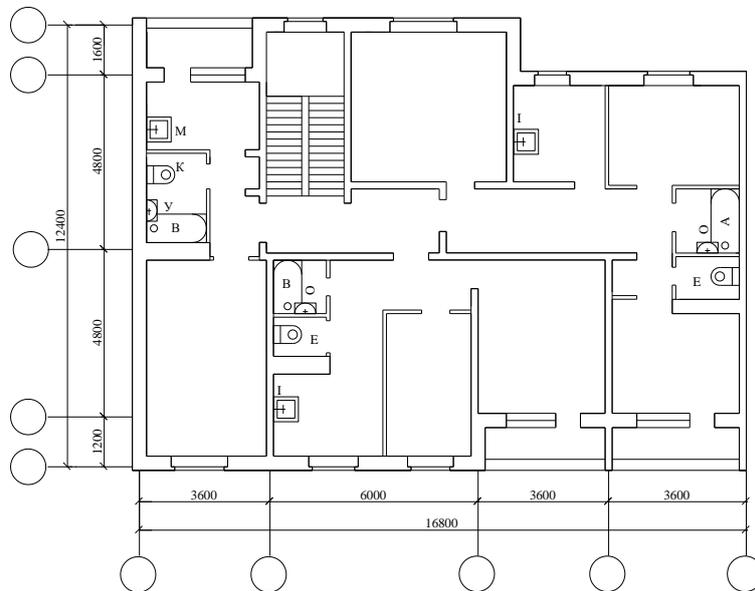


рис. 4 План типового этажа.  
Вариант 4

Масштаб 1: 200

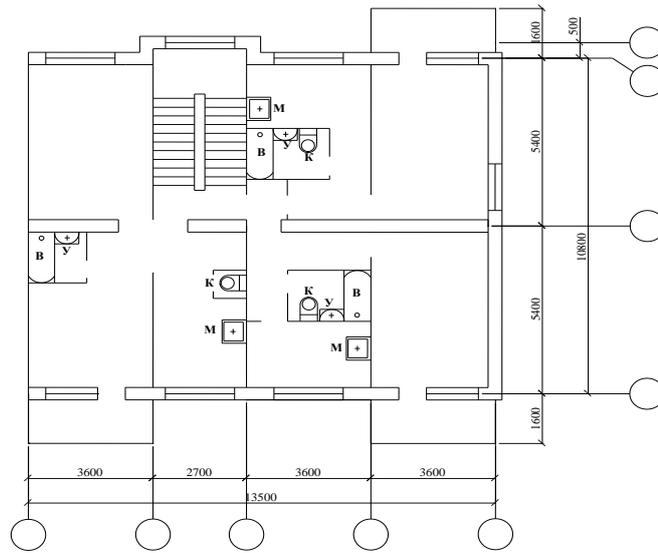


рис. 5 План типового этажа.  
Вариант 5

Масштаб 1 :200

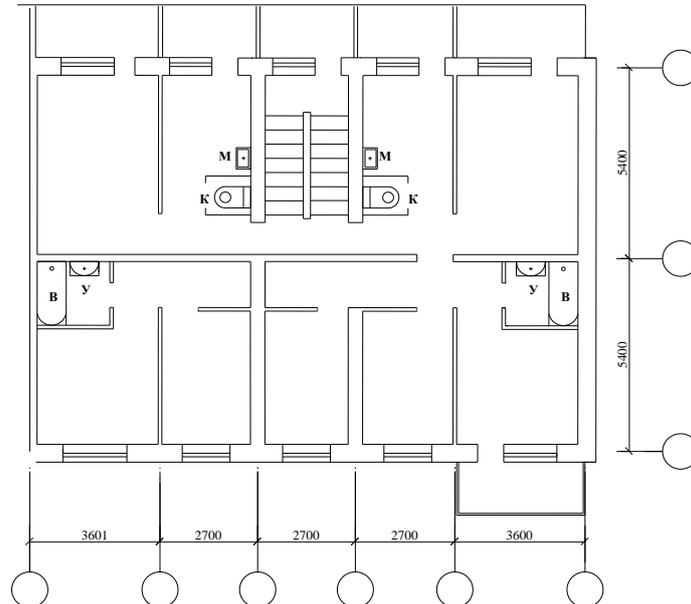


рис. 6 План типового этажа.  
Вариант 6

Масштаб 1 : 200

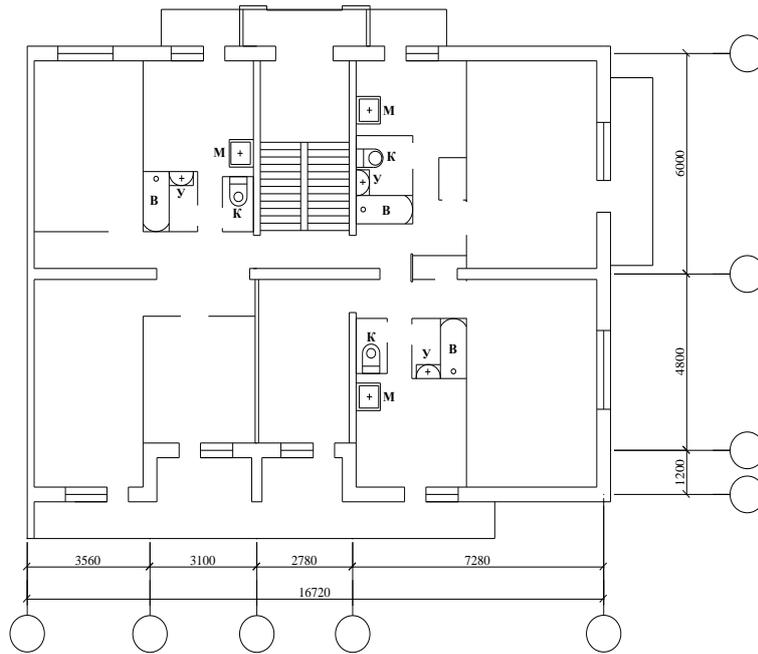


рис. 7 План типового этажа.  
Вариант 7

Масштаб 1 : 200

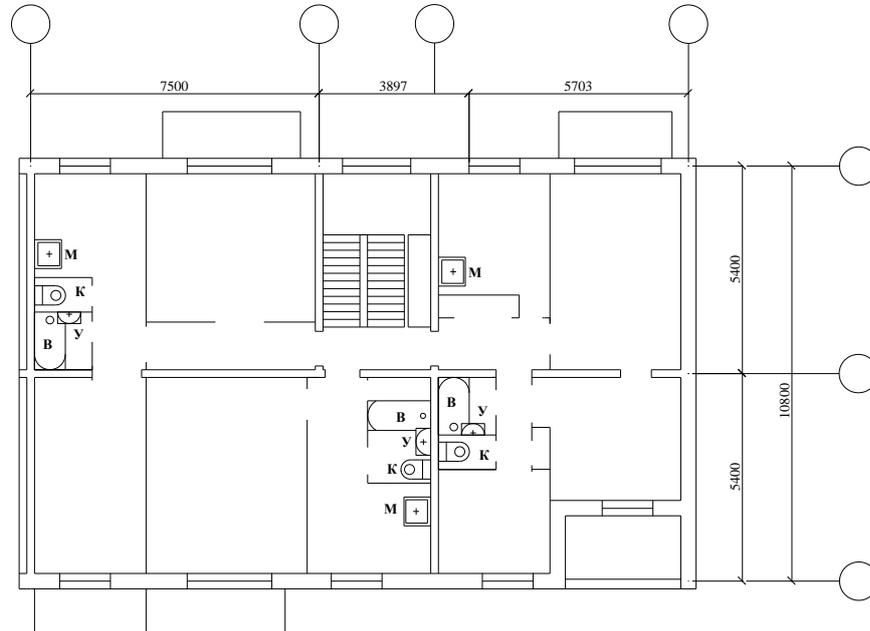


рис. 8 План типового этажа.  
Вариант 8

Масштаб 1 : 200

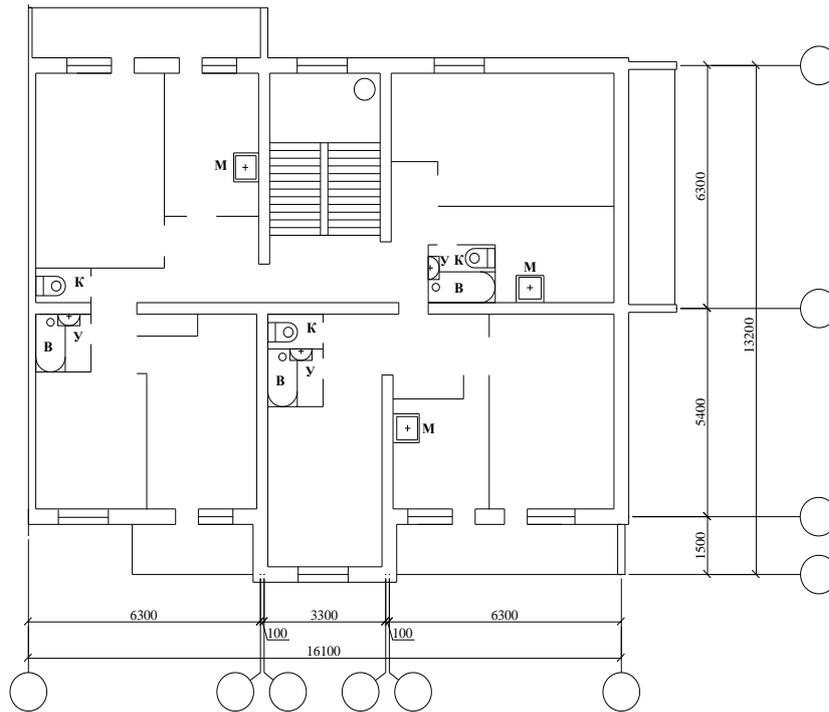


рис. 9 План типового этажа.  
Вариант 9

Масштаб 1 : 200

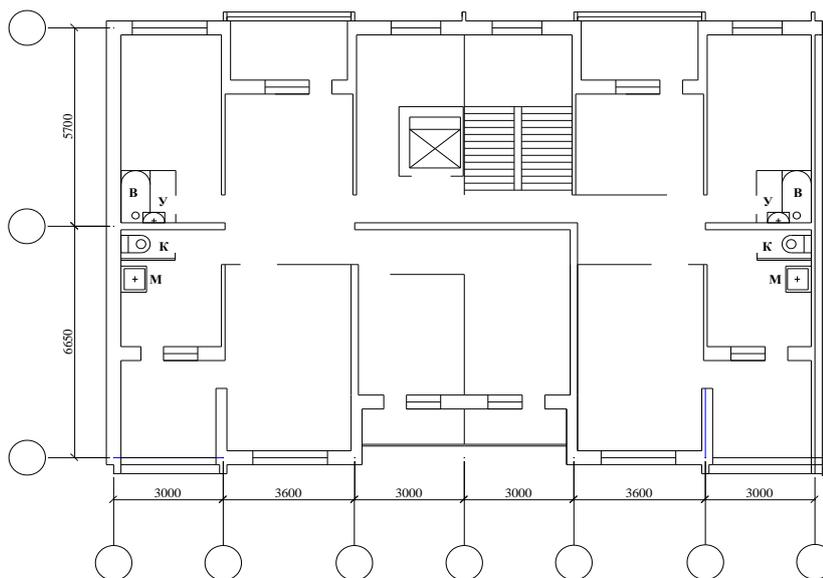


рис. 10 План типового этажа.  
Вариант 10

Методические указания выполнены на основании СП 50 13330.2012. «Тепловая защита зданий». СП 131 13330.2012 Строительная климатология,

Вариант задания ограждающих конструкций и района строительства принимается по приложению 1 в соответствии с последней цифрой зачетной книжки.

Планировку принять по приложению 2.

Этажность жилого дома – 4, высота этажа - 3,0 м, высота подвала – 2,5 м.

Содержание пояснительной записки принять в соответствии с содержанием методических указаний.

Содержание графической части:

Лист формата А1 с изображением плана типового этажа, плана техподполья, аксонометрической схемы расчетного циркуляционного кольца, графики распределения температур в ограждающих конструкциях, графики распределения максимальной  $E$  и действительное  $e$  упругости водяного пара.

## 1. Теплотехнический расчет ограждающих конструкций

### 1.1 Расчет требуемого сопротивления теплопередаче

Определяется требуемое сопротивление теплопередаче ограждения  $R_0^{тн}$ , отвечающее условиям энергосбережения, по табл. 3 [1], исходя из числа градусо – суток отопительного периода ГСОП.

Градусо – сутки отопительного периода определяются по формуле:

$$ГСОП = (t_e - t_{om.пер.}) \cdot Z_{om.пер.}, \quad (1)$$

где  $t_{om.пер.}$ ,  $Z_{om.пер.}$  – средняя температура, °С и продолжительность, сут, периода со среднесуточной температурой окружающего воздуха ниже или равной +8°С по табл. 3[6].

### 1.2 Конструктивная схема

С учетом задания принимается конструкция наружных ограждений, и в пояснительной записке вычерчивается эскиз с нанесением известных размеров слоев и указанием значений теплотехнических характеристик материала каждого слоя конструкции ( $\gamma_0, \lambda, S$ ). Теплотехнические характеристики материалов принимаются по СП 50 13330.2012. «Тепловая защита зданий» [7].

$\delta$  [м]- толщина отдельного слоя;

$\lambda \left[ \frac{Вт}{м \cdot ^\circ C} \right]$  - коэффициент теплопроводности отдельного слоя, принимается по

приложению 3 [7] по графе А или Б. Показателем графы служит карта зон влажности приложение 1 [7] и приложение 2 [7]

### 1.3 Расчет толщины утеплителя

$$\text{Исходя из условия } R_0^\phi \geq R_0^{тн} \quad (2)$$

$$R_0^\phi \geq R_0^{эп} \quad (3)$$

определяется толщина искомого слоя, где

$R_0^\phi = R_e + R_k + R_n$  – фактическое сопротивление теплопередаче ограждения, ( $м^2 \cdot ^\circ C$ )/Вт;

$R_e = \frac{1}{\alpha_e}$  – сопротивление теплопередаче внутренней поверхности ограждения

( $м^2 \cdot ^\circ C$ )/Вт, табл. 4 [1] ;

$R_n = \frac{1}{\alpha_n}$  – сопротивление теплопередаче наружной поверхности ограждения,

( $м^2 \cdot ^\circ C$ )/Вт, табл. 6 [1] ;

$R_n$  – термическое сопротивление ограждающей конструкции,  $(\text{м}^2 \cdot \text{°C}) / \text{Вт}$ .

Если ограждающая конструкция однородная (однослойная), термическое сопротивление определяется по формуле:

$$R_k = \frac{\delta}{\lambda}, \quad (4)$$

где  $\delta$  – толщина слоя, м

$\lambda$  – коэффициент теплопроводности материала слоя,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$

Если ограждающая конструкция состоит из последовательно расположенных однородных слоев, то термическое сопротивление определяется по формуле:

$$R_k = R_1 + R_2 + \dots + R_n \quad (5)$$

где  $R_1 + R_2 + \dots + R_n$  – термические сопротивления отдельных слоев ограждающей конструкции, определяемые по формуле (4).

Воздушная прослойка учитывается как отдельный слой с термическим сопротивлением  $R_{с.н.}$ , принимаемое согласно прил. 4 СНиП «Строительная теплотехника» [7].

Если ограждающая конструкция неоднородна (колодцевая кладка с утеплителем), то приведенное термическое сопротивление  $R_k^{np}, (\text{м}^2 \cdot \text{°C}) / \text{Вт}$ , определяется следующим образом:

**А.** Если ограждающая конструкция замкнута плоскостями, параллельными направлению теплового потока, то она условно разрезается на участки с площадями поверхностей  $F_1, F_2, \dots, F_n$ , из которых одни участки могут быть однородными (из одного материала), а другие – неоднородными (из слоев различных материалов), вычисляются термические сопротивления:

$$\text{– однородных участков: } R_k = \frac{\delta}{\lambda} \quad (6)$$

$$\text{– неоднородных участков: } R_k = \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} + R_{с.н.} \quad (7)$$

Термическое сопротивление ограждающей конструкции в направлении, параллельном тепловому потоку, определяется по формуле:

$$R_{\square} = \frac{F_1 + F_2 + \dots + F_n}{F_1/R_1 + F_2/R_2 + \dots + F_n/R_n} \quad (8)$$

**Б.** Если ограждающая конструкция замкнута плоскостями, перпендикулярными к направлению теплового потока, то она условно разрезается на слои, одни из которых могут быть однородными (из одного материала), а другие – неоднородными (из слоев различных материалов).

Термическое сопротивление для однородных слоев определяется по формуле (6), неоднородных – по формуле (7).

Термическое сопротивление ограждающей конструкции в направлении, перпендикулярном к тепловому потоку, определяется по формуле:

$$R_{\perp} = R_1 + R_2 + \dots + R_n \quad (9)$$

Приведенное термическое сопротивление неоднородной ограждающей конструкции определяется по формуле:

$$R_k^{np} = \frac{R_{\square} + 2 \cdot R_{\perp}}{3} \quad (10)$$

Если величина  $R_{\square}$  превышает  $R_{\perp}$  более, чем на 25%, или ограждающая конструкция не является плоской (имеет выступы на поверхности), то приведенное термическое сопротивление  $R_k^{np}$  такой конструкции следует определять на основании расчета температурного поля согласно п.2.8. СНиП «Строительная теплотехника» [7].

Толщина искомого слоя принимается с учетом унифицированной кратности. Приведенное сопротивление теплопередаче  $R_c^{np}$  заполнений световых проемов (окон, балконных дверей и фонарей) принимается по Прил.6\* СНиП «Строительная теплотехника» [7], исходя их условия:

$$R_c^{np} \geq R_0^{mp} \quad (11)$$

$$R_c^{np} \geq R_0^{эп} \quad (12)$$

Степень массивности (тепловая инерция)  $D$  ограждающей конструкции определяется по формуле:

$$D = R_1 \cdot S_1 + R_2 \cdot S_2 + \dots + R_n \cdot S_n \quad (13)$$

где  $S_1, S_2, \dots, S_n$  – расчетные коэффициенты теплоусвоения материала отдельных слоев ограждающей конструкции,  $Bm/(m^2 \cdot ^\circ C)$ , принимаемые по Прил. 3\* СНиП «Строительная теплотехника» [7].

Расчетный коэффициент теплоусвоения воздушных прослоек принимается равным нулю.

#### 1.4 Расчет коэффициента теплопередачи ограждающих конструкций

Определяются коэффициенты теплопередачи наружной стены,  $Bm/(m^2 \cdot ^\circ C)$ , чердачного (бесчердачного) перекрытия над техподпольем:

$$k = \frac{1}{R_0^\phi} \quad (14)$$

где  $R_0^\phi$  – фактическое сопротивление теплопередаче,  $(m^2 \cdot ^\circ C)/Bm$ .

## 2. Расчет сопротивления паропроонианию ограждающих конструкций

### 2.1 Значения температуры на поверхностях и в характерных сечениях ограждающей конструкции

Определяются значения температуры на поверхностях и в характерных сечениях ограждающей конструкции :

$$\tau_x = t_e - \frac{R_x}{R_0} \cdot (t_e - t_n) \quad (15)$$

где  $\tau_x$  – температура на поверхностях и в сечении стены,  $^\circ C$ ;

$R_x$  – сопротивление теплопередаче от воздуха помещения до характерного сечения,  $(m^2 \cdot ^\circ C)/Bm$ ;

$t_n$  – температура наружного воздуха,  $^\circ C$ ;

$R_0$  – фактическое сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции,  $(m^2 \cdot ^\circ C)/Bm$ .

По полученным значениям температур строится кривая изменения температуры в сечении ограждения. Чертеж выполняется в масштабе 1:10.

Определяется температура на внутренней поверхности наружного угла:

$$\tau_y = t_e - (0,18 - 0,042 \cdot R_0) \cdot (t_e - t_n) \quad (16)$$

где  $\tau_e$  – температура внутренней поверхности ограждения в отдалении от угла,  $^\circ C$ , определяемая по формуле (15).

### 2.2 Проверка ограждения на отсутствие конденсации водяных паров

Производится проверка ограждения на отсутствие конденсации водяных паров, находящихся в воздухе помещения.

Если температуры внутренней поверхности  $\tau_e$  и внутренней поверхности угла  $\tau_y$  выше температуры точки росы, то конденсации не произойдет. В противном случае нужно увеличивать толщину наружной стены.

Температуру точки росы можно определить по  $I-d$ -диаграмме и с помощью данных табл.\* в соответствии с парциальным давлением ее водяных паров, находящихся в воздухе помещения, величина которого определяется по формуле:

$$e_e = E_e \cdot \varphi_e, \quad (17)$$

где  $e_e$  – парциальное давление водяного пара внутреннего воздуха, Па;

$E_e$  – парциальное давление водяного пара в воздухе при полном (100% - ном) насыщении по заданной температуре воздуха, Па, определяется по приложению С [СП 23-101-2004];  
 $\varphi_e$  – относительная влажность внутреннего воздуха в долях от единицы;  $\varphi_e = 55\%$  или  $\varphi_e = 0,55$ .

Зная распределение температур в толще ограждения, определяются значения упругости водяного пара  $E$ , Па, при полном насыщении. Упругость водяного пара при полном насыщении есть функция от температуры  $E=f(t)$  и значение ее определяется по таблице.

### 2.3 Расчет реальной упругости водяного пара

Рассчитывается значение реальной упругости водяного пара  $e$ , Па, на границах слоев. В произвольном сечении ограждения упругость  $e_x$  может быть подсчитана по формуле:

$$e_x = e_e - \frac{R_{n.e.x.}}{R_n} \cdot (e_e - e_n) \quad (18)$$

где  $R_{n.e.x.}$  – сопротивление паропроницанию от воздуха помещения до сечения  $X$ , в котором определяется упругость  $e_x$ ;

$e_e, e_n$  – упругости водяного пара внутреннего и наружного воздуха, определяемые  $e_e = E_e \cdot \varphi_e, e_n = E_n \cdot \varphi_n$ ;

$$R_n = R_{ne} + \sum \frac{\delta_i}{\mu_i} + R_{nn} \quad (19)$$

где  $R_{ne} = 0,027 \frac{m^2 \cdot ч \cdot Па}{мг}$  – сопротивление влагообмену на внутренней поверхности ограждения;

$R_{nn} = 0,005 \frac{m^2 \cdot ч \cdot Па}{мг}$  – сопротивление влагообмену на наружной поверхности ограждения;

$\delta_i, \mu_i$  – толщина, м, и коэффициент паропроницаемости,  $m^2 / (m \cdot ч \cdot Па)$ , отдельных слоев ограждения, принимают по СНиП «Строительная теплотехника» [7].

Сопротивление паропроницанию воздушных прослоек в ограждающих конструкциях принимается равным нулю независимо от расположения и толщины этих прослоек.

Если линии  $E$  и  $e$  на чертеже пересекаются, то в конструкции возможна конденсация водяного пара.

### 2.4 Расчет требуемого сопротивления паропроницанию ограждающей конструкции

Определяются требуемые сопротивления паропроницанию ограждающей конструкции,  $\frac{m^2 \cdot ч \cdot Па}{мг}$ .

а) из условия недопустимости накопления влаги в ограждающей конструкции за годовой период эксплуатации:

$$R_{n1}^{mp} = \frac{(e_e - E) \cdot R_{nn}}{E - e_n} \quad (20)$$

б) из условия ограничения влаги в ограждающей конструкции за период с отрицательными среднемесячными температурами наружного воздуха:

$$R_{n2}^{mp} = \frac{0,0024 \cdot z_0 \cdot (e_e - E_0)}{\gamma_w \cdot \delta_w \cdot \Delta W_{cp} + \eta} \quad (21)$$

где  $R_{n2}$  – сопротивление паропроницанию,  $(m^2 \cdot ч \cdot Па)/мг$ , части ограждающей конструкции, расположенной между наружной поверхностью и плоскостью возможной конденсации;

$e_e, e_n$  – уругости водяного пара внутреннего и наружного воздуха, Па;

$z_0$  – продолжительность, сут, периода влагонакопления, принимаемая равной периоду с отрицательными среднемесячными температурами наружного воздуха согласно [6];

$E_0$  – уругость водяного пара, Па, в плоскости возможной конденсации, определяемая при средней температуре наружного воздуха периода месяцев с отрицательными среднемесячными температурами;

$\gamma_w$  – плотность материала увлажняемого слоя,  $кг/м^3$ , принимаемая равной  $\gamma_0$ ;

$\delta_w$  – толщина увлажняемого слоя ограждающей конструкции, м, принимаемая равной 2/3 толщины однородной конструкции или толщине теплоизоляционного слоя многослойной ограждающей конструкции;

$\Delta W_{cp}$  – предельно допустимое приращение расчетного массового отношения влаги в материале увлажняемого слоя, %, за период влагонакопления  $z_0$ , принимаемое по табл. 14\* СНиП II – 3 – 79\*\* «Строительная теплотехника» [7];

$E$  – уругость водяного пара, Па, в плоскости возможной конденсации за годовой период эксплуатации, определяемая по формуле:

$$E = \frac{1}{12} \cdot (E_1 \cdot z_1 + E_2 \cdot z_2 + E_3 \cdot z_3) \quad (22)$$

где  $E_1, E_2, E_3$  – уругости водяного пара, Па, принимаемые по температуре в плоскости возможной конденсации, определяемой при средней температуре наружного воздуха соответственно зимнего, весеннее – осеннего и летнего периодов;

$z_1, z_2, z_3$  – продолжительность, мес., зимнего, весеннее – осеннего и летнего периодов, определяемая согласно [6] с учетом следующих условий: к зимнему периоду относятся месяцы со средними температурами наружного воздуха ниже  $-5^\circ C$ , к весеннее – осеннему периоду - с температурами от  $+5^\circ C$  до  $-5^\circ C$ , к летнему – с температурами выше  $+5^\circ C$ ;

$$\eta = \frac{0,0024 \cdot (E_0 - e_{n.0}) \cdot z_0}{R_{n.n.}} \quad (23)$$

$e_{n.0}$  – средняя уругость водяного пара наружного воздуха, Па, периода месяцев с отрицательными среднемесячными температурами, определяемая согласно [6].

Сопротивление паропроницанию  $R_n$ ,  $(m^2 \cdot ч \cdot Па)/мг$ , ограждающей конструкции (в пределах от внутренней поверхности до плоскости возможной конденсации) должно быть не менее наибольшего из требуемых сопротивлений паропроницанию, определяемых по формулам (20), (21).

## 2.5 Расчет требуемого сопротивления воздухопроницанию ограждающей конструкции

Определяется требуемое сопротивление воздухопроницанию ограждающей конструкции  $R_u^{mp}$ ,  $(m^2 \cdot ч \cdot Па)/кг$ :

$$R_u^{mp} = \frac{\Delta p}{G''} \quad (24)$$

где  $\Delta p$  – разность давлений воздуха на наружной и внутренней поверхностях ограждающих конструкций, Па, определяемая по формуле (25);

$G''$  – нормативная воздухопроницаемость ограждающих конструкций, кг/(м<sup>2</sup>·ч), принимаемая по табл. 12\* СНиП II – 3 – 79\*\* «Строительная теплотехника» [7];

Разность давлений воздуха на наружной и внутренней поверхностях ограждающих конструкций,  $\Delta p$ , Па, определяется:

$$\Delta p = 0,55 \cdot H \cdot (\gamma_n - \gamma_e) + 0,03 \cdot \gamma_n \cdot v^2 \quad (25)$$

где  $H$  – высота здания (от поверхности земли до верха карниза), м;

$\gamma_n, \gamma_e$  – удельный вес наружного и внутреннего воздуха, Н/м<sup>3</sup>, определяемый по формуле:

$$\gamma = \frac{3463}{273 + t} \quad (26)$$

$t$  – температура воздуха;

$v$  – максимальная из средних скоростей ветра по румбам за январь, повторяемость которых составляет 16% и более, принимаемая по [6];, для типовых проектов скорость ветра следует принимать равной 5 м/с.

Сопротивление воздухопроницанию ограждающей конструкции  $R_u$  должно быть не менее требуемого сопротивления воздухопроницанию. Сопротивление воздухопроницанию ограждающей конструкции, а также отдельных слоев многослойной конструкции определяется по Прил. 9\*\* СНиП II – 3 – 79\*\* «Строительная теплотехника» [7];

Сопротивление воздухопроницанию многослойной конструкции, (м<sup>2</sup>·ч·Па)/кг, определяется по формуле:

$$R_u = R_{u1} + R_{u2} + \dots + R_{un} \quad (27)$$

### 3. Расчет тепловых потерь помещениями.

Потери тепла помещениями делятся на *основные* и *дополнительные*. К основным относятся потери тепла через наружные ограждения. К дополнительным – потери тепла на нагревание наружного воздуха, поступающего в помещение путем инфильтрации  $Q_{инф}$ , потери тепла, связанные с ориентацией ограждения по сторонам света  $Q_{cc}$ , потери тепла, связанные с наличием в помещении двух и более наружных стен и наружных дверей. Потери тепла, связанные с наличием двух и более наружных стен, учитываются повышением на 2°С расчетной температуры внутреннего воздуха.

#### 3.1 Расчет основных теплопотерь

Основные теплопотери помещения через наружные ограждения определяют по формуле:

$$Q_{осн} = k \cdot (t_e - t_n) \cdot F \cdot n \quad (28)$$

где  $k$  – коэффициент теплопередачи наружного ограждения, Вт/м<sup>2</sup>·°С;

$t_e, t_n$  – расчетные температуры внутреннего и наружного воздуха, °С;

$F$  – площадь поверхности ограждения, м<sup>2</sup>;

$n$  – коэффициент, принимаемый в зависимости от положения наружной поверхности ограждающей конструкции по отношению к наружному воздуху согласно СНиП II – 3 – 79\*\* «Строительная теплотехника» [7].

#### 3.2 Дополнительные теплопотери

Дополнительные потери тепла, Вт, на нагрев инфильтрующего воздуха можно определить по формуле:

$$Q_{\text{инф}} = 0,278 \cdot F_{\text{ок}} \cdot (t_e - t_n) \cdot A \cdot c \cdot G_0 \quad (29)$$

где  $F_{\text{ок}}$  – площадь поверхности окон,  $\text{м}^2$ ;

$A$  – коэффициент, учитывающий нагрев наружного воздуха, проходящего через наружное ограждение, принимаемый для **двойных окон и балконных дверей – 0,8**; для тройных – 0,7; для одинарных – 1,0;

$c$  – удельная теплоемкость воздуха, равная  $c = 1,005 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$ ;

$G_0$  – количество воздуха, фильтрующееся через  $1 \text{ м}^2$  окна,  $\text{кг}/\text{м}^2 \cdot \text{ч}$ , определяется по формуле:

$$G_0 = \frac{1}{R_u} \cdot \left( \frac{\Delta p}{\Delta p_0} \right)^{2/3} \quad (30)$$

где  $R_u$  – сопротивление воздухопроницанию заполнения световых проемов,

$(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па})/\text{кг}$ , принимаемый по Прил.9\* СНиП II – 3 – 79\*\* «Строительная теплотехника» [7];

$\Delta p$  – разность давлений воздуха на внутренней и наружной поверхности ограждения, определяемая по формуле (25), где  $H$  принимается равной расстоянию от конька кровли до центра окна рассматриваемого помещения;

$\Delta p_0 = 10 \text{ Па}$  – разность давлений воздуха, при которой определяется  $R_u$ .

Для жилых зданий потери тепла на инфильтрацию наружного воздуха определяют по упрощенной формуле

$$Q_{\text{инф}} = 0,28 \cdot L \cdot F_{\text{пом}} \cdot \rho \cdot c \cdot (t_e - t_n) \cdot A, \quad \text{Вт} \quad (31)$$

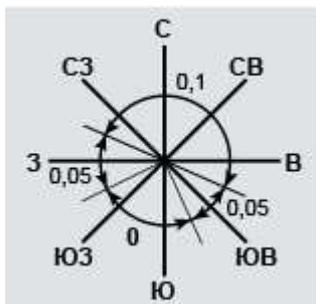
где  $L$  – расход воздуха,  $3 \text{ м}^3/\text{ч}$ ;

$F_{\text{пом}}$  – площадь помещения;

$\rho$  – плотность воздуха,  $1,2 \text{ кг}/\text{м}^3$ ;

$c = 1,005 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$ ;

Дополнительные потери тепла на ориентацию по сторонам света  $\beta$  принимают в % от основных потерь тепла.



При определении расчетных потерь тепла помещением из суммы основных и дополнительных потерь следует вычитать бытовые тепловыделения  $Q_{\text{быт}}$ , определяемые по формуле:

$$Q_{\text{быт}} = 10 \cdot F_{\text{пл}}$$

где  $F_{\text{пл}}$  – площадь пола помещения,  $\text{м}^2$ .

$$Q_{\text{расч}} = \Sigma Q_{\text{общ}} - Q_{\text{быт}}, \text{ Вт} \quad (32)$$

$$Q_{\text{общ}} = Q_{\text{осн}} \cdot (1 + \beta) + Q_{\text{инф}}, \text{ Вт} \quad (33)$$

Расчет потерь тепла сводится в таблицу следующей формы:

№ помещения и его $t_{в}, ^\circ\text{C}$	Наружные ограждения				$t_{в}-t_{н}, ^\circ\text{C}$	n	Коэффициент теплопередачи $k, \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$	Основные потери тепла $Q_{\text{осн}}, \text{ Вт}$	Дополнительные потери тепла		Общие теплопотери $Q_{\text{общ}}, \text{ Вт}$	Бытовые тепловыделения $Q_{\text{быт}}$	Расчетные потери тепла помещениями $Q_{п}, \text{ Вт}$
	название	ориентация	размеры, м	площадь, $\text{F}, \text{ м}^2$					$Q_{\text{инф}}, \text{ Вт}$	$1+\beta$			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Итого:													

#### 4. Выбор и расчёт нагревательных приборов системы отопления.

Расчет сводится к определению числа чугунных радиаторов и определению марки и числа других приборов.

Min число секций чугунных радиаторов:

$$N_{\text{min}} = \frac{Q_{\text{нт}} \beta_4}{Q_{\text{нц}} \beta_3} [\text{сек}] \quad (4.1)$$

где  $Q_{\text{нт}}$  – номинальный тепловой поток для подбора прибора [Вт]

$$Q_{\text{нт}} = \frac{Q_{\text{пр}}}{\Psi_{\kappa}} \quad (4.2)$$

$Q_{\text{пр}}$  – теплоотдача прибора без учета теплоотдачи стояков и подводок [Вт]

$$Q_{\text{пр}} = Q_{\text{расч}} - 0,8Q_{\text{тр}} \quad (4.3)$$

$Q_{\text{расч}}$  – расчетная тепловая нагрузка на прибор – берется из расчета теплопотерь

$Q_{\text{тр}}$  – теплоотдача открыто-проложенных стояков и подводок отдающих тепло воздуху помещения

$Q_{\text{тр}} - 100\text{Вт}$  если  $\varnothing$  стояка 15 мм.

$Q_{\text{тр}} - 150\text{Вт}$  если  $\varnothing$  стояка 20 мм.

$Q_{тр} - 200\text{Вт}$  если  $\varnothing$  стойка 25 мм.

При нагрузках на стойку 300 Вт и менее  $Q_{лр}$  не учитывается. Для верхних узлов с нижней разводкой  $Q_{тр}$  принимается на половину меньше.

$Q_{ну}$  – номинальный условный тепловой поток – тепловой поток через 1 секцию нагревательного прибора, принимается по приложению X

$\Delta t_{cp}$  – перепад между средней температурой в приборе и воздухом

$$\Delta t_{cp} = \frac{t_{вх} + t_{вых}}{2} - t_{воз} \quad (4.4)$$

$G_{ст}$  – расход воды через стойку

$$G_{ст} = \frac{0,86 \cdot Q_{ст}}{t_{зоп} - t_0} \left[ \text{кг/час} \right] \quad (4.5)$$

$\Psi_k$  – комплексный коэффициент приводящий систему в реальные условия

$$\Psi_k = \left( \frac{\Delta t_{cp}}{70} \right)^{1-n} \cdot \left( \frac{G_{лр}}{360} \right)^p \cdot B\Psi C \quad (4.6)$$

где n, p, c – таблица 9.2 [1],

B - коэффициент учёта расчётного атмосферного давления, для отопительных приборов, таблица 9.1 [1] (B=1)

$\Psi$  - коэффициент зависящий от направления движения воды,

если снизу вверх  $\Psi=0,98$

если сверху вниз:

$$\Psi = 1 - \alpha(t_{вх} - t_{вых}) \quad (4.7)$$

где  $\alpha = 0,006$

$t_{вх}$  – температура входа воды в каждый прибор

$$t_{вых} = t_{вх} - \frac{Q_{расч, i} \cdot 0,86}{G_{ст}} \quad (4.8)$$

$\beta_3$  – коэффициент учитывающий число секций, приложение 3 таблица 3.4 ( $\beta_3=1,04$ )

$\beta_4$  – коэффициент на установку прибора приложение 3 таблица 3.5

( $\beta_4=1,07$ )

Результаты расчетов сведены в таблицу 4.1

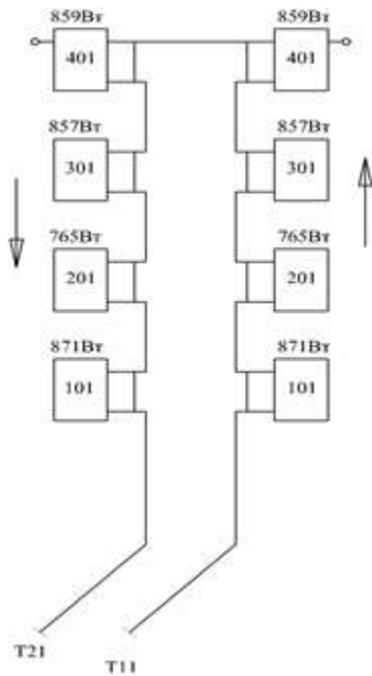


Таблица 4.1 Расчёт нагревательных приборов.

№ ст	№ пр	Q <sub>рас</sub>	G <sub>ст</sub>	G <sub>пр</sub>	t <sub>вх</sub>	t <sub>вых</sub>	t <sub>в</sub>	Δt <sub>ср</sub>	n	p	c	B	Ψ	a
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

Ψ <sub>к</sub>	Q <sub>тр</sub>	Q <sub>пр</sub>	Q <sub>нт</sub>	Q <sub>ну</sub>	β <sub>3</sub>	β <sub>4</sub>	N <sub>м</sub>
16	17	18	19	20	21	22	23

### 5. Гидравлический расчет.

Задача гидравлического расчета - определение диаметров магистрали, стояков, подводов при расходе теплоносителя в них, обеспечивающем требуемую теплоотдачу нагревательных приборов.

Существует 3 метода расчета:

1. Метод динамических давлений.
2. Метод удельных потерь давления.
3. Метод характеристик сопротивления.

#### Метод динамических давлений.

Расчет ведется по формуле:

$$H_{\text{расп}} > H_{\text{сист}} ; \text{Па.} \quad (5.1)$$

где  $H_{\text{расп}}$  - располагаемое давление, условно заданное на вводе  
потеря напора из расчета экономических диаметров и скоростей

$H_{\text{расп}} = 6000 - 7000$  Па для систем небольшой этажности и протяженности.

$H_{\text{расп}} = 8000 - 13000$  Па для систем средней этажности и протяженности.

$H_{\text{расп}}$  более 13000 Па для систем высотных зданий и большой протяженности.

$H_{\text{сист}}$  - сопротивление системы отопления.

$$H_{\text{сист}} = \sum \zeta_{\text{пр}} \cdot R_{\text{дин}} \cdot \text{Па.} \quad (5.2)$$

где  $\Sigma\zeta_{\text{пр}}$  - приведенный коэффициент сопротивлений.

$$\Sigma\zeta_{\text{пр}} = \lambda \cdot L/d + \Sigma\zeta_{\text{ту}} + \Sigma\zeta_{\text{м}} \quad (5.3)$$

где  $\lambda \cdot L/d$  - приведенный коэффициент трения. Приложение 3 таблица 3.1.

$L_{\text{м}}$  - длина участка в метрах.

$\Sigma\zeta_{\text{ту}}$  - сумма приведенных сопротивлений местных типовых узлов. Приложение 3 таблица 3.2. для чугунных радиаторов

$\Sigma\zeta_{\text{м}}$  - сумма местных сопротивлений, приложение 3 таблица 3.3

$R_{\text{дин}}$  - динамический или скоростной напор, определяется по приложению 4 с учётом оптимальных диаметров и расхода потока.

Порядок расчета:

1. Вычерчивается схема.
2. Расставляются нагрузки.
3. Выбирается главная расчетная ветка (по самому нагруженному и удаленному стояку в однотрубных системах; по самому удаленному и нагруженному прибору первого этажа в двухтрубной системе.)
4. Нумеруются участки (номер участка меняется с изменением расхода), определяется длина участка.
5. Результаты расчета сводятся в таблицу 5.1.
6. Ведется увязка. Увязка заключается в равенстве сопротивлений в точках схода или в равенстве сопротивлений любого расчетного кольца..

Для ориентации расчета

$\varnothing_{\text{ст}} = 15\text{мм}$ , если  $Q_{\text{ст}} \sim 6000 \text{ Вт}$

$\varnothing_{\text{ст}} = 20\text{мм}$ , если  $Q_{\text{ст}} \sim 6000 - 13000 \text{ Вт}$

$\varnothing_{\text{ст}} = 25\text{мм}$ , если  $Q_{\text{ст}} \sim 13000 \text{ Вт}$

Для лучшей увязки в тупиковых системах расчёт ведётся при следующих значениях динамического давления.

$R_{\text{дин}} = 30 - 120 \text{ Па}$  на стояках главной расчетной ветки.

$R_{\text{дин}} = 10 - 40 \text{ Па}$  на магистрали главной расчетной ветки.

В однотрубных системах весь стояк считается одним расчетным участком. Неувязка должна быть до 15%.

В кольцевых системах динамическое давление желательно придерживать от 50 до 120 Па во всех точках системы с целью уменьшения диаметра трубопровода.

### 5.1 Таблица гидравлического расчёта системы отопления.

Ny	Q уч	Δt	Gy	d м	L м	λ/d	λ·l/d	ζту	Σζм	ζпр	Rдин	Hсист	ΣHсист	H%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Ст		25			2.0				-					
1-2								-						

### II.3. Методические рекомендации по выполнению расчетно-графической работы

#### Лабораторная работа №1 Исследование работы водоструйного элеватора

##### Содержание работы

Отопительная система жилых и административных зданий рассчитана на определенную температуру горячей воды ( $t_r = 95^\circ\text{C}$ ).

От источника теплоснабжения (районной котельной, ТЭЦ) горячая вода поступает к отапливаемому зданию с более высокой температурой (как правило  $t_1 = 150^\circ\text{C}$ ).

Чтобы на вводе в здание снизить температуру поступающей сетевой воды до  $t_r = 95^\circ\text{C}$ , производят подмешивание к сетевой воде более холодную воду, прошедшую через нагревательные приборы здания и возвращающуюся в обратную линию тепловой сети с температурой  $t_o = 70^\circ\text{C}$ .

Наиболее распространенным смесительным устройством является водоструйный элеватор (см.рис.1)

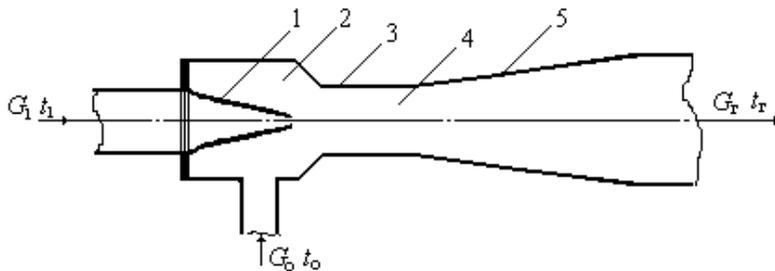


Рис.1. Схема водоструйного элеватора: 1 – сопло; 2 – камера всасывания; 3 – смесительный корпус; 4 – горловина; 5 – диффузор.

Водоструйный элеватор состоит из конусообразного сопла 1, через которое со значительной скоростью вытекает высокотемпературная вода с температурой  $t_1$  в количестве  $G_1$ ; камеры всасывания 2, куда поступает охлажденная вода с температурой  $t_o$  в количестве  $G_o$ ; смесительного корпуса 3 и горловины 4, где происходит смешение воды; диффузора 5.

Вокруг струи воды, вытекающей из отверстия сопла, создается зона пониженного давления, благодаря чему охлажденная вода засасывается из обратной магистрали (рис.2) системы отопления в камеру всасывания 2. В горловине струя смешенной воды, двигаясь с меньшей чем в отверстии сопла, но еще высокой скоростью, обладает значительным запасом кинетической энергии. В диффузоре при постоянном увеличении площади его поперечного сечения кинетическая энергия преобразуется в потенциальную: по его длине гидродинамическое давление падает, а гидростатическое – нарастает. За счет разности гидростатического давления в конце диффузора и в камере всасывания элеватора создается давление для циркуляции воды в системе отопления. Одним из недостатков водоструйного элеватора является его низкий КПД, который зависит от коэффициента смешения. Коэффициентом смешения элеватора  $U$  называется отношение расхода инжектируемой воды  $G_o$  к расходу инжектирующей (рабочей) воды  $G_1$ .

$$U = \frac{G_o}{G_1} \quad (1)$$

Коэффициент смешения может быть выражен через температуру воды:

$$U = \frac{t_1 - t_a}{t_a - t_i} \quad (2)$$

Схема опытной установки приведена на рисунке 2.

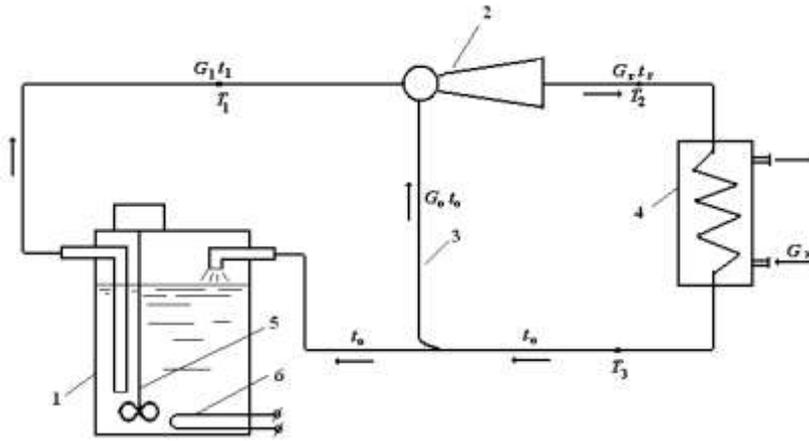


Рис.2. Схема опытной установки: 1 – термостат, 2 – элеватор; 3 – переключатель; 4 – теплообменник; 5 – насос; 6 – электрический нагреватель.

Насос 5 термостата 1 создает циркуляцию в замкнутом контуре системы. Рабочая вода с температурой  $t_1$  и расходом  $G_1$  поступает из термостата в сопло элеватора 2. Выходя из сопла, рабочая вода подсасывает по переключателю 3 воду из обратной линии с температурой  $t_0$  и расходом  $G_0$  в приемную камеру элеватора. Смесью рабочей и инжектируемой воды проходит камеру смешения и диффузор и поступает с параметрами  $t_T$  и  $G_T$  в теплообменник 4, заменяющий отопительную систему здания. Из теплообменника вода охлаждается до  $t_0$ , часть воды  $G_0$  подсасывается в элеватор, а другая часть  $G_T - G_0 = G_1$  возвращается в термостат для подогрева.

Для измерения температуры в точках  $T_1$ ,  $T_2$  и  $T_3$  установлены хромель-копелевые термопары. Охлаждающая вода на теплообменник 4 подается из городского водопровода  $G_X$ .

#### Задание

В работе необходимо построить характеристики  $U=f(Q)$  и  $U=f(Q_1)$ .

При выполнении работы необходимо провести серию опытов: а) при неизменном расходе  $G_1$  и переменной тепловой нагрузке  $Q$ ; б) при переменном расходе первичной воды  $G_1$ .

#### Порядок выполнения работы.

Включив насос термостата и охлаждающую воду на теплообменник, установив 1-й режим работы. Измерения температур можно проводить только для стационарного процесса. Установившимся (стационарным) процессом называется процесс с неизменяющейся во времени температурой. Поэтому в начальный момент, после включения установки, и при смене режимов необходимо следить за температурой и производить измерения лишь тогда, когда во всех точках установится постоянная температура.

Для контроля за работой элеватора на переключателе 3 установлена стеклянная трубка. Разряжение в камере всасывания фиксируется U-образным дифманометром.

Изменяя расход охлаждающей воды, проведем 3-4 опыта, каждый раз измеряя температуры  $t_1$ ,  $t_T$  и  $t_0$  и расход воды  $G_1$ , кг/с. Расход воды определяется с помощью мерной мензурки и секундомера.

Вторая серия опытов проводится при неизменном расходе охлаждающей воды с изменением расхода  $G_1$  путем перекрытия крана на термостате. Провести 3-4 опыта с измерением прежних параметров.

#### Обработка результатов.

1. По измеренным температурам  $t_1$ ,  $t_T$  и  $t_0$  определим по формуле 2 коэффициент смешения для всех режимов.

2. Определим  $G_T = (1+U) G_1$ .

3. Определим потери в теплообменнике:

$$Q = G_T c (t_r - t_o)$$

где  $c$  – теплоемкость воды при средней ее температуре в теплообменнике, Дж/кг·°С;  $t_r, t_o$  – температуры на входе и выходе в теплообменнике, °С.

4. Построим зависимости  $U=f(Q)$  и  $U=f(G_1)$ .

#### Список литературы

1. Е.Я. Соколов «Теплофикация и тепловые сети». М., Госэнергоиздат, 1973, гл.5 §§5-1,5-3.
2. Е.Я. Соколов Н.М. Зингер, «Струйные аппараты», М., Госэнергоиздат, 1970, гл.5.

#### Вопросы для подготовки к защите

1. В каких случаях применяются смесительные устройства?
2. Какие существуют типы смесительных устройств?
3. Как подсчитать напор перед элеватором, необходимый для обеспечения расчетного расхода воды в абонентской системе?
4. Как можно искусственно изменить коэффициент инжекции (смещения) элеватора при его неизменных геометрических размерах?
5. Изменится ли коэффициент инжекции при изменении располагаемого перепада давления  $\Delta P_p$  в рабочем сопле?

#### Лабораторная работа №2

##### Теплотехнические испытания нагревательных приборов

В системах центрального водяного отопления широкое распространение получили нагревательные приборы: секционные чугунные радиаторы, стальные штампованные радиаторы панельного типа, конвекторы, ребристые трубы, гладкие трубы и панели со встроенными нагревателями [1,2].

Нагревательные приборы предназначены для передачи тепла от теплоносителя (горячая вода) в помещении здания, в которых необходимо обеспечивать температурный режим. Теплопроизводительность нагревательных приборов определяется по формуле 1.

$$Q = K \Delta t F, \quad (1)$$

где  $K$  – коэффициент теплопередачи прибора, ккал/(м<sup>2</sup>·ч·°С);  
 $F$  – поверхность прибора, м<sup>2</sup>;  $\Delta t$  – разность между средней температурой теплоносителя в приборе и воздуха в помещении, °С.

Одним из главных показателей теплотехнических свойств нагревательных приборов принято считать коэффициент теплопередачи  $K$ , то есть среднюю теплопередачу одного квадратного метра поверхности прибора, отнесенную к одному градусу разности средней температуры теплоносителя и воздуха в помещении.

Коэффициент теплопередачи каждого прибора, определяется, наряду с предварительным аналитическим исследованием зависимости процессов внутреннего и внешнего теплообмена, опытным путем. Экспериментальный путь определения  $K$  объясняется наличием многих факторов (конструктивные особенности прибора, условия его эксплуатации, способ установки, способ подключения и т.д.), влияющих на коэффициент прямо или косвенно и затрудняющих точность его определения расчетным путем. При экспериментах в большинстве случаев не проводится разделение теплового потока на части, выражающие передачу тепла конвекцией и радиацией, а также на полезный, используемый для нагрева помещений, и бесполезный, используемый для

прогрева наружной стены за прибором. Выявленный коэффициент теплопередачи может определять и такой технико-экономический показатель, как теплонапряженность металла прибора  $T_m$ , то есть часовую теплопередачу прибора, отнесенную к одному килограмму веса металла прибора при перепаде средней температуры теплоносителя и воздуха в помещении в  $1^\circ\text{C}$ .

Теплоотдающая поверхность нагревательных приборов измеряется в квадратных метрах, однако, с целью единого технического и эксплуатационного показателя, в нашей стране в 1957 году введено измерение поверхности всех нагревательных приборов в эквивалентных квадратных метрах [2].

Эквивалентным квадратным метром (экм) называется такая условная площадь теплоотдающей поверхности нагревательного прибора, через которую при подключении прибора сверху вниз и средней температуре теплоносителя в приборе равной,  $82,5^\circ\text{C}$  в воздух с температурой  $t_{\text{в}} = 16^\circ\text{C}$  передается тепловой поток, при расходе теплоносителя  $17,4 \text{ кг/ч}$ , равный  $435 \text{ ккал/ч}$  ( $506 \text{ Вт}$ ).

В справочной литературе поверхность всех нагревательных приборов указывается в  $\text{м}^2$  и экм.

#### Цель работы

При выполнении настоящей лабораторной работы нужно определить коэффициент теплопередачи  $K$ , теплонапряженность металла  $T_m$  и удельный тепловой поток  $q_3$  с 1 экм для нагревательных приборов чугунного радиатора типа М-140 АО и стального штампованного радиатора МЗ-500-3.

#### Описание опытной установки

Принципиальная схема лабораторной установки для испытания отопительных приборов приведена на рисунке 1.

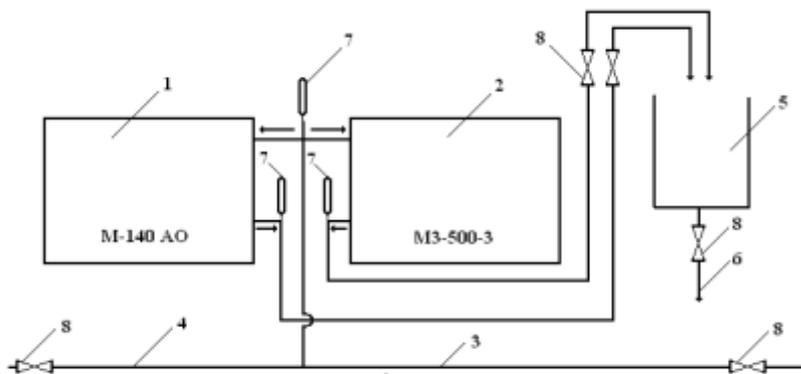


Рис.1. Схема установки: 1 – чугунный радиатор; 2 – стальной радиатор; 3 - подающая магистраль (из электронагревателя); 4 –подающая магистраль (из системы отопления); 5 – мерный бак; 6 – водосливная труба (в канализацию); 7 – термометры; 8 – вентили.

Теплоноситель в нагревательные приборы 1 и 2 может поступать из электрического нагревателя 3 или непосредственно из системы отопления лаборатории 4. Для измерения расхода воды установлен мерный 5, в который поступает теплоноситель от обоих приборов. После мерного сосуда вода через водослив 6 поступает в канализацию. Для измерения температуры на входе в приборы и выходах из приборов установлены ртутные термометры 7, которые помещены в специальные гильзы, заполненные минеральным маслом. Температура воздуха в помещении замеряется термометром, установленным на расстоянии 2м от нагревательного прибора и на высоте 1,5 м от поверхности пола.

Смена экспериментальных режимов осуществляется изменением расхода теплоносителя.

Характеристики испытуемых нагревательных приборов даны в таблице 1.

Таблица 1

Характеристика прибора	М-140 АО (4 секции)	МЗ-500-3
Поверхность нагрева, м <sup>2</sup> /экм	1,2	1,2
	1,4	1,56
Вес, кг	32,9	13,8
Емкость, л	5,72	5,0
Полная высота, мм	582	564
Монтажная высота, мм	500	500

#### Методика испытания

Расход теплоносителя определяется с помощью мерного бака или мерной мензурки. Измерив секундомером время его наполнения, массовый расход в кг/с можно определить по формуле

$$G = 3600 \frac{V \rho}{z} \quad (2)$$

где  $V$  – объем бака или сосуда, м<sup>3</sup>;  $\rho$  – плотность воды при температуре на выходе из нагревательного прибора, кг/м<sup>3</sup> (таб.2);

$z$  – время заполнения мерного сосуда, с.

Таблица 2

$t, ^\circ\text{C}$	20	30	40	50	60	70	80
$\rho, \text{кг/м}^3$	998, 2	995, 7	992, 2	988, 1	983,1	977, 8	971, 8
$C, \frac{\text{ккал}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$	0,99 9	0,99 7	0,99 7	0,99 7	0,998	1,00 0	1,00 2

Определение разницы температур между средней температурой теплоносителя в приборе и воздуха в помещении производится по выражению

$$\Delta t_{\text{пд}} = \frac{t_{\text{вв}} + t_{\text{вв}}}{2} - t_{\text{а}} \quad (3)$$

где  $t_{\text{вв}}$ ,  $t_{\text{вв}}$  – соответственно температура теплоносителя на входе и на выходе прибора, °C;  $t_{\text{а}}$  – температура воздуха в помещении, °C.

Определение количества тепла, отданного теплоносителем, определяется по формуле.

$$Q = G c (t_{\text{вв}} - t_{\text{вв}}) \quad (4)$$

где  $G$  – массовый расход теплоносителя, кг/ч;  $c$  – массовая теплоемкость воды, ккал/(кг °C).

Коэффициент теплопередачи прибора определяется из приведенной формулы 1 по выражению

$$\hat{E} = \frac{Q}{\Delta t_{\text{пд}} \cdot F}$$

Площадь нагревательного прибора принимается в м<sup>2</sup> см. таб.1  
Теплонапряженность материала прибора

$$T_{\text{м}} = \frac{KF}{m} \quad (5)$$

Здесь  $m$  – масса металла, из которого состоит прибор, кг.

Порядок выполнения работы

Перед началом работы следует ознакомиться с методикой испытания нагревательных приборов, конструкцией экспериментальной установки и приборами. Для удобства подводящие трубопроводы окрашены в красный цвет как более нагрева, а отводящие – в голубой.

Внимание! Включение и выключение, а также смена режимов работы установки производится только учебным мастером и преподавателем.

Испытание провести в трех режимах с изменением расхода воды через приборы. Изменение параметров теплоносителя производить при установившемся тепловом режиме, то есть при неизменных температурах горячей и обратной воды.

Результаты измерений и обработки данных заносятся в таблицу 3.

По полученным данным для приборов строится график зависимости  $K = f(\Delta t_{cp})$ .

Далее в работе необходимо определить для радиатора М-140-АО удельный тепловой поток с 1 экм в ккал/(ч·экм):

$$q_3 = \frac{Q}{F_y} = \frac{Q}{1,4}$$

Полученное значение  $q_3$  сравнить с имеющимся значением по таблице 4. Для этого необходимо определить  $\Delta t_{пр} = t_{вх} - t_{вых}$  и разность температур воды на входе в прибор и воздуха в помещении  $t_{вх} - t_{в}$ .

Сделать выводы по работе.

## Приложение

Таблица 3

Отопительные приборы	Режим	Температура теплоносителя		Температура воздуха $t_a, ^\circ\text{C}$	Разность средних температур $\Delta t_{cp}, ^\circ\text{C}$	Время заполнения измерного сосуда $z, \text{с}$	Плотность воды $\rho, \text{кг/м}^3$	Объемного измерного сосуда $V, \text{м}^3$	Расход воды $G, \text{кг/ч}$	Теплоотдача прибора $Q, \text{ккал/ч}$	Площадь нагрева $F, \text{м}^2$	Температурное сопротивление металла $T, \text{ккал/ч} \cdot ^\circ\text{C}$	Коэффициент теплоотдачи $K, \text{ккал/м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C}$
		на входе $t_{вх}, ^\circ\text{C}$	на выходе $t_{вых}, ^\circ\text{C}$										
Радиатор М-140 АО	1										1,2		
	2										1,2		
	3										1,2		
Стальная панель МЗ-500-3	1										1,2		
	2										1,2		
	3										1,2		

Таблица 4

$t_{вх} - t_{в}, ^\circ\text{C}$	$\Delta t = t_{вх} - t_{вых}, ^\circ\text{C}$								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	$q_3, \text{ккал/ч} \cdot \text{ЭКМ}$								
40	242	239	232	226	220	215	210	205	201
45	288	279	274	267	261	255	250	245	240
50	326	322	317	310	304	298	292	286	281
55	370	366	363	355	348	342	335	330	324
60	416	411	407	401	394	387	381	374	369
65	462	458	453	449	441	434	427	421	414
70	510	506	501	496	490	482	475	468	462
75	559	554	549	545	540	532	524	517	510

### Лабораторная работа №3 Исследование водо-водяной подогревательной установки

Водо-водяные подогревательные установки часто устанавливают на ЦТП и МТП в закрытых системах теплоснабжения. Водо-водяные подогреватели используются для подогрева водопроводной воды, поступающей в установки горячего водоснабжения. В качестве греющей среды используется сетевая вода.

Водо-водяные подогревательные установки применяют также при присоединении отопительных систем к тепловой сети по независимой схеме, когда по условиям рельефа местности или режима работы тепловой сети нельзя передать статическое давление присоединенных зданий на внешнюю тепловую сеть или же когда давление в обратной линии внешней тепловой сети превышает допустимое давление для присоединенных местных отопительных систем.

Абонентские водо-водяные подогреватели выполняются обычно из секционных подогревателей, соединенных последовательно по греющей и нагреваемой воде. Общий вид такой установки показан на рисунке 1.

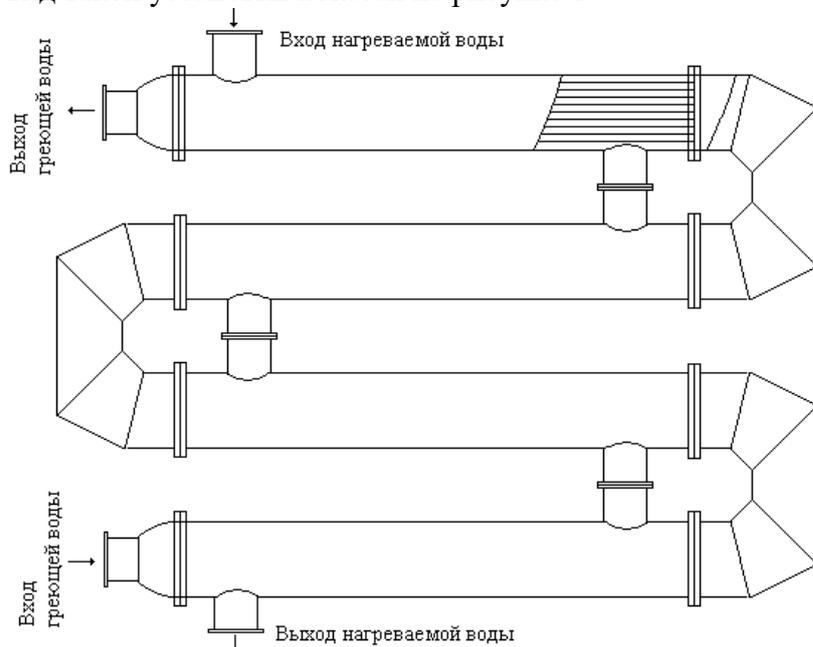


Рис.1. Секционный водо-водяной нагреватель.

Здесь греющая вода протекает внутри малых трубок, а нагреваемая вода – в межтрубном пространстве.

В таких установках легко организовать течение греющего и нагреваемого теплоносителей по схеме противотока и получить высокий КПД.

В настоящей работе предлагается провести исследование работы одной секции подобного подогревателя на уменьшенной модели.

Целью работы является знакомство с конструкцией, работой и методикой расчета водо-водяных подогревателей.

#### Теоретические основы.

Водо-водяные подогреватели представляют собой рекуперативные теплообменные аппараты, в которых две жидкости с различными температурами текут в пространстве, разделенном твердой стенкой. Теплообмен между жидкостями происходит за счет конвекции и теплопроводности стенки.

Тепловые расчеты теплообменных аппаратов могут быть проектными и проверочными.

Проектные (конструктивные) тепловые расчеты выполняются при проектировании

новых аппаратов, и целью расчетов является определение поверхности теплообмена.

Проверочные тепловые расчеты выполняются в том случае, если известна поверхность нагрева аппарата и требуется определить количество передаваемого тепла и конечные температуры рабочих жидкостей.

Тепловой расчет теплообменных аппаратов сводится к совместному решению уравнений теплового баланса и теплопередачи. Эти два уравнения лежат в основе любого теплового расчета. Рассмотрим эти уравнения для рекуперативных теплообменников при стационарном режиме их работы.

Уравнение теплового баланса:

$$Q = G_1 c_1 (t_1' - t_1'') = G_2 c_2 (t_2'' - t_2') \quad (1)$$

где  $Q$  – тепловая производительность, Вт;  $G$  – массовый расход, кг/с;  $c$  – массовая теплоемкость, Дж/(кг·°C);  $t$  – температура воды, °C.

Здесь и далее индекс 1 означает, что данная величина отнесена к греющей (горячей) жидкости, а индекс 2 – к нагреваемой (холодной) жидкости. Обозначение (') соответствует данной величине на входе в теплообменник, (') – на выходе.

Уравнение теплопередачи чаще служит для определения поверхности теплообмена  $F$  и записывается:

$$Q = K \Delta t F \quad (2)$$

где  $K$  – коэффициент теплопередачи, Вт/(м<sup>2</sup>·°C);  $\Delta t$  – средняя разность температур (температурный напор) между греющей и нагреваемой жидкостями, °C.

Коэффициент теплопередачи рекомендуется определять из уравнения (3):

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad (3)$$

где  $\alpha_1$  – коэффициент теплоотдачи от греющей жидкости к стенке;  $\alpha_2$  – коэффициент теплоотдачи от стенки к нагреваемой жидкости, Вт/(м<sup>2</sup>·°C);  $\delta$  – толщина стенки, м;  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности материала стенки, Вт/(м·°C).

Основной сложностью при расчете коэффициента теплопередачи является определение коэффициентов теплоотдачи зависящих от большого числа факторов.

Среднюю разность температур  $\Delta t$  можно определять как среднюю логарифмическую или среднюю арифметическую из крайних разностей температур ( $\Delta t_v$  и  $\Delta t_m$ ).

Наиболее часто водо-водяные теплообменники встречаются с прямоточной и противоточной схемой движения теплоносителей. Если в аппарате горячий и холодный теплоносители протекают параллельно в одном направлении, то такая система называется прямоточной, если в противоположных направлениях (то есть навстречу) – противоточной.

Характер изменения температуры теплоносителей вдоль поверхности будет определяться схемой движения и соотношением теплоемкостей массовых расходов теплоносителей –  $C = G c$  (рис.2).

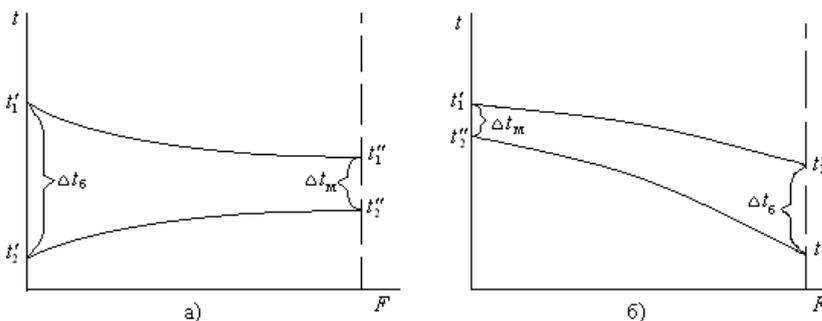


Рис.2.График изменения температуры теплоносителей при прямотоке (а) и противотоке

(6).

Средняя логарифмическая и средняя арифметическая разности температур для обеих схем определяются:

$$\Delta t_{\text{г}} = \frac{\Delta t_{\text{а}} - \Delta t_{\text{и}}}{\ln(\Delta t_{\text{а}}/\Delta t_{\text{и}})} \quad (4)$$

$$\Delta t_{\text{а}} = \frac{\Delta t_{\text{а}} + \Delta t_{\text{и}}}{2} \quad (5)$$

Среднеарифметическую разность температур рекомендуется брать для расчетов, когда  $\Delta t_{\text{в}}/\Delta t_{\text{м}} < 2$ , в других случаях для точных расчетов необходимо брать среднелогарифмическую разность.

#### Описание опытной установки

Лабораторная установка представляет собой односекционный водо-водяной теплообменник рекуперативного типа, включенный по противоточной схеме движения теплоносителей (рис.3).

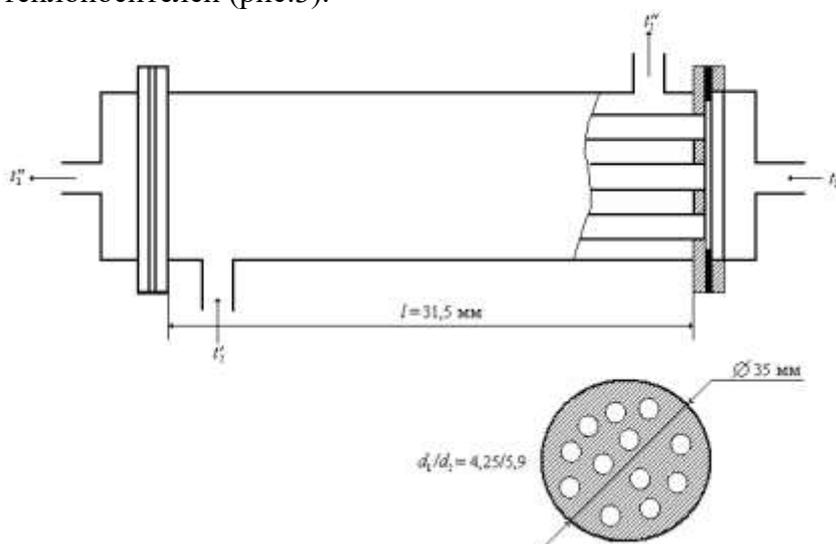


Рис.3.Схема опытной установки.

Размеры и характеристики модели приведены на стенде.

Горячий теплоноситель движется по 12 медным трубкам, а холодный – по межтрубному пространству. Горячая вода подается из термостата, где она предварительно нагревается до 60-80 °С.

Холодная вода берется непосредственно из водопровода или из напорного бака. Для измерения температуры горячей и холодной воды на входе и выходе установлены 4 медь-константановых термопары. Измерение расхода воды производится с помощью мерной мензурки и секундомера.

#### Порядок проведения опытов и обработки результатов

Для исследования работы теплообменника и дальнейших расчетов необходимо провести 3 – 4 опыта в различных режимах. Устанавливаем сначала максимальный расход холодной воды по перепаду температуры этой воды на входе и на выходе  $\sigma t_2 \sim 5^\circ\text{C}$ . Расход горячей воды определяется мощностью насоса, установленного в термостате, и на всех режимах останется неизменным. Далее уменьшим расход холодной воды так, чтобы перепад температур был  $\sigma t_2 \sim 10^\circ\text{C}$  и так далее до  $\sigma t_2 \sim 30^\circ\text{C}$ .

В каждом режиме измеряем: температуру воды  $t'_1, t''_1$  и  $t'_2, t''_2$  и расход воды  $G_1$  и  $G_2$ .

По уравнению теплового баланса (1) определим тепловой поток. Далее строим температурный график  $t = f(F)$ . Для этого достаточно нанести на график начальные и конечные значения температур. Определяем  $\Delta t_{\text{г}}$  и  $\Delta t_{\text{м}}$  и находим средний температурный

напор по уравнениям (4) или (5). Из уравнения (2) определяем коэффициент теплопередачи  $K$ . Опытное значение коэффициента теплопередачи необходимо сравнить с расчетным значением, которое просчитывается для одного из режимов по методике изложенной в литературе. На этом работа считается законченной. В конце необходимо сделать выводы по работе.

#### Лабораторная работа №4

Тепло-влажностный режим строительных ограждений.

Конденсация влаги в толще ограждений.

Цель работы: Определить распределение влаги и наличие зоны конденсации в толще ограждения при различных вариантах расположения слоя тепловой изоляции, выбрать оптимальный вариант.

#### Теоретические основы.

Влага, содержащаяся в воздухе, может конденсироваться на поверхности и внутри наружной стены. Поверхностная конденсация происходит в случае соприкосновения теплого воздуха помещения с холодной поверхностью стены, при условии  $t_{в} < t_{р}$  (температура внутренней поверхности стены меньше температуры «точки росы»).

**В зимнее же время водяной пар внутреннего воздуха, диффундируя через наружные ограждения, может встретить слои ограждения, температуру которых будет ниже «точки росы». Возникает конденсация влаги уже в толще ограждения.**

**Избежать конденсации в толще удаётся далеко не всегда. Часто приходится ориентироваться на естественную просушку ограждения в теплое время года.**

**Просушка наиболее эффективна в ограждениях нижних этажей, в которых даже при безветрии поступает большое количество свежего (сухого) воздуха, а также в ограждениях, непосредственно обдуваемых ветром или облучаемых солнцем. Для неблагоприятных случаев целесообразно проветривание помещений и специальная вентиляция.**

Конденсация влаги в толще ограждения происходит, если фактическая упругость водяных паров воздуха  $e$ , мм. вод. ст. достигает величины максимальной упругости водяных паров  $E$ , мм. вод. ст.

Для выявления наличия или отсутствия конденсации в толще стены необходимо выполнить следующее:

1. Построить график распределения температур в стене  $t=f(x)$
2. Построить линию распределения в стене максимальной упругости водяных паров  $E=\varphi(x)$
3. Построить линию распределения реальной упругости водяных паров  $e=\psi(x)$
4. Сравнить графики  $e=\psi(x)$  и  $E=\varphi(x)$  и выяснить наличие зоны конденсации (область между точками пересечения графиков).

**Для построения температурного графика  $t=f(x)$  необходимо определить температуры внутренней поверхности, в заданных сечениях слоёв, на границе слоёв и температуру наружной поверхности. Для определения температур в указанных точках необходимо знать расчётные соотношения, характеризующие теплообмен через стену.**

**Процесс теплообмена между внутренним и наружным воздухом через разделительную стенку называется теплопередачей.**

**Количество теплоты, теряемое через стенку, определяется с помощью уравнения теплопередачи:**

$$Q = kF(t_{в} - t_{н}) = \frac{t_{в} - t_{н}}{\sum_{i=1}^n \delta_i / \lambda + 1/\alpha_{в} + 1/\alpha_{н}} F \quad (1)$$

где  $k$  – коэффициент теплопередачи, Вт/(м<sup>2</sup> °С);  $\alpha_{в}$ ,  $\alpha_{н}$  – коэффициент теплоотдачи соответственно внутренней и наружной поверхностей ограждения, Вт/(м<sup>2</sup> °С);  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности материала ограждения, Вт/м<sup>2</sup>град;  $t_{в}$ ,  $t_{н}$  – температура

соответственно внутри и снаружи помещения, °C;  $F$  – поверхность ограждения, м<sup>2</sup>.

Процесс теплопередачи складывается на трёх процессов:

1) теплоотдачи от внутреннего воздуха и внутренней поверхности стены, при этом количество теплоты отдаваемое воздухом поверхности соответствует закону Ньютона-Рихмана:

$$Q = \alpha_B (t_B - \tau_B) \cdot F = \frac{t_B - \tau_B}{R_B} F, \quad (2)$$

где  $\tau_B$  – температура на внутренней поверхности стены, °C ;  $R_B = 1/\alpha_B$ , – сопротивление теплоотдаче с внутренней поверхности стены, м<sup>2</sup> °C/Вт.

2) теплопроводности стены, причем согласно закону Фурье стена проводит следующее количество теплоты:

$$Q = \frac{\tau_{вн} - \tau_{нп}}{\delta_1/\lambda_1 + \delta_2/\lambda_2 + \dots + \delta_n/\lambda_n} F = \frac{\tau_{вн} - \tau_{нп}}{R_{ст}} F, \quad (3)$$

где  $\tau_{нп}$  – температура на наружной поверхности стены, °C;

$R_{ст} = \sum_{i=1}^n \delta_i/\lambda_i$  – сопротивление теплопроводности стены из  $n$  слоёв, (м<sup>2</sup> °C)/Вт.

3) теплоотдачи от наружной поверхности стены к воздуху

$$Q = \alpha_H (\tau_{нп} - t_H) \cdot F \quad (4)$$

При установившемся (стационарном) теплообмене тепловой поток остается неизменным. Одно и тоже количество теплоты отдаётся от воздуха к поверхности и передаётся через стенку.

$$(t_B - \delta_{вп}) = k(t_B - t_H) \quad (5)$$

Из уравнения 5 определяется температура на внутренней поверхности стены

$$\tau_{вп} = t_B - \frac{k(t_B - t_H)}{\alpha_B} \quad (6)$$

Аналогично находится температура наружной поверхности

$$\tau_{нп} = t_H - \frac{k(t_B - t_H)}{\alpha_H} \quad (7)$$

Сравнивая тепловой поток, воспринимаемой поверхностью и проводимый через первый слой, найдем температуру на границе 2-ух слоёв:

$$t_{сл} = \tau_{вп} - \frac{\alpha_B}{\lambda_1} (t_B - \tau_{вп}) \delta_1 \quad (8)$$

Приравнивая тепловой поток, через первый слой стены и часть этого слоя с толщиной  $x_1$ . Определяется температура в точке первого слоя:

$$t_{x_1} = \tau_{вп} - \frac{\tau_{вп} - t_{сл}}{\delta_1} x_1 \quad (9)$$

Температуру в сечении  $x_2$  второго слоя можно определить по следующему уравнению:

$$t_{x_2} = \tau_{сл} - \frac{t_{сл} - \tau_{нп}}{\delta_2} x_2 \quad (10)$$

Распределение водяных паров в толще стены.

**а) максимальная упругость водяных паров- существует однозначная зависимость максимального содержания водяного пара в воздухе от температуры**

Если  $t > 0$ , то  $E(t) = e^{\frac{1513,89+23,59t}{236+t}}$

Если  $t < 0$ , то  $E(t) = e^{\frac{1752+29,027t}{273+t}}$  (11)

$R_{пв} = 0,0267$ , (м<sup>2</sup>·ч·рт.ст.)/г ;  $R_{пн} = 0,0052$ , (м<sup>2</sup>·ч·рт.ст.)/г

Следовательно, зная распределения температуры стене, можно определить максимальную упругость водяного пара в любом сечении.

**б) фактическая упругость водяных паров - действительное распределение упругости водяного пара зависит от влажности внутреннего и наружного воздуха и величины сопротивления паропроницанию внутренней и наружной воздуха и внутренних слоёв стены.**

**Значение действительной упругости водяного пара, которое было бы при отсутствии конденсации влаги в толще стены**

$$e_x = e_B - (R_{вп} + \sum_{\delta}^{x=1} R_n) \frac{e_B - e_H}{R_{вп}} \quad (12)$$

где  $e_B = \phi E_B$  - упругость водяного пара с внутренней стороны стены, мм рт. ст.;  $e_H = \phi E_{HK}$  - упругость водяного пара с наружной стороны стены, мм рт. ст.;  $R_{вп}$  - сопротивление паропроницанию внутренней поверхности стены, ( $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{мм рт.ст.})/\text{г}$ ,  $R_{вп} = 0,2$ , ( $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{рт.ст.})/\text{г}$ ;

$R_{нп}$  - сопротивление паропроницанию наружной поверхности стены, ( $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{мм рт.ст.})/\text{г}$ ,  $R_{нп} = 0,1$ , ( $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{рт.ст.})/\text{г}$ ;  $R_{оп}$  - сопротивление паропроницанию ограждения, которое определяется по формуле (13):

$$R_{оп} = R_{вп} + \sum R_i + R_{нп} \quad (13) \text{ где } \sum R_i - \text{сумма}$$

сопротивлений паропроницанию внутренних слоёв стены от внутренней поверхности ( $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{рт.ст.})/\text{г}$ .

На рис.1- характерные варианты расположения линий  $e$  и  $E$  в однослойном ограждении (всегда  $e < E$ ), схема б)- о конденсации в толще, так как в отдельных сечениях упругость  $e > E$ .

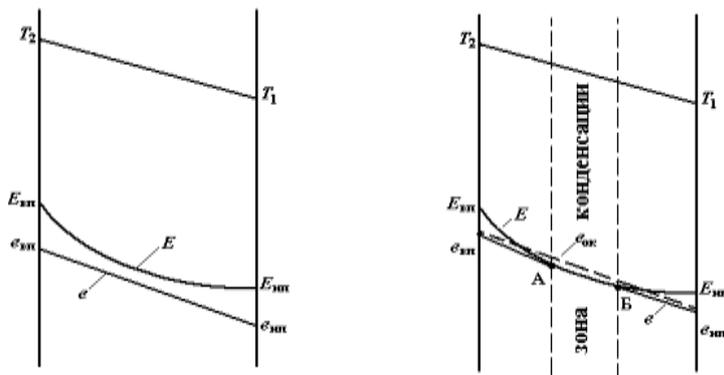


Рис.1. Варианты расположения

линий  $E$  и  $e$  в однослойном ограждении

Зона конденсации уменьшается между точками А и Б, получаемыми касательными, проведенными к кривой  $E$  из точек  $e_{вп}$  и  $e_{нп}$ . Действительная (уже с учетом конденсации) линия упругости представляет собой участок прямой  $e_{вп}$ -А, кривую А-Б и прямую Б -  $e_{нп}$ .

Содержание работы

**В работе задана двухслойная стена, необходимо исследовать влияние различных вариантов расположения слоя тепловой изоляции на возможность образования зоны конденсации влаги в стене. Для этого проводится расчёт для двух вариантов конструкции стены:**

**Реальный процесс распределения влаги в толще многослойного ограждения заменяется математическим моделированием его на ЭВМ, по формулам.**

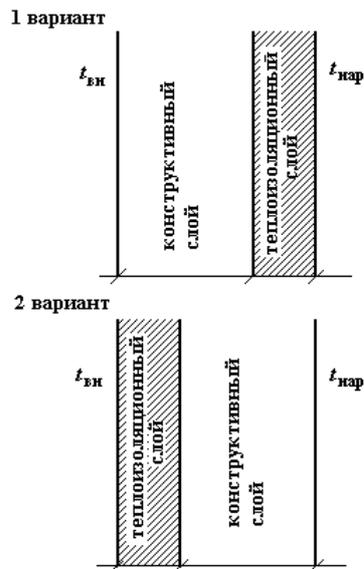


Рис.2.Схема расположения конструктивного и теплоизоляционного слоев в ограждающих конструкциях.

Задание.

### 1.Выбрать материал и толщину каждого слоя стены.

- 2.По СНИП.3-79 выписать теплотехнические характеристики каждого материала  $\lambda, \mu$ ,
- 3.Задать характеристики внутренней и наружной среды:  $t_{в}, t_{н}, \varphi_{в}, \varphi_{н}$ .
- 4.Записать расчетные значения параметров для каждого слоя:  $t$  - температуру на границе слоя;
- $E$  - максимальную упругость слоя;
- $e$  - фактическую упругость слоя.
- 5.Построить графики  $t = f(\delta)$ ,  $E = f(\delta)$ ,  $e = f(\delta)$  и исследовать возможность зоны конденсации.
- 6.Сделать выводы.

Внимание!!!

- 1.Расчет ведется только для двухслойной стенки.
- 2.Теплоизоляционный материал со значением  $\lambda < 0,33 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{°C})$ .

### Лабораторная работа №5

Определение степени изменения теплоотдачи отопительного прибора при переходе в нерасчётный режим.

Цель работы. Определение теплоотдачи прибора при изменённых параметрах теплоносителя.

#### Теоретическая часть.

Поддержание внутренней температуры воздуха в помещении на расчётном уровне в течении всего отопительного сезона обеспечивается при выполнении условия:

$$Q_{п} = Q_{т,п} \quad (1)$$

где  $Q_{п}$  - текущая теплоотдача элементов системы отопления в помещении.

Изменение теплоотдачи элементов постоянно действующей системы отопления обеспечивают, прежде всего, путём централизованного изменения параметров теплоносителя (температуры, расхода). Реже это достигают при прерывистом отоплении, при переходе к применению другой отопительной установки (дежурное отопление) или за счёт изменения интенсивности теплоотдачи отопительных приборов (например, при использовании воздушного клапана в конвекторе с кожухом). Иногда используют несколько факторов, вызывающих изменения теплоотдачи в помещении.

Регулирование разветвлённой системы отопления должно сопровождаться равномерным изменением теплоотдачи всех элементов системы. Такое свойство системы

пропорционально изменять теплоотдачу элементов при изменении какого либо параметра или их сочетания называют тепловой устойчивостью системы отопления.

Часто тепловую устойчивость связывают с гидравлической устойчивостью - свойством пропорционально изменять расход теплоносителя во всех элементах системы отопления при централизованном изменении его количества. Полной взаимосвязи во всех системах отопления между гидравлической и тепловой устойчивостью не наблюдается. Связано это с непостоянством коэффициента теплопередачи нагревательных элементов системы при изменении в ней температуры и расхода теплоносителя.

Рассмотрим переменный тепловой режим элемента системы на примере участка системы водяного отопления. Теплоотдача участка системы сопровождается изменением температуры воды на выходе из элемента  $t_0$  при известных значениях температуры воды на входе  $t_\Gamma$  и расход воды  $G$  по известному выражению:

$$Q = Gc(t_\Gamma - t_0) \quad (2)$$

Где  $c$  - удельная массовая теплоёмкость воды. - Температура  $t_0$  может быть определена с использованием так называемой тепловой характеристики элемента  $T^*$ . Тепловая характеристика предложена при решении дифференциального уравнения теплопередачи при движении нагретой жидкости через участок системы отопления:

$$Q = G \cdot c \cdot \Delta t = m \cdot \left( \frac{\Delta t_{cp}}{70} \right)^n \cdot \left( \frac{G}{0.1} \right)^p \cdot \Delta t_{cp} \quad (3)$$

$$\text{где } \Delta t_{cp} = \frac{t_\Gamma + t_0}{2} - t_B$$

$\Delta t_{cp}$  - средняя разность температуры, °C;  $G$  - расход воды, кг/с;  $m, n, p$  - показатели (из справочной литературы).

После преобразований получим выражение для вычисления текущей средней разности теплоносителя и окружающего элемента воздуха:

$$\Delta t_{cp} = \left( \frac{n \cdot (t_\Gamma - t_0)}{(t_0 - t_B)^{-n} - (t_\Gamma - t_B)^{-n}} \right)^{1/(1+n)} \quad (4)$$

а также тепловой характеристики элемента  $T$ , определяющей процесс теплопередачи элемента системы отопления:

$$T = \frac{n}{(70)^n \cdot [(t_0 - t_B)^{-n} - (t_\Gamma - t_B)^{-n}]} \quad (5)$$

Уравнения (4) и (5) совместно приводят к -формуле для определения температуры на выходе из теплоотдающего элемента системы при расходе воды, равном расчетному:

$$t_0 = t_B + \left[ \frac{1}{(t_\Gamma - t_B)^n} + \frac{n}{(70)^n \cdot T} \right]^{-1/n} \quad (6)$$

Переменный тепловой режим работы системы водяного отопления характеризуется также возможным изменением расхода теплоносителя  $G$ . Изменение расхода может происходить вследствие количественного регулирования или воздействия естественного циркуляционного давления. В этом случае значение тепловой характеристики элемента  $T$  уточняют по формуле.

$$T = T' \cdot (G/G')^{1-p} \quad (7)$$

где  $T'$  - тепловая характеристика элемента, полученная при подстановке в формулу (5) расчетных температурных параметров.

#### Задание по выполнению работы.

1. Ознакомиться с теорией.
2. Вычислить степень уменьшения теплоотдачи отопительного прибора в системе водяного

отопления при сокращении расхода воды в нем от  $G'=350$  до  $G=300$  кг/ч и понижении температуры на входе в прибор  $t'_Г=105^\circ\text{C}$  до  $t_Г=80^\circ\text{C}$ , если задана  $t_В=t'_В=18^\circ\text{C}$ ;  $t'_0=103^\circ\text{C}$ . ( $n=0,35$ ;  $p=0,07$ )

### Лабораторная работа №6

#### Выбор покровного слоя отопительной панели

##### Цель работы

Изучить влияние толщины цилиндрического слоя бетона, нанесенного на трубопровод на величину теплового потока, передаваемого от горячей воды в трубопроводе к окружающему воздуху.

##### Теоретические основы

Отопительная панель представляет собой, как правило, змеевик из стальных труб, заделанный в тонкую бетонную плиту.

Максимальный тепловой поток от такого прибора можно получить только при правильном выборе толщины слоя, нанесенного на трубу.

Количество теплоты, передаваемой от горячей воды через стенку к воздуху в отопительных приборах определяется с помощью основного уравнения теплопередачи:

$$Q = kF(t_1 - t_2) = \frac{t_1 - t_2}{R_0} F, \text{ Вт}, \quad (1)$$

где  $k$  – коэффициент теплопередачи,  $\text{Вт}/\text{м}^2\cdot^\circ\text{C}$ ;  $F$  – поверхность теплообмена,  $\text{м}^2$ ;  $t_1, t_2$  – температура воды внутри прибора и окружающего воздуха;  $R_0$  – фактическое сопротивление теплопередачи,  $\text{м}^2\cdot^\circ\text{C}$ .

Сопротивление теплопередачи стенки, покрытой дополнительным слоем равно:

$$R_0 = R_в + R_{ст} + R_{сл} + R_н, \quad (2)$$

где  $R_в, R_н$  – сопротивление внутренней и наружной теплопередачи;  $R_{ст}, R_{сл}$  – термическое сопротивление стенки и слоя.

Для плоской стенки дополнительный слой, нанесенный на ее поверхность, всегда повышает суммарное сопротивление и снижает количество теплоты, передаваемой через такую стенку

(см. формулу (1)).

Сопротивление теплопередачи плоской стенки:

$$R_\Sigma^n = R_1 + R_{ст} + R_{сл} + R_2 = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}} + \frac{1}{\alpha_2} \quad (3)$$

Сопротивление теплопередачи цилиндрической стенки:

$$R_\Sigma^n = R_1 + R_{ст} + R_{сл} + R_2 = \frac{1}{\alpha_1 d_1} + \frac{1}{2\lambda_{ст}} \ln \frac{d_1}{d_2} + \frac{1}{2\lambda_{сл}} \ln \frac{d_{сл}}{d_2} + \frac{1}{\alpha_2 d_{сл}}, \quad (4)$$

где  $\alpha_1$  – коэффициент теплопередачи от горячего теплоносителя к внутренней поверхности стенки;  $\alpha_2$  – коэффициент теплопередачи от поверхности слоя к холодному теплоносителю.

При увеличении диаметра слоя на цилиндрической стенке сопротивление теплопроводности  $R_{сл}$  растет, т.к. увеличивается толщина слоя, а сопротивление теплоотдачи  $R_2$  падает, т.к. увеличивается наружная поверхность, растут потери за счет теплоотдачи с поверхности.

При двух противодействующих факторах суммарное сопротивление цилиндрической стенки  $R_\Sigma^n$  при определенном диаметре, называемом критическим принимает минимальное значение (см. рис.1)

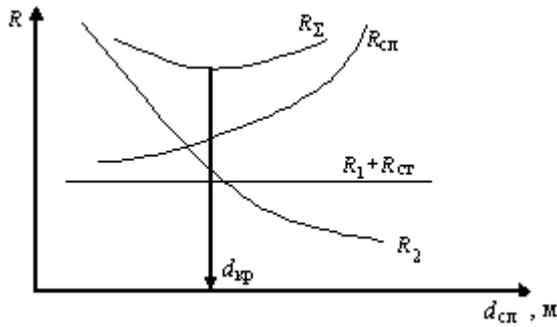


Рис.1 Зависимость сопротивлений от диаметра изоляции .

Минимальному сопротивлению изоляции соответствует максимальные потери теплопроводом (см.рис.2)

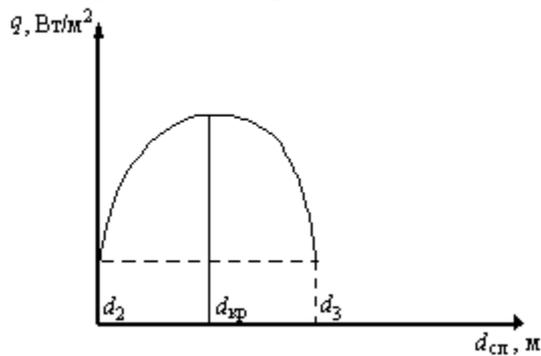


Рис.2. Зависимость удельных потерь тепла от диаметра покровного слоя.

Критический диаметр определяется по формуле:

$$d_{кр} = \frac{2\lambda_{сл}}{\alpha_2} \quad (5)$$

Из условия  $d_2 \geq d_{кр}$  выбирается материал слоя.

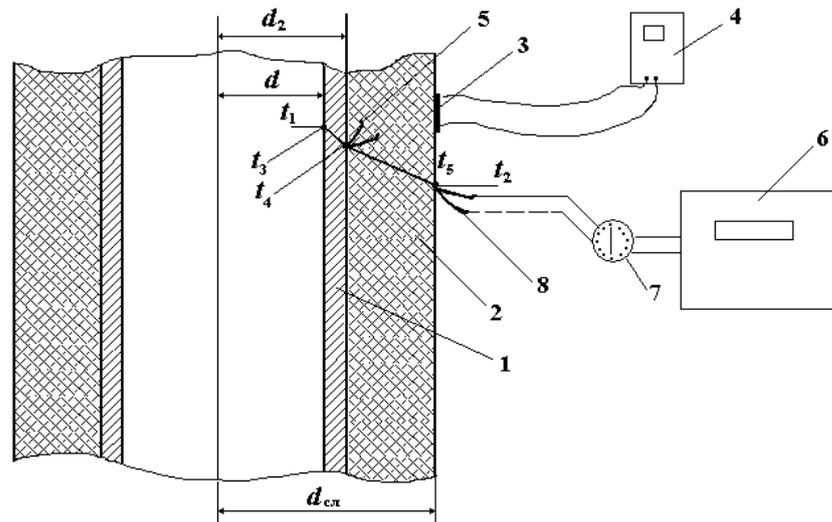


Рис.3.Схема испытательного стенда.

На стенде расположен горизонтальный теплопровод 1 с диаметром  $d_1$ , покрытый слоем бетона, имеющий внутренний и наружный диаметры  $d_2$  и  $d_{сл}$  соответственно. К наружной поверхности теплоизолированного трубопровода 2 прикреплен датчик 3 измерителя теплового потока 4. В качестве измерителя теплового в диапазоне тепловых потоков до  $1000 \text{ Вт/м}^2$  применяется прибор ИТП-12

Прибор состоит из преобразователя теплового потока (тепломера) и электронного устройства преобразования и измерения сигналов. Тепломер выполнен по методу вспомогательной стенки, в качестве которой используются гальванические

термоэлементы, расположенные параллельно по тепловому потоку и соединенные последовательно по электрическому сигналу. Отсчет показаний производится в единицах плотности теплового потока (Вт/м<sup>2</sup>). Термопары 5,8 и потенциометр 6 служат для измерения температуры поверхностей бетонного слоя.

Задания к лабораторной работе

1. Снять показания термопар 5 и 8 и тепломера 6. Записать данные установки ( $d_2$ ,  $d_{сл}$ ) и показания приборов в табл.1.
2. Определить теплопроводность бетона  $\lambda_{сл}$ , исходя из уравнения теплопроводности цилиндрической стенки.

$$Q = \frac{\pi l(t_4 - t_5)}{\frac{1}{2\lambda_{сл}} \ln \frac{d_{сл}}{d_2}} \quad (6)$$

Результат записать в табл.1.

3. Определить коэффициент теплоотдачи от поверхности бетона к окружающей среде, используя потенциальное уравнение теплоотдачи:

$$Nu = 0,5(Gr \cdot Pr)^{0,25} \quad (7)$$

где  $Nu = \frac{\alpha_2 d_{сл}}{\lambda_ж}$ ;  $\lambda_ж = \lambda_{воз}$  при  $t_{ср}$

$$Gr = \beta g \frac{d_{сл}}{\nu^2} \Delta t; \beta = \frac{1}{t_{ср} + 273}; t_{воз} = 20 \text{ } ^\circ\text{C}; \Delta t = t_5 - t_{воз}$$

$$t_{ср} = \frac{t_{воз} + t_5}{2}, g = 9,81 \text{ м/с}^2$$

4. Определить критический диаметр для бетонного слоя с  $\lambda_{сл}$  по уравнению 5. Результаты занести в табл. 2.
5. Проанализировать результаты. Являются ли материалы слоя и его диаметр оптимальными для данной обетонированной трубы как для отопительного прибора?
6. Произвести, если это необходимо, выбор более оптимального покровного слоя

Таблица 1

Величин	$d_2$	$d_{сл}$	$Q$	$t_5$	$t_4$	$\lambda$
<i>a</i>						
№	м	м	Вт	°С	°С	Вт/м <sup>2</sup> ·°С
опыта						
<b>1</b>						
<b>2</b>						
<b>3</b>						

Определение теплоотдачи бетонного слоя и критического диаметра слоя

Таблица 2

$t_4$	$t_в$	$\Delta t = t_5 - t_6$	Gr	Pr	Nu	$\alpha$	$d_{кр}$
°С	°С	°С				Вт/м <sup>2</sup> ·°С	м

Варианты заданий

1.  $l = 1,006$  м,  $d_2 = 0,02$  м,  $d_{сл} = 0,18$  м,  $t_4 = 79,1$ °С,  $t_5 = 67,7$ °С,  $Q = 27,0896$  Вт

Рассчитайте коэффициент теплопроводности покровного слоя по формуле 6 из методического пособия.

2.  $l = 0,809$  м,  $d_2 = 0,01$  м,  $d_{сл} = 0,12$  м,  $t_4 = 81,9$ °С,  $t_5 = 70,9$ °С,  $Q = 22,3203$  Вт

Рассчитайте коэффициент теплопроводности покровного слоя по формуле 6 из методического пособия.

$$3. l = 1,012 \text{ м}, d_2 = 0,01 \text{ м}, d_{\text{сл}} = 0,15 \text{ м}, t_4 = 74,4^\circ\text{C}, t_5 = 64,2^\circ\text{C}, \\ Q = 26,0803 \text{ Вт}$$

Рассчитайте коэффициент теплопроводности покровного слоя по формуле 6 из методического пособия.

$$4. l = 1,146 \text{ м}, d_2 = 0,02 \text{ м}, d_{\text{сл}} = 0,2 \text{ м}, t_4 = 72,7^\circ\text{C}, t_5 = 64^\circ\text{C}, \\ Q = 41,3662 \text{ Вт}$$

Рассчитайте коэффициент теплопроводности покровного слоя по формуле 6 из методического пособия.

### Приложение

Физические параметры для сухого воздуха при давлении  $101325 \text{ Н/м}^2$

Таблица 3

T, K	$\lambda, \text{Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C}) \times 10^{-2}$	$\nu, \text{м}^2/\text{с} \times 10^6$	Pr
263	2,361	12,46	0,712
273	2,442	13,28	0,707
283	2,512	14,16	0,705
293	2,593	15,06	0,703
303	2,675	16,00	0,701
313	2,765	16,96	0,699
323	2,826	17,95	0,698
333	2,896	18,87	0,996
343	2,960	20,02	0,694
353	3,050	21,09	0,992
363	3,130	22,10	0,690

### Лабораторная работа №7

#### Исследование процессов во влажном воздухе

#### Цель работы

Целью настоящей работы является изучение свойств влажного воздуха и определение влажности воздуха, а также определение температуры «точки росы».

Для подготовки к работе необходимо изучить соответствующие разделы следующих литературных источников:

1. Тихомиров К.В. Теплотехника, теплогазоснабжение и вентиляция, 1974. §19.
2. Гусев В.Н. Теплоснабжение и вентиляция, 1975, §30.

#### Теоретические основы.

Температура и связанная с ней влажность воздуха помещений, а также температура внутренней поверхности наружных ограждений имеет большое санитарно-гигиеническое значение.

Для обеспечения нормальной терморегуляции человек должен отдавать тепло в окружающую среду. Тепло, отдаваемое телом человека, передается в окружающую среду: теплопроводностью, конвекцией, мочеиспусканием и через испарение влаги с поверхности тела. Любой из способов связан с температурой и влажностью окружающего воздуха. А температура на внутренних поверхностях ограждений должна обеспечивать невыпадение конденсата (росы) на поверхностях. Таким образом, для удовлетворения санитарно-гигиенических требований необходимо обеспечить температурный и влажностный режим бытовых и общественных помещений согласно нормативных требований при проектировании систем отопления, вентиляции и установок кондиционирования воздуха.

Рассмотрим свойства воздуха.

Окружающий нас атмосферный воздух является смесью газов. Он практически всегда

бывает влажным. Водяные пары могут находиться в воздухе как в перегретом, так и в насыщенном состоянии. Сухая часть воздуха обычно содержит 78% азота (по объему), около 21% кислорода и небольшое количество других газов. Содержание водяных паров в атмосферном воздухе определяется в основном его температурой. В большинстве случаев водяной пар в воздухе находится в перегретом состоянии, и такая пароводяная смесь может быть отнесена к идеальным газам подчиняющихся закону Дальтона: давление влажного воздуха (барометрическое давление для нашего случая) равно сумме парциальных давлений сухого воздуха и пара.

$$P_6 = P_{с.в} + P_{п}$$

Если температура влажного воздуха  $t$  больше температуры насыщенного воздуха  $t_s$ , соответствующей парциальному давлению пара, то пар в таком воздухе не насыщает пространство и является перегретым, такая смесь сухого воздуха с перегретым паром называется насыщенным воздухом. Если понижать температуру насыщенного воздуха, то может наступить такой момент, когда температура пара  $t_{п}$ , равная температуре влажного воздуха  $t$  окажется равной также и температуре насыщения  $t_{п} = t = t_s$ , а  $P_{п} = P_s$ . В этом случае пар во влажном воздухе оказывается сухим насыщенным. При дальнейшем охлаждении влажного воздуха пар начинает конденсироваться, т.е. будет наблюдаться образование тумана (выпадения росы).

Температура, равная температуре насыщения при парциальном давлении пара во влажном воздухе, называется температурой точки росы.

Основными характеристиками влажного воздуха являются следующие:

1. Относительная влажность воздуха  $\varphi$ , которая определяет степень насыщения воздуха водяным паром:

$$\varphi = \frac{\rho_{п}}{\rho_s} = \frac{P_{п}}{P_s} \quad (2)$$

$\rho_{п}, \rho_s$  - плотность пара соответственно ненасыщенного и насыщенного воздуха при одной и той же температуре.

$P_{п}, P_s$  - парциальные давления пара в ненасыщенном и насыщенном воздухе при одной и той же температуре.

Для насыщенного воздуха  $\varphi = 1$  и 100%, а для ненасыщенного влажного воздуха  $\varphi < 1$ .

Относительную влажность определяют с помощью прибора, называемого психрометром. Психрометр состоит из двух термометров, один из которых обернут батистовой тканью для постоянного смачивания резервуара термометра водой. С поверхности резервуара термометра постоянно происходит испарение влаги. Интенсивность испарения зависит от влажности и температуры окружающего воздуха: чем меньше насыщен влагой воздух, тем интенсивнее испарение «мокрого» термометра и ниже его показания, так как на испарение расходуется тепло. По показаниям сухого и «мокрого» термометров с помощью  $I-d$ - диаграммы можно определить относительную влажность воздуха.

2. Абсолютная влажность  $D$ , которая определяет массу водяного пара содержащегося в 1 м<sup>3</sup> влажного воздуха. Однако, чаще используют для характеристики воздуха понятие влагосодержания.

3. Влагосодержание воздуха  $d$  – есть отношение массы водяного пара (в граммах) к единице массы сухого воздуха

$$d = \frac{G_{п}}{G_{с.в}} \cdot 1000 \frac{\text{г}}{\text{кг с.в.}} \quad (3)$$

Выразив массы пара и сухого воздуха через их молекулярные массы, парциальные давления и относительную влажность получим:

$$d = \frac{\mu_{п} P_{п}}{\mu_{с.в} P_{с.в}} \cdot 1000 = \frac{18,016 P_{п}}{28,95 P_{с.в}} \cdot 1000 = 622 \frac{P_{п}}{P_6 - P_{п}} \quad (4)$$

$$\text{или } d = 622 \frac{\varphi \cdot P_s}{P_0 - \varphi \cdot P_s} \quad (5)$$

4.Теплосодержание влажного воздуха (энтальпия)  $I$  – есть количество тепла, содержащееся во влажном воздухе отнесенное к единице массы сухого воздуха. Энтальпия влажного воздуха равна сумме энтальпий сухого воздуха и водяного пара, Дж/кг.с.в.

$$I = I_{\text{с.в.}} + I_{\text{п}}$$

$$I = 1,0005t + (2500 + 1,8t) \frac{d}{1000} \quad (6)$$

На основе уравнений 4,5 и 6 проф. Л.К.Рамзиным в 1918 году была составлена  $I-d$ -диаграмма, широко используемая для расчетов связанных с изменением состояния влажного воздуха. Диаграмма имеется в указанных ранее литературных источниках, а также имеется на лабораторном стенде. Фрагменты диаграммы приведены на рисунках ниже.

Она построена (для лучшего использования площади диаграммы) в косоугольной системе координат.

По оси ординат отложены значения энтальпии  $I$ , по оси абсцисс, направленный под углом  $135^\circ$  к оси  $I$ , отложены значения влагосодержания  $d$  (рис.1). Для удобства значения влагосодержаний спроектировано на горизонтальную ось.

Поле диаграммы разбито линиями постоянных энтальпий  $I = \text{const}$  и влагосодержаний  $d = \text{const}$ . На него также нанесены линии постоянных значений температуры  $t = \text{const}$  и значений относительной влажности  $\varphi = \text{const}$ . В нижней части диаграммы расположена линия имеющая самостоятельную ось ординат. Она связывает в соответствии с выражением (4) влагосодержание  $d$ , с парциальным давлением пара. Ось ординат этого графика является шкала парциального давления водяного пара  $P_{\text{п}}$ .

Поле  $I-d$ -диаграммы разделено линией  $\varphi = 100\%$  на две части. Выше этой линии расположена область ненасыщенного воздуха. Линия  $\varphi = 100\%$  соответствует состоянию воздуха, насыщенного водяными парами. Ниже этой линии – область перенасыщенного воздуха (область тумана).

Каждая точка в поле диаграммы соответствует определенному тепловлажностному состоянию воздуха. Положение точки определенному тепловлажностному состоянию воздуха. Положение точки определены по  $I-d$ -диаграмме, как производные. Кроме того, можно определить температуру «точки росы»  $t_p$  и температура мокрого термометра  $t_m$ .

Температурой точки росы называется наименьшая температура до которой можно охладить воздух при сохранении его влагосодержания постоянным. Для получения этой температуры нужно на  $I-d$ -диаграмме (рис.2) от точки (А) соответствующей данному состоянию воздуха (например  $t$  и  $\varphi$ ) опуститься по линии  $d = \text{const}$  до пересечения с линией  $\varphi = 100\%$  (точка В)

Проходящая через точку пересечения (В) линия  $t = \text{const}$  будет соответствовать значению  $t_p$ .

Температура мокрого термометра равна температуре насыщенного водными парами воздуха при данной энтальпии. На  $I-d$ -диаграмме температура  $t_m$  соответствует линия  $t = \text{const}$  проходящая через точку пересечения линии  $I = \text{const}$  заданного состояния (А) с линией  $\varphi = 100\%$ . Точка (С) будет соответствовать значению  $t_m$ .

#### Задание

В настоящей работе по показаниям сухого и мокрого термометров  $t$  и  $t_m$  необходимо определить относительную влажность воздуха в лаборатории, его влагосодержание, энтальпию и температуру точки росы  $t_p$ , используя при этом  $I-d$ -диаграмму.

Для определения на диаграмме точки (А), характеризующее свойства влажного воздуха необходимо:

- 1) нанести на диаграмму точку (С) соответствующую значению  $t_M$ ; для этого найдем линию  $t=const$ , где  $t=t_M$ ; пересечение изотермы с линией  $\varphi=100\%$  дает искомую точку (С). (Рис.2)
- 2) состояние в  $I=const$ , исходящей из точки (С), с изотермой  $t=const$ , где  $t$  берется по показанию сухого термометра.

Для определения  $t_p$  находим точку (В). Она лежит на пересечении линий  $d=const$ , исходящей из точки (А), и линии  $\varphi=100\%$ . Изотерма  $t=const$ , проходящая через точку (В) даст нам значение  $t_p$ .

После определения всех параметров сделать выводы.

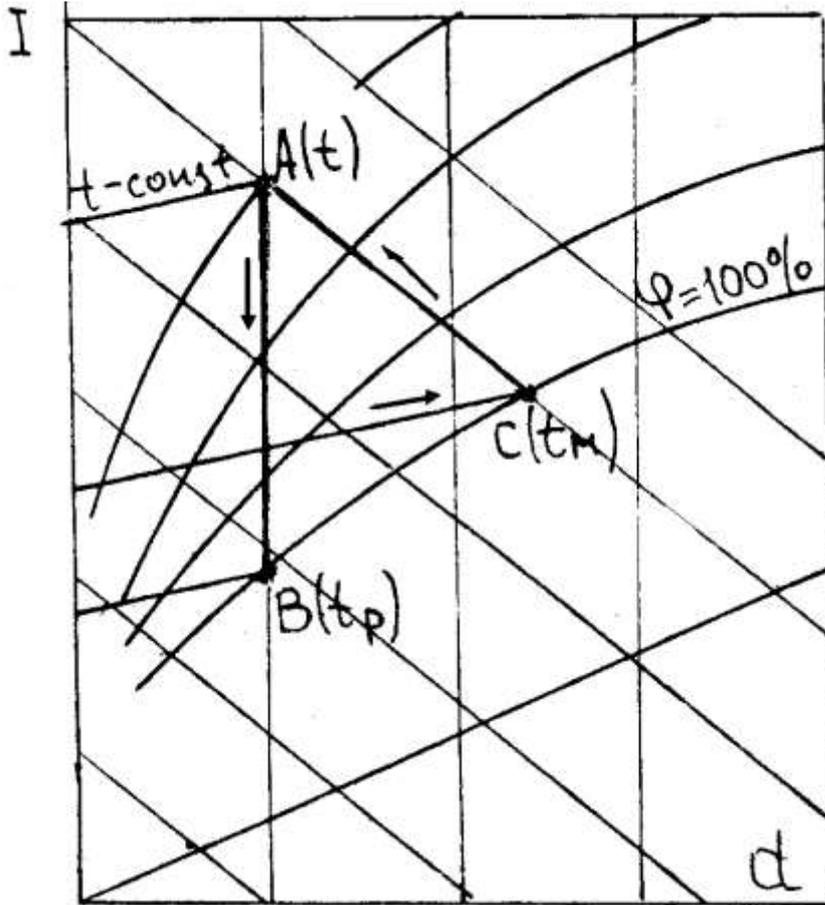


Рис. 2 Процесс обработки  $I$ - $d$ -диаграммы

## i-d диаграмма влажного воздуха

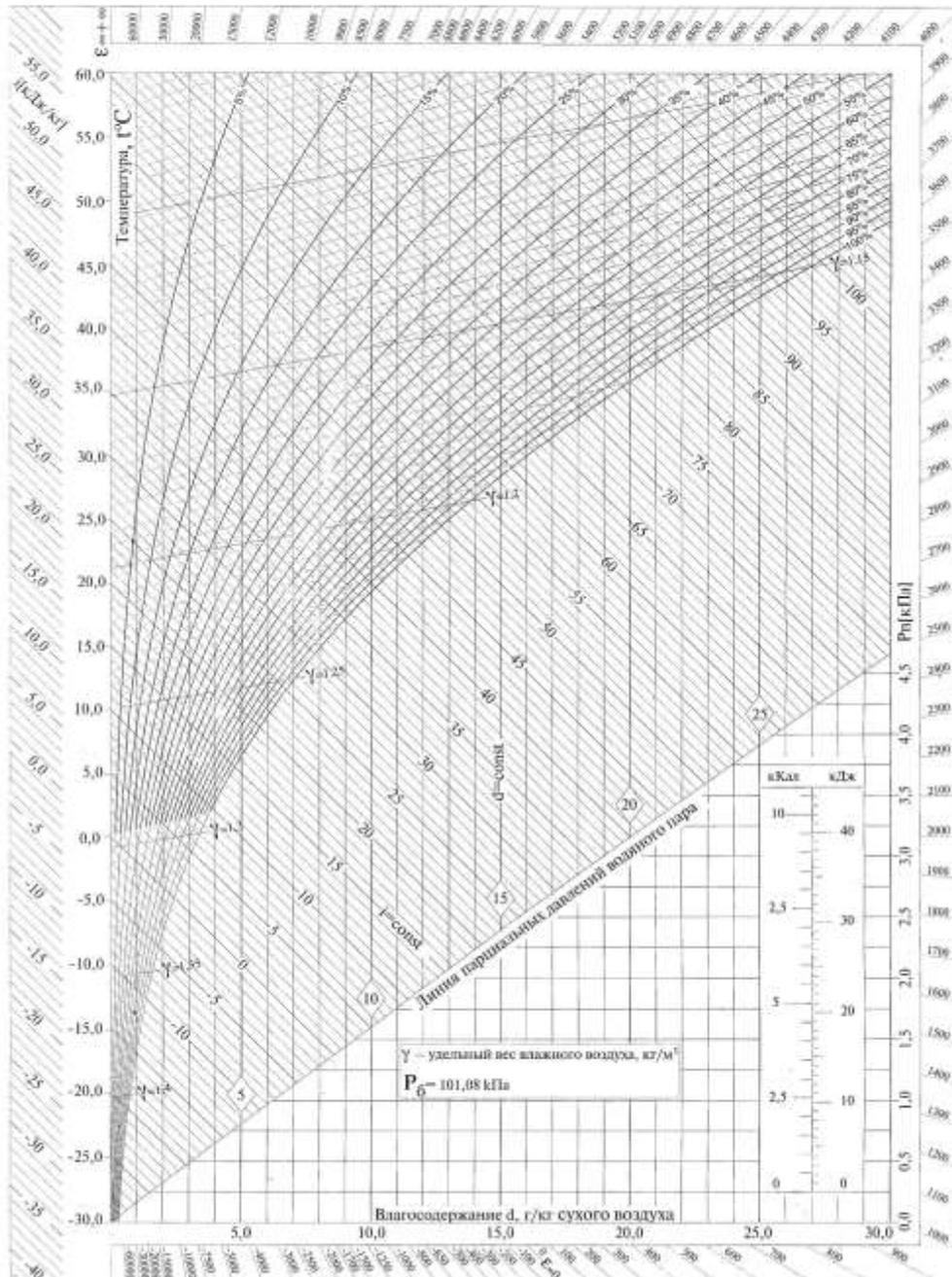


Рис 1. *i-d*-диаграмма влажного воздуха

Лабораторное занятие 8. Определение характеристик сопротивления для узлов систем поквартирного теплоснабжения.

Цель работы. Исследование влияния гидравлических сопротивлений замыкающего участка и подводок к отопительным приборам на величину коэффициента затекания.

Основы теории. Расход воды через прибор однотрубной системы отопления равен:

$$G_{\text{пр}} = \alpha \cdot G_{\text{ст}}, \quad (4.1)$$

где  $\alpha$  - коэффициент затекания теплоносителя в прибор;  $G_{\text{ст}}$  - расход воды, протекающей по стояку, кг/с.

Коэффициент затекания  $\alpha$  зависит от сопротивлений элементов приборного узла. На него оказывают влияние способ присоединения отопительных приборов к стояку; расположение замыкающего участка (осевой или смещённый); естественное давление в малом циркуляционном кольце, образованном отопительным прибором с ответвлениями к нему и замыкающим участком.

Коэффициент затекания  $\alpha$  определяет экономичность и эффективность работы системы отопления. Чем выше этот коэффициент, тем экономичнее система.

Проведение опыта:

Опыт проводится на установке. Расход теплоносителя  $G_{пр}$  через отопительный прибор определяется по показаниям счетчика при открытом замыкающем участке. Для определения расхода теплоносителя через стояк закрывают замыкающий участок. Эксперимент проводится при разных расходах воды через прибор, который устанавливается с помощью шарового крана.

Обработка полученных данных:

Опыт проводится на установке, схема и описание которой приведены на рис.3. Расход теплоносителя  $G_{пр}$  через отопительный прибор 4 определяется по показаниям счетчика 15. Для определения расхода теплоносителя через стояк №2 необходимо из показаний счетчика 10 вычесть показания счетчиков 11 и 13. Эксперимент проводится при разных расходах воды через прибор, который устанавливается с помощью шарового крана 15.

Результаты замеров и расчетов сводятся в табл. 4.1 и представляются в виде графической зависимости коэффициента затекания от скорости воды в стояке  $\alpha = \alpha(v)$  или  $\alpha = \alpha(Re)$ .

Таблица 4.1

Номер опыта	$G_{пр}$ кг/с	$G_{10}$ кг/с	$G_{11}$ кг/с	$G_{13}$ кг/с	$G_{ст}$ кг/с	$\alpha$	$v$ м/с
1	2	3	4	5	6	7	8

Лабораторное занятие 9. Определение удельной тепловой характеристики зданий различной формы.

Цель работы. Опытное определение влияния конфигурации и размеров здания на его удельную тепловую характеристику.

Основы теории. Удельная тепловая характеристика здания является показателем его теплотехнических качеств. Она представляет собой величину потерь тепла единицей объема здания в единицу времени при разности температур между внутренним и наружным воздухом в один градус:

$$q = \frac{Q}{V \cdot (t_{в} - t_{н})} \quad (1.1)$$

где  $Q$  – расчетные потери через наружные ограждения всеи помещениями здания, Вт;

$V$  – объем отапливаемого здания по наружному обмеру, м<sup>3</sup>;

$t_{в} - t_{н}$  – расчетная разность температур для основных помещений здания, °С.

Опытное определение  $q$  проводится обычно на уменьшенной модели здания. Теплотери для рассматриваемого здания  $Q$  и его модели  $Q_m$  связаны между собой соотношением

$$Q = Q_m \cdot \frac{\sum k \cdot F \cdot (t_{в} - t_{м})}{\sum k_m \cdot F_m \cdot (t_{в} - t_{м})'} \quad (1.2)$$

где  $F$  и  $F_M$ ,  $k$  и  $k_M$  - соответственно площади и коэффициенты теплопередачи наружных ограждений здания и модели,  $m^2$  и  $Вт/m^2 \cdot C$ ;

$t_M$  – среднее значение температуры теплоносителя и модели, определяемое в опыте, °C.

Т.к.  $\frac{\sum k_M \cdot F_M}{\sum k \cdot F} = M_K \cdot M^2$ , то потери здания определяются как

$$Q = \frac{Q_M \cdot (t_B - t_H)}{M_K \cdot M^2 \cdot (t_M - t_B)} \quad (1.3)$$

где  $M$  – линейный масштаб модели,  $M_K$  – масштаб коэффициентов теплопередачи.

#### Описание экспериментальной установки:

Стенд, элементом которого является модельная установка, представлен на рис.1.

В данной работе модельное исследование проводится для четырех конфигураций здания, представляющих в плане квадрат, круг, вытянутый прямоугольник, угловую конфигурацию. Модели имеют одинаковый объем  $V_M$  0,0125 м<sup>3</sup> по наружному обмеру, но разную поверхность  $F_M$ . Отношение площади наружной поверхности к объему для изучаемых моделей приведены в таблице 1.

Линейный масштаб моделей  $M$  1:200. Масштаб коэффициентов теплопередачи  $M_K$  10:1.

таблица 1.

№ модели	1	2	3	4
$F_M/V_M, m^{-1}$	26	24	32	32

Нагретая в котле вода насосом подается в общий коллектор. Из коллектора горячая вода поступает в объемные модели. Слив воды из моделей осуществляется в канализацию.

#### Проведение опыта:

Групповую установку моделей зданий заполняют котловой водой. Температура фиксируется через каждые пять минут – всего необходимо произвести не менее шести замеров. Показания термодатчиков и термометра, служащего для измерения температуры окружающего воздуха, записываются в таблицу.

Обработка полученных данных:

Потери тепла для модели определяются по формуле:

$$Q_M = \frac{c \cdot G \cdot (t_{M1} - t_{M6})}{(\tau_6 - \tau_1) \cdot 60} \quad (1.4)$$

где  $c$  – теплоемкость воды, Дж/кг°C,  $G$  – масса воды в модели, кг;  $\tau_1$  и  $\tau_6$  – соответственно начальное и конечное время измерений.

таблица 2.

№ опыта	Время измерения $\tau$ , мин	Температура воды в моделях, °C				Температура окружающего воздуха $t_B$ , °C
		1	2	3	4	
1	2	3	4	5	6	7
Среднее значение $t_M$ и $t_B$ , °C						

Зная  $Q_m$  можно определить потери тепла моделируемых зданий. Определив  $Q$ , находятся удельные тепловые характеристики рассматриваемых зданий. Удельные тепловые характеристики определяются для  $t_n = -10\text{ }^\circ\text{C}$ ;  $-20\text{ }^\circ\text{C}$ ;  $-30\text{ }^\circ\text{C}$  и представляются графической зависимостью  $q=q(F/V)$ .

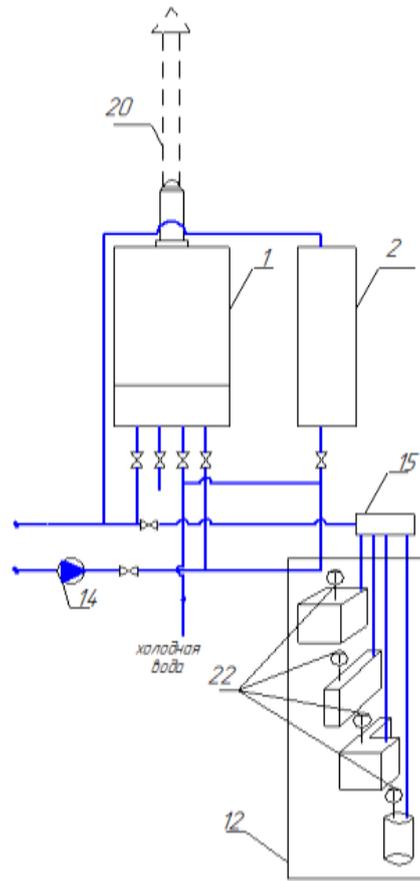


Рис.1. Модельная установка:

1- настенный газовый котел “Ariston 23-M1”; 2- электроприбор отопительный “Эван С1-5”; 12- групповая установка моделей зданий; 14- насос; 15- коллектор; 20- дымоход; 22- блок устройств для измерения и контроля температур

Лабораторное занятие 10. Регулирование теплоотдачи отопительных приборов.

Цель работы. Определение зависимости теплоотдачи отопительных приборов от температуры и расхода воды.

Основы теории. Коэффициент теплопередачи  $\kappa_{пр}$  характеризует интенсивность переноса тепла от теплоносителя в отапливаемое помещение через стенки отопительного прибора.

$\kappa_{пр}$  определяют, обычно, совместным решением уравнения теплового баланса:

$$Q_{пр} = c \cdot G_{пр} (t_{вх} - t_{вых}); \quad (1)$$

и уравнения теплопередачи:

$$Q_{пр} = \kappa_{пр} A_{пр} (t_{ср} - t_{в}), \quad (2)$$

где  $c$  - удельная массовая теплоемкость воды, равная  $c = 4187 \text{ Дж/кг } ^\circ\text{C}$ ;

$G_{пр}$  - количество теплоносителя, проходящего через отопительный прибор, кг/с;

$t_{вх}$ ,  $t_{вых}$ ,  $t_{в}$  - соответственно температура воды на входе и выходе из отопительного прибора и воздуха в помещении,  $^\circ\text{C}$ ;  $A_{пр}$  - площадь теплоотдающей поверхности отопительного прибора,  $\text{м}^2$ ;  $t_{ср}$  - средняя температура воды в отопительном приборе,  $^\circ\text{C}$ .

$$t_{\text{ср}} = 0,5(t_{\text{вх}} + t_{\text{вых}}) \quad (3)$$

Из (1) и (2) коэффициент теплопередачи отопительного прибора определяется как

$$K_{\text{пр}} = \frac{c \cdot G_{\text{пр}} (t_{\text{вх}} - t_{\text{вых}})}{A_{\text{пр}} \left( \frac{(t_{\text{вх}} + t_{\text{вых}})}{2} - t_{\text{в}} \right)} \quad (4)$$

Важным показателем теплотехнической эффективности отопительного прибора является величина удельного теплового потока

$$q_{\text{пр}} = K_{\text{пр}} \cdot \Delta t_{\text{ср}} \quad (5)$$

Здесь:

$$\Delta t_{\text{ср}} = \frac{t_{\text{вх}} + t_{\text{вых}}}{2} - t_{\text{в}} \quad (6)$$

Одной из экономических характеристик отопительного прибора является показатель теплового напряжения металла прибора

$$m = \frac{Q_{\text{пр}}}{\Delta t_{\text{ср}} \cdot M} \quad (7)$$

где  $\Delta t_{\text{ср}} = t_{\text{ср}} - t_{\text{в}}$  - разность между средней температурой теплоносителя и температурой окружающей среды  $^{\circ}\text{C}$ ;  $M$  - масса отопительного прибора, кг.

Чем больше  $m$ , тем более экономичен прибор по расходу металла.

Проведение опытов. Схема стенда для испытания отопительных приборов приведена на рис. 3. Первоначально система отопления заполняется холодной водой при следующем положении запорно-регулирующей арматуры: шаровые краны 14, 15, 16, 18, 19, 20 – открыты, а 21, 22 – закрыты. Воздух удаляется из системы с помощью автоматического воздухоотводчика 9. Заполнив систему теплоносителем, включают генератор тепла 1 и циркуляционный насос 8. Горячая вода по подающему магистральному теплопроводу 2 поступает в отопительные приборы: низкий конвектор «Уют» 3, секционный радиатор «Cahdor Super» 4, стальной панельный радиатор «Radson» 5. Проходя отопительные приборы, горячая вода отдает часть теплоты воздуху помещения. Охлажденная вода из приборов движется по обратному магистральному теплопроводу 6 в электроркотел 1. Значения температур воды на входе  $t_{\text{вх}}$  и выходе  $t_{\text{вых}}$  из приборов фиксируются с помощью датчиков 23, 24, 25. Расход теплоносителя через отопительные приборы  $G_{\text{пр}}$  определяются по показаниям счетчиков 11, 12, 13.

Постоянство расхода воды в системе отопления обеспечивается неизменным уровнем воды в закрытом расширительном баке 7.

Испытания приборов проводятся только при установившемся режиме.

Температуру воздуха в помещении измеряют термометром на расстоянии 2 м от фронта отопительного прибора и на уровне 1,5 м от пола.

Определив экспериментальные значения  $t_{\text{вх}}$ ,  $t_{\text{вых}}$ ,  $G_{\text{пр}}$  по формулам (4), (5), (6) рассчитывают, соответственно, коэффициент теплопередачи  $K_{\text{пр}}$ , плотность теплового потока  $q_{\text{пр}}$  и тепловую напряженность металла  $m$  для каждого типа отопительного прибора.

Измерения проводятся при 3-4 значениях расхода воды через приборы, который устанавливается регулирующими клапанами 13, 14, 15 и 3-4 значениях температуры горячей воды в системе, величина которой устанавливается на пульте управления электроркотла.

Результаты измерений и вычислений заносятся в табл. 3.1 и представляются в виде графиков  $\kappa_{\text{пр}} = \kappa(G_{\text{пр}}, t_{\text{ср}})$ ,  $q_{\text{пр}} = q(G_{\text{пр}}, t_{\text{ср}})$ .

Таблица 1

№ Опы-та	Тип отопи-тельного прибора	$A_{\text{пр}}$ , м <sup>2</sup>	$M$ , кг	$t_{\text{вх}}$ , °C	$t_{\text{вых}}$ , °C	$G_{\text{пр}}$ , кг/с	$\kappa_{\text{пр}}$ , Вт/м <sup>2</sup> ·°C	$q_{\text{пр}}$ , Вт/м <sup>2</sup>	$m$ , Вт/кг·°C
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

По данным табл. 1 дается сравнительная оценка характеристик исследованных типов отопительных приборов.

Лабораторное занятие 11. Определение КПД тепловой изоляции.

Цель работы. Оценка влияния изоляции на теплотери отопительных труб.

При перемещении теплоносителей по трубам, проложенным в неотапливаемых помещениях, может значительно понизиться температура горячей воды (водяное отопление) и бесполезно сконденсироваться часть пара (паровое отопление). Для уменьшения бесполезных теплотерь отопительные трубы в неотапливаемых помещениях покрывают тепловой изоляцией.

Основы теории. При перемещении теплоносителей по трубам, проложенным в неотапливаемых помещениях, может значительно понизиться температура горячей воды (водяное отопление) и бесполезно сконденсироваться часть пара (паровое отопление). Для уменьшения бесполезных теплотерь отопительные трубы в неотапливаемых помещениях покрывают тепловой изоляцией.

Всякое покрытие горячей поверхности, которое способствует снижению потерь тепловой энергии в окружающую среду, называется тепловой изоляцией. Для тепловой изоляции могут быть использованы любые материалы с низким коэффициентом теплопроводности (газы, пористые материалы, асбест, пробка, стекловата, опилки и другие).

Качество тепловой изоляции оценивается коэффициентом полезного действия:

$$\eta_{\text{из}} = \frac{Q_{\text{пр}} - Q_{\text{из}}}{Q_{\text{из}}}, \quad (2.1)$$

где  $Q_{\text{пр}}$  и  $Q_{\text{из}}$  - теплотери неизолированной и изолированной трубами, соответственно, Вт.

Толщина слоя тепловой изоляции  $\delta_{\text{из}}$  определяется исходя из его термического сопротивления:

$$R_{\text{из}} = \frac{\delta_{\text{из}}}{\lambda_{\text{из}}}, \quad (2.2)$$

где  $\lambda_{\text{из}}$  - коэффициент теплопроводности материала изоляции, Вт/м·°C.

Величина  $R_{\text{из}}$  должна быть не менее 0,86 м<sup>2</sup>·°C/Вт для труб  $d_y \leq 25$  мм и 1,22 м<sup>2</sup>·°C/Вт для труб  $d_y > 25$  мм.

Теплотери, вызванные теплоотдачей с поверхности трубопровода, определяются изменением энтальпии теплоносителя

$$Q = cG(t_1 - t_2) \quad (2.3)$$

где  $c$  - удельная теплоемкость теплоносителя, Дж/кг·°C,  $G$  - расход теплоносителя, кг/с,  $t_1$  и  $t_2$  - температуры в начале и конце рассматриваемого участка трубы, °C.

Описание экспериментальной установки:

Сравнительное исследование изолированного и неизолированного трубопроводов проводится на лабораторном стенде, схема которого приведена на рис 1. Исследуемый контур состоит: регистр трубный изолированный (8), регистр трубный неизолированный (9), настенный теплообменный аппарат (6), расширительный бачок (7), фрагмент «теплый пол» (10), насос(14).

Проведение опыта:

Измеряется расход теплоносителя в контуре. Для этого необходимо весь поток теплоносителя пропустить через расходомер. После в контур включается изолированный трубный регистр. Снимаются показания измерителей температуры. После того, как получено достаточно показаний, изолированный трубный регистр отключают от контура. Включают в контур неизолированный регистр и снимают показания измерителей температуры.

Показания расходомера и измерителей температуры записываются в таблицу 3.

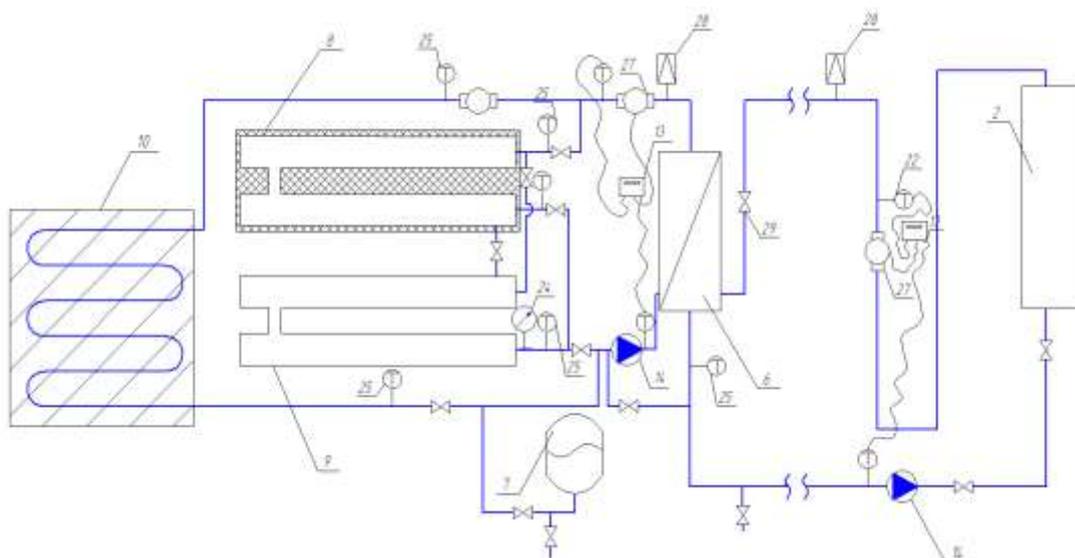
*таблица 3.*

№ опыт	Расход $G, кг$	Неизолированная труба			Изолированная труба			$\eta$
		$Q, Вт$	$t_1, ^\circ C$	$t_2, ^\circ C$	$Q, Вт$	$t_1, ^\circ C$	$t_2, ^\circ C$	

Обработка результатов:

По средним значениям расхода  $G$  и температур  $t_1$  и  $t_2$  рассчитывается  $Q$  для обоих регистров и определяется  $\eta$ .

Рис. 1



### 3. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

#### 3.1. Рекомендуемая основная литература

№	Название
1.	Кононова М.С. Теплогазоснабжение с основами теплотехники [Электронный ресурс] : учебно-методическое пособие / М.С. Кононова, Ю.А. Воробьева. — Электрон. текстовые данные. — Воронеж: Воронежский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ, 2014. — 60 с. — 978-5-89040-497-8. — Режим доступа: <a href="http://www.iprbookshop.ru/30850.html">http://www.iprbookshop.ru/30850.html</a>
2.	Жерлыкина М.Н. Системы обеспечения микроклимата зданий и сооружений [Электронный ресурс] : учебное пособие / М.Н. Жерлыкина, С.А. Яременко. — Электрон. текстовые данные. — Воронеж: Воронежский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ, 2013. — 162 с. — 978-5-89040-459-6. — Режим доступа: <a href="http://www.iprbookshop.ru/22669.html">http://www.iprbookshop.ru/22669.html</a>

#### 3.2. Рекомендуемая дополнительная литература

№	Название
2.	Теплогазоснабжение населенных мест и предприятий [Электронный ресурс] : учебное пособие для студентов 2-4 курсов бакалавриата направлений 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника», 07.03.04 «Градостроительство», 08.03.01 «Строительство» и магистрантов направлений 13.04.01 «Теплоэнергетика и теплотехника», 07.04.04 «Градостроительство», 08.04.01 «Строительство» всех форм обучения / . — Электрон. текстовые данные. — Воронеж: Воронежский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ, 2017. — 89 с. — 978-5-7731-0515-2. — Режим доступа: <a href="http://www.iprbookshop.ru/72948.html">http://www.iprbookshop.ru/72948.html</a>
3.	Обеспечение параметров микроклимата в помещениях зданий [Электронный ресурс] : методические указания к практическим занятиям / . — Электрон. текстовые данные. — Нижний Новгород: Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ, 2012. — 44 с. — 2227-8397. — Режим доступа: <a href="http://www.iprbookshop.ru/16028.html">http://www.iprbookshop.ru/16028.html</a>
4.	Меденцова Н.Л. Отопление [Электронный ресурс] : учебное пособие / Н.Л. Меденцова. — Электрон. текстовые данные. — Новосибирск: Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин), ЭБС АСВ, 2013. — 129 с. — 978-5-7795-0651-9. — Режим доступа: <a href="http://www.iprbookshop.ru/68812.html">http://www.iprbookshop.ru/68812.html</a>
6.	Методические указания к курсовой работе «Отопление и вентиляция зданий» для студентов очной, очно-заочной и заочной формы обучения по направлению подготовки 270800.62 «Строительство» [Электронный ресурс] / . — Электрон. текстовые данные. — Липецк: Липецкий государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2014. — 29 с. — 2227-8397. — Режим доступа: <a href="http://www.iprbookshop.ru/55638.html">http://www.iprbookshop.ru/55638.html</a>
7.	СП 60.13330.2012 Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Актуализированная редакция СНиП 41-01-2003.

#### 3.3. Программное обеспечение, профессиональные базы данных и информационные справочные системы, интернет-ресурсы

№	Перечень
1.	Пакет офисных программ Microsoft Office
2.	Пакет офисных программ OpenOffice
3.	Операционная система Windows
4.	Autodesk, Autocad, Revit, Autodesk 3ds Max
5.	Профессиональная справочная система «Техэксперт»

1.	Научная библиотека ЧувГУ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <a href="http://library.chuvsu.ru">http://library.chuvsu.ru</a>
2.	Электронно-библиотечная система IPRBooks [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <a href="http://www.iprbookshop.ru">http://www.iprbookshop.ru</a>
3.	Электронная библиотечная система «Юрайт»: электронная библиотека для вузов и ссузов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <a href="https://www.biblio-online.ru">https://www.biblio-online.ru</a>
4.	ЭБС «Издательство «Лань» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <a href="https://e.lanbook.com/">https://e.lanbook.com/</a>
1.	Минстрой России <a href="http://www.minstroyrf.ru/docs/">http://www.minstroyrf.ru/docs/</a>
2.	Министерство строительства, архитектуры и жилищно-коммунального хозяйства Чувашской Республики <a href="http://minstroy.cap.ru/about">http://minstroy.cap.ru/about</a>
3.	Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии (Росстандарт) <a href="http://www.gost.ru">www.gost.ru</a>
4.	Образовательное сообщество Autodesk <a href="http://www.autodesk.ru/adsk/servlet/pc/index?siteID=871736&amp;id=18409945">http://www.autodesk.ru/adsk/servlet/pc/index?siteID=871736&amp;id=18409945</a>
5.	Единое окно к образовательным ресурсам [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <a href="http://window.edu.ru">http://window.edu.ru</a>
6.	Российская государственная библиотека [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <a href="http://www.rsl.ru">http://www.rsl.ru</a>
7.	Российская национальная библиотека [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <a href="http://www.nlr.ru">http://www.nlr.ru</a>
8.	Научная электронная библиотека «Киберленинка» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <a href="http://cyberleninka.ru">http://cyberleninka.ru</a>
9.	Сайт для проектировщиков <a href="http://www.dwg.ru">www.dwg.ru</a>