

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»

Кафедра «Экология и рациональное использование водных ресурсов»

А. Б. НЕВЗОРОВА, О. К. НОВИКОВА, А. В. ТЕРЕЩЕНКО

**ИНЖЕНЕРНЫЕ СЕТИ
И ОБОРУДОВАНИЕ
(ОТОПЛЕНИЕ И ВЕНТИЛЯЦИЯ)**

Лабораторный практикум

Гомель 2010

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»

Кафедра «Экология и рациональное использование водных ресурсов»

А. Б. НЕВЗОРОВА, О. К. НОВИКОВА, А. В. ТЕРЕЩЕНКО

ИНЖЕНЕРНЫЕ СЕТИ И ОБОРУДОВАНИЕ (ОТОПЛЕНИЕ И ВЕНТИЛЯЦИЯ)

Лабораторный практикум

*Одобен советом строительного факультета
и факультета безотрывного обучения*

Гомель 2010

УДК 621.1(075.8)
ББК 31.3
Н40

Рецензент – главный специалист отдела ТКВ КПИУП «Институт
ГОМЕЛЬОБЛСТРОЙПРОЕКТ» Е. А. Дворкин.

Невзорова, А. Б.

Н40 Инженерные сети и оборудование (отопление и вентиляция) : лаб.
практ. / А. Б. Невзорова, О. К. Новикова, А. В. Терещенко ; М-во
образования Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т. трансп. – Гомель :
БелГУТ, 2010. – 35 с.
ISBN 978-985-468-749-0

Приведены краткие сведения из теории, описание экспериментальных установок и порядок выполнения лабораторных работ по изучению теплопроводности материала, теплового пункта, определению параметров микроклимата помещений, влажности воздуха, площади рекуперативного теплообменного аппарата и коэффициента теплопередачи отопительного прибора.

Предназначен для студентов дневной и безотрывной форм обучения, изучающих дисциплину «Инженерные сети и оборудование», специальностей 1-70 01 02 – ПГС, 1-70 02 02 – ЭиУН

УДК 621.1(075.8)
ББК 31.3

ISBN 978-985-468-749-0 © Невзорова А. Б., Новикова О. К., Терещенко А. В., 2010
© Оформление. УО «БелГУТ», 2010

ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Цель лабораторного практикума – закрепление студентами материала лекционного курса, развитие навыков самостоятельной работы с приборами при проведении теплотехнических экспериментов, обучение методам определения теплофизических свойств рабочего тела и проведению расчетов, экспериментальная проверка известных теоретических положений или установления новых зависимостей, а также умению делать выводы на основании полученных результатов.

В учебных целях лабораторный практикум проводится по темам курсов, где, кроме знаний, требуется приобретение практического умения и навыков. Иными словами, основная цель лабораторного практикума – самостоятельная работа студентов, результатом которой является закрепление теоретических знаний и приобретение практических умений:

- в области частной терминологии и определений, обработки результатов измерений;
- по методам измерений, по метрологическим показателям измерительных приборов, по принципу действия, устройству экспериментальных установок, оборудования, измерительных приборов;
- делать выводы, проводить аналогии и сопоставления.

Отчет по каждой лабораторной работе должен содержать установки и схему измерений с указанием характеристик используемых средств измерения, оформленный протокол испытаний, результаты обработки экспериментальных данных (графики, таблицы) и их анализ (вывод), включая оценку погрешности измерений, выводы по работе.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ИЗОЛЯЦИОННОГО МАТЕРИАЛА МЕТОДОМ «ТРУБЫ»

Цель работы. Определить теплопроводность изоляционного материала по методу «трубы».

Краткие сведения из теории

Метод «трубы» основан на законе теплопроводности цилиндрической стенки, согласно которому мощность теплового потока, Вт, определяется по формуле

$$Q = \frac{2\pi\lambda(t_1 - t_2)l}{\ln(d_2/d_1)}, \quad (1)$$

где λ – коэффициент теплопроводности испытуемого материала, Вт/м·°С;
 t_1, t_2 – средние температуры внутренней и наружной поверхностей цилиндрического слоя материала, °С;

l – длина трубы, м;

d_1 и d_2 – внутренний и наружный диаметры цилиндрического слоя, м.

Из уравнения (1) определим теплопроводность

$$\lambda = \frac{Q \ln(d_2/d_1)}{2\pi(t_1 - t_2)l}. \quad (2)$$

Оборудование и приборы

Установка для экспериментального определения теплопроводности приведена на рисунке 1. Основной частью установки является стальная труба 1, к торцам которой приварены фланцы, а внутри установлен нагреватель 2 мощностью 0,5 кВт при напряжении 220 В. Нихромовая проволока 3 нагревателя диаметром 0,5 мм намотана на фарфоровую трубу диаметром 38 мм. Нагреватель включается через ЛАТР 4, что позволяет регулировать количество выделяемой теплоты и изменять температурный режим. Материал 5 (90 % асбеста и 10 % цемента), теплопроводность которого определяется, уложен на поверхность стальной трубы между фланцами. Длина цилиндра из исследуемого материала $l = 1,05$ м, внутренний диаметр $d_1 = 0,08$ м, наружный $d_2 = 0,12$ м. Температура наружного (t_1', t_1'') и внутреннего слоев материала (t_2', t_2''), расстояние между которыми 20 мм, замеряется при помощи термометров.

Количество теплоты, выделяемое в нагревателе, определяется по показаниям амперметра 6 и вольтметра 7. Тепло в стационарных условиях эксперимента будет передаваться через поверхность исследуемого материала в окружающую среду. Теплопередачей через торцовые поверхности трубы можно пренебречь.

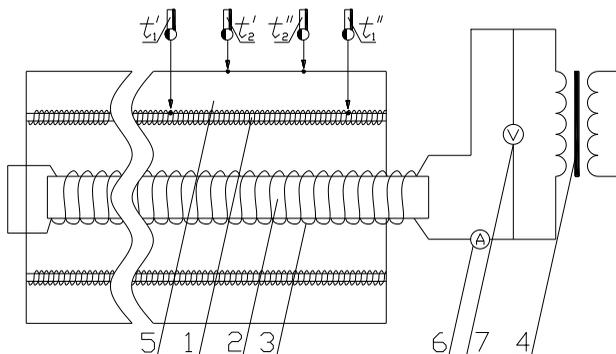


Рисунок 1 – Схема опытной установки для определения коэффициента теплопроводности методом «трубы»

Порядок выполнения работы

1 Включить установку и установить мощность нагревателя согласно указаниям преподавателя или лаборанта, добиться установившегося режима передачи тепла (5–10 минут).

2 Подготовить таблицу 1 для опытных данных.

3 Периодически, с интервалом в 5 минут, контролировать тепловое состояние испытуемого образца путём регистрации показаний термометров, при изменении силы тока. Результаты занести в таблицу 1.

Таблица 1 – Таблица опытных данных

Номер опыта	Сила тока I , А	Напряжение U , В	Температура внутреннего слоя, °С		Температура наружного слоя, °С	
			t_1'	t_1''	t_2'	t_2''
1						
2						
3						
4						

4 Обработать опытные данные и определить следующие величины:

– мощность теплового потока $Q=IU$;

– среднюю температуру внутреннего слоя;

- среднюю температуру наружного слоя;
- среднюю температуру изоляционного материала;
- теплопроводность изоляционного материала по формуле (2).

5 Результаты расчетов свести в таблицу 2.

Таблица 2 – Результаты расчета

Номер опыта	Q, Вт	t_1	t_2	t_{cp}	λ , Вт/(м·°C)
		°C			
1					
2					
3					
4					

Содержание отчета

- 1 Схема опытной установки.
- 2 Расчет одного из опытов.
- 3 Оформление таблицы опытных и расчетных данных.
- 4 График изменения теплопроводности от средней температуры изоляционного материала $\lambda = f(t_{cp})$.
- 5 Анализ результатов лабораторной работы.

Контрольные вопросы

- 1 Дать определение теплопроводности.
- 2 Указать факторы, влияющие на величину теплопроводности.
- 3 Каковы законы изменения температуры по толщине плоской и цилиндрической стенки?
- 4 Как определить термическое сопротивление плоской стенки?

Лабораторная работа № 2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВЛАЖНОГО ВОЗДУХА

Цель работы. На примере смеси идеальных газов с водяным паром с помощью аналитических выражений, практических измерений и таблиц определить параметры влажного воздуха.

Краткие сведения из теории

Знание свойств влажного воздуха имеет очень большое значение при оценке микроклимата рабочих помещений, при расчете калориферов, кондиционеров, сушильных установок и других устройств, в которых происходят процессы испарения воды в воздухе. Атмосферный воздух практически никогда не бывает совершенно сухим. В нем всегда имеется некоторое количество влаги, чаще всего в виде водяного пара. Такая газообразная смесь называется **влажным воздухом**.

Так как расчеты, связанные с влажным воздухом, выполняют, как правило, при давлениях, близких к атмосферному, и парциальное давление пара в нем мало, то без большой погрешности можно применять закономерности, полученные для идеальных газов и для смеси идеальных газов, связывая параметры влажного воздуха, т. е. можно использовать уравнение состояния

$$PV = RT \quad \text{или} \quad \rho = \frac{P}{RT} \quad (1)$$

и закон Дальтона

$$P = P_{\text{п}} + P_{\text{в}}, \quad (2)$$

где P – давление влажного воздуха, кПа;

V – удельный объем влажного воздуха, кг/м³;

R – удельная газовая постоянная влажного воздуха;

T – температура влажного воздуха, °С;

ρ – плотность влажного воздуха, кг/м³;

$P_{\text{п}}$ – парциальное давление пара, кПа;

$P_{\text{в}}$ – парциальное давление воздуха, кПа.

Абсолютной влажностью воздуха называют отношение массы водяного пара, содержащегося во влажном воздухе, к его объему:

$$\rho = \frac{M}{V_{\text{в.в}}}, \quad (3)$$

где M – масса водяного пара, кг;

$V_{\text{в.в}}$ – объем влажного воздуха, м³.

Из формулы (3) следует, что абсолютная влажность численно равна плотности пара при его парциальном давлении и температуре воздуха.

Относительной влажностью воздуха называют отношение плотности пара при его парциальном давлении к плотности сухого насыщенного пара при одной и той же температуре, что соответствует отношению абсолютной

влажности к максимально возможной абсолютной влажности при той же температуре:

$$\varphi = \frac{\rho_a}{\rho_c}, \quad (4)$$

где φ – относительная влажность, %;

ρ_a – абсолютная влажность, кг/м³;

ρ_c – плотность сухого насыщенного пара, кг/м³.

Если $\rho_a = \rho_c$, то плотность пара достигает максимального значения ρ_{\max} , а относительная влажность $\varphi = 100$ %.

Из уравнения состояния (1) абсолютная влажность

$$\rho_a = \frac{P_{\text{п}}}{RT}, \quad (5)$$

а максимально возможная абсолютная влажность воздуха при той же температуре

$$\rho_c = \frac{P_{\text{п max}}}{RT}, \quad (6)$$

где $P_{\text{п}}$ – действительное парциальное давление пара, Па;

$P_{\text{п max}}$ – максимально возможное давление (парциальное) при той же температуре, Па;

R – удельная газовая постоянная водяного пара.

Таким образом, относительную влажность воздуха можно определить и как отношение действительного парциального давления пара к максимально возможному парциальному давлению пара при той же температуре

$$\varphi = \frac{P_{\text{п}}}{P_{\text{п max}}}. \quad (7)$$

Парциальное давление пара по сравнению с барометрическим давлением воздуха незначительно, поэтому обычное состояние водяного пара в воздухе – перегретый пар.

Температурой точки росы t_p называется температура воздуха, которая в изобарном процессе охлаждения равна температуре насыщения при данном парциальном давлении.

Паровым влагосодержанием d называют отношение массы пара $M_{\text{п}}$, к массе сухого воздуха $M_{\text{в}}$, что соответствует отношению их массовых долей:

$$d = \frac{M_{\text{п}}}{M_{\text{в}}} = \frac{q_{\text{п}}}{q_{\text{в}}}. \quad (8)$$

Массовые доли $q_{\text{п}}$ и $q_{\text{в}}$ можно выразить через молярные доли χ

$$q_{\text{п}} = \chi_{\text{п}} \frac{\mu_{\text{п}}}{\mu}, \quad (9)$$

$$q_{\text{в}} = \chi_{\text{в}} \frac{\mu_{\text{в}}}{\mu}, \quad (10)$$

где $\mu_{\text{п}}$ – молярная масса пара, $\mu_{\text{п}} = 18,016$ г/моль;

μ – молярная масса влажного воздуха, г/моль;

$\mu_{\text{в}}$ – молярная масса сухого воздуха, $\mu_{\text{в}} = 28,95$ г/моль.

Таким образом, учитывая, что молярные доли равны объёмным долям $\chi_{\text{п}} = r_{\text{п}}$, $\chi_{\text{в}} = r_{\text{в}}$ паровое влагосодержание d , кг/кг,

$$d = \frac{\mu_{\text{п}} r_{\text{п}}}{\mu_{\text{в}} r_{\text{в}}} = 0,622 \frac{r_{\text{п}}}{r_{\text{в}}} = 0,622 \frac{P_{\text{п}}}{P - P_{\text{п}}}. \quad (11)$$

Из выражения (11) следует:

$$P_{\text{п}} = \frac{d}{0,622 + d} P. \quad (12)$$

Энтальпия влажного воздуха I , кДж/кг, определяется по формуле:

$$I = t + 0,001(2500 + 1,93t)d, \quad (13)$$

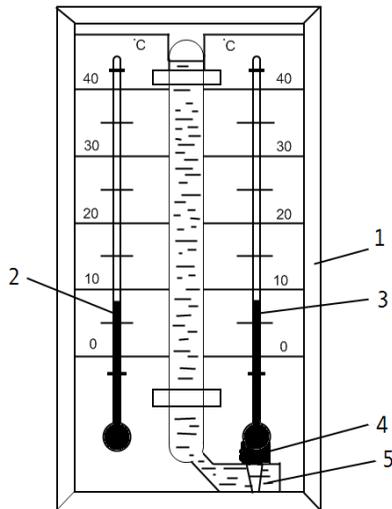
где d проставляется в граммах на килограмм.

Если влагосодержание воздуха увеличивается за счет испарения воды, то такой процесс называют **адиабатным испарением воды**, так как теплота, необходимая для испарения, берется из окружающего воздуха. Температура воздуха при этом понижается, причем, если процесс продолжается до полного насыщения воздуха, то температура его понижается до так называемой температуры **мокрого** термометра – температуры адиабатного насыщения воздуха.

Оборудование и приборы

На практике для определения этой температуры пользуются психрометром (рисунок 1).

Психрометр - прибор, состоящий из двух термометров. Шарик одного из них обернут влажной тканью, вследствие чего показания сухого и мокрого термометров различны. Очевидно, чем меньше степень насыщения влагой атмосферного воздуха, тем интенсивнее процесс испарения с влажной ткани и, следовательно, больше разность температур сухого и мокрого термометров.



1 – доска; 2 – сухой термометр;
3 – мокрый термометр;
4 – ткань; 5 – сосуд с водой

Рисунок 1 – Психрометр

Для установившегося теплообмена между мокрым термометром и окружающей средой уравнение психрометра имеет вид:

$$P_{\text{п}} = P_{\text{нас}}^{\text{М}} - AP(t_{\text{с}} - t_{\text{м}}), \quad (14)$$

где $P_{\text{п}}$ – парциальное давление пара, кПа;

$P_{\text{нас}}^{\text{М}}$ – давление насыщения при температуре мокрого термометра (определяется по таблицам «Состояние насыщения по температурам»), кПа;

A – психрометрическая постоянная, зависящая от конструктивных особенностей психрометра;

P – барометрическое давление, кПа;

$(t_{\text{с}} - t_{\text{м}})$ – психрометрическая разность (между показаниями сухого и

мокрого термометров), °С;

$$A = \left(593,1 + \frac{153,1}{\sqrt{v}} + \frac{4,8}{v} \right) \cdot 10^{-6}, \quad (15)$$

где v – скорость движения воздуха.

Зная психрометрическую разность, барометрическое давление и используя таблицы водяного пара, можно аналитически рассчитать параметры влажного воздуха. Графически (экспресс-метод), используя $I-d$ -диаграмму влажного воздуха (рисунок 2) и показания психрометра, можно определить те же параметры влажного воздуха.

Порядок выполнения работы

Ткань мокрого термометра психрометра смочить при помощи пипетки дистиллированной водой. При смачивании вода не должна попадать на термометр и на внутреннюю поверхность его кожуха. Воду нужно брать комнатной температуры. Включить вентилятор психрометра и следить за показаниями термометра. Когда показания термометров установятся (через 4–5 минут), произвести с точностью до десятых долей градуса отсчет температур сухого t_c и мокрого t_m термометров, учитывая их табличные поправки. По результатам измерений провести определение параметров влажного воздуха двумя способами.

Аналитический расчёт

1 Вычислить постоянную психрометра A по формуле (15) для скорости воздуха, создаваемой вентилятором психрометра $v = 4$ м/с.

2 Определить парциальное давление пара по формуле (14).

3 Рассчитать влагосодержание по формуле (11).

4 Энтальпию влажного воздуха определить по формуле (13).

5 Для определения относительной влажности воздуха по формуле (7) значение $P_{п \text{ макс}}$ определить из таблицы "Состояние насыщения по температурам" по температуре сухого термометра.

6 Температуру точки росы t_p взять как температуру насыщения из таблиц "Состояние насыщения по давлениям" по парциальному давлению пара.

7 Результаты измерений и вычислений занести в таблицу 1.

Таблица 1 – Результаты расчетов

Наименование метода	P_n , Па	d , г/кг	I , кДж/кг	φ , %	t_p , °С
Аналитический расчёт					

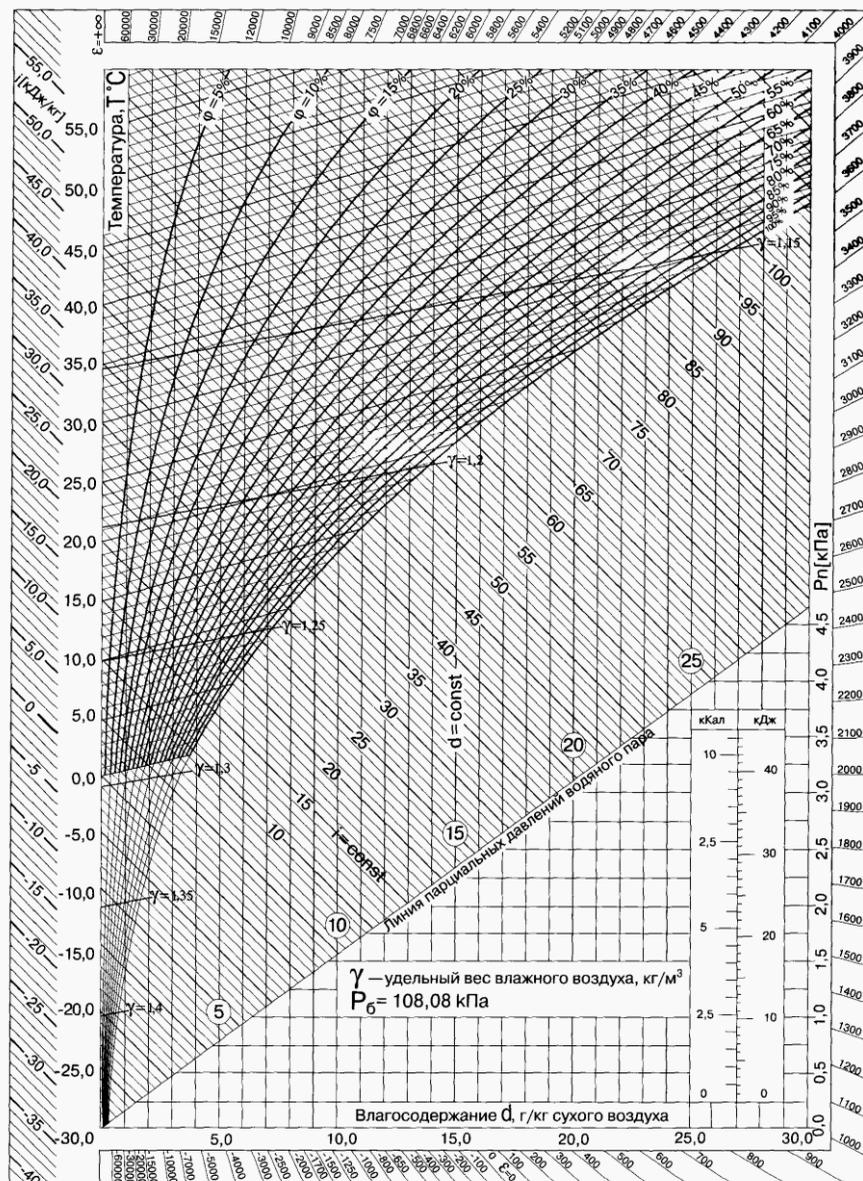


Рисунок 2 – $I-d$ -диаграмма

8 По психрометрическому графику (рисунок 4) найти значение ϕ . Сопоставить полученные двумя методами результаты и сделать выводы.

9 Сравнить полученную величину влажности воздуха со значением, полученным по психрометрическому графику (см. рисунок 4).

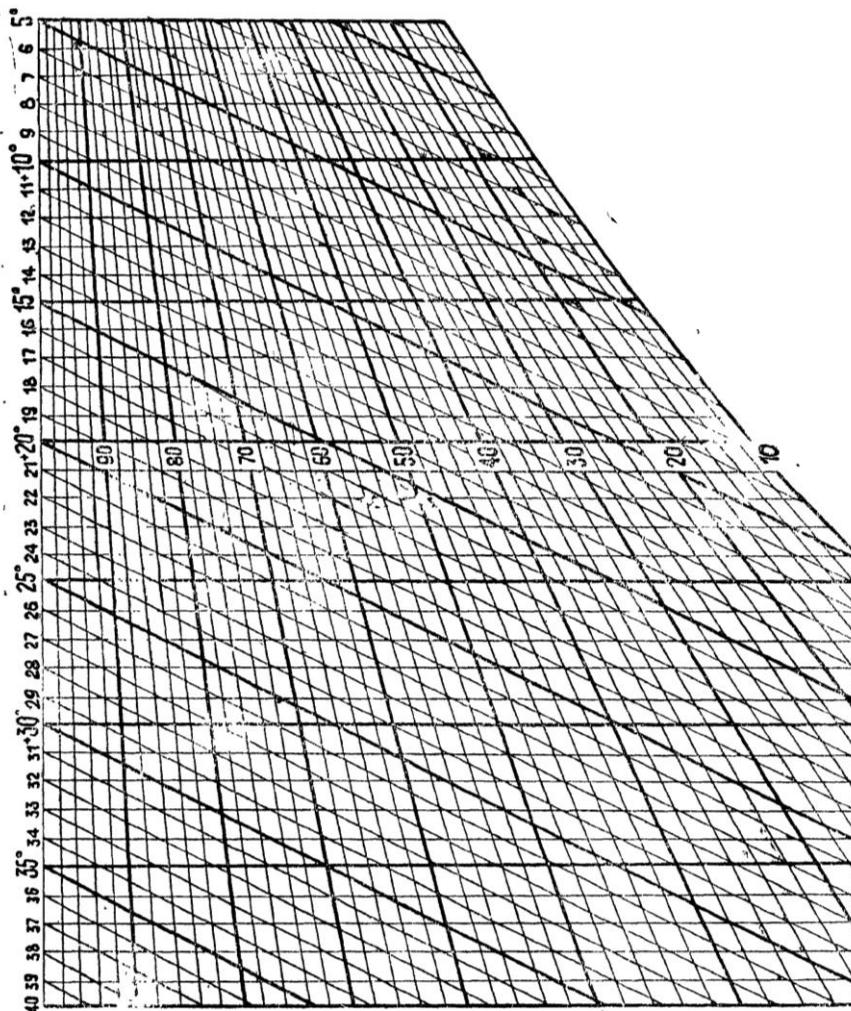


Рисунок 4 – Психрометрический график

Содержание отчета

- 1 Схема психрометра.
- 2 Аналитический расчет.
- 3 Оформление таблицы расчетных данных.
- 4 Анализ результатов лабораторной работы.

Контрольные вопросы

- 1 Влажный воздух.
- 2 Понятие абсолютной и относительной влажности.
- 3 Влагосодержание.
- 4 Температура точки росы.
- 5 Энтальпия влажного воздуха.
- 6 Принцип работы психрометра.
- 7 $I-d$ -диаграмма влажного воздуха.
- 8 Испарение воды в адиабатных условиях происходит во влажный воздух с параметрами $t = 70\text{ }^\circ\text{C}$, $\varphi = 10\%$ и давлением, близким к атмосферному. Определить влагосодержание воздуха в конце процесса испарения, если его температура понизилась до $40\text{ }^\circ\text{C}$.
- 9 Влажный воздух с параметрами $t = 20\text{ }^\circ\text{C}$, $\varphi = 60\%$ и давлением, близким к атмосферному, нагревается до $60\text{ }^\circ\text{C}$. Определить количество тепла, затраченного на нагревание 1 кг воздуха.
- 10 В сушильную камеру поступает воздух, который первоначально подогревают от 10 до $80\text{ }^\circ\text{C}$ при $d = 6\text{ г/кг}$. В сушильной камере окончательная влажность воздуха 100% . Сколько влаги примет каждый килограмм воздуха в процессе сушки?

Лабораторная работа № 3

ИЗУЧЕНИЕ УСТРОЙСТВА ТЕПЛООВОГО УЗЛА И ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЕГО РАБОТЫ

Цель работы. Ознакомиться с устройством теплового узла, водоструйного элеватора и определить параметры теплоносителя, тепловую мощность системы отопления, коэффициент смешения.

Краткие сведения из теории

Тепловые узлы предназначены для подсоединения систем отопления к тепловым сетям. При этом, если температура воды в тепловой сети t_1 выше температуры теплоносителя в местной системе отопления t_r , присоединение абонента производится по схеме, предложенной проф. В. М. Чаплиным.

Основным узлом в данной схеме является водоструйный элеватор, с помощью которого часть охлажденной воды, возвращаемой из системы отопления, с температурой t_o подмешивается к поступающей из теплотрассы и доводится до температуры t_r .

Количество охлажденной воды, забираемой элеватором из обратной магистрали системы отопления, характеризуется коэффициентом смешения u , представляющим собой отношение массы подмешиваемой охлажденной воды $G_{п}$ к массе воды G_c , поступающей из тепловой сети в элеватор:

$$u = \frac{G_{п}}{G_c} = \frac{t_1 - t_2}{t_r - t_o}. \quad (1)$$

Количество воды, циркулирующей в данной системе отопления $G_{см}$, кг/с, определяется согласно следующей зависимости:

$$G_{см} = G_{п} + G_c = G_c (1 + 1/\beta) = G_{п} (1 + \beta). \quad (2)$$

Величина $G_{см}$ фиксируется с помощью расходомера, устанавливаемого на обратной магистрали в тепловом узле.

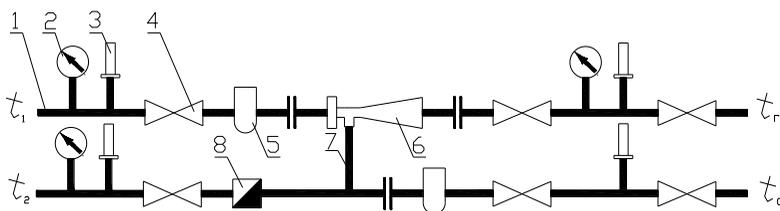
Тепловая мощность системы отопления рассчитывается по формуле

$$Q = c_p G_{см} (t_r - t_o), \quad (3)$$

где c_p – теплоемкость воды, $c_p = 4,187$ кДж/кг · град.

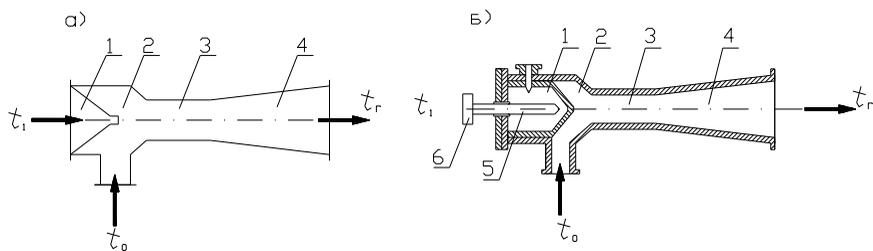
Оборудование и приборы

Тепловой пункт БелГУТа (рисунок 1), оборудованный водоструйным элеватором (рисунок 2).



- 1 – подающий трубопровод; 2 – манометры; 3 – термометры;
- 4 – задвижки; 5 – грязевики; 6 – водоструйный элеватор;
- 7 – подсасывающий обратный трубопровод; 8 – расходомер

Рисунок 1 – Схема элеваторного узла



1 – сопло; 2 – камера всасывания; 3 – камера смешивания; 4 – диффузор;
 5 – регулирующая игла; 6 – автоматическое устройство регулирующей иглы

Рисунок 2 – Схемы элеваторов традиционного (а) и с регулируемым сечением сопла (б)

Согласно схеме (см. рисунок 1) вода из тепловой сети поступает в водоструйный элеватор. К элеватору присоединяется обратный теплопровод местной системы, по которому проходит вода с температурой t_0 . В элеваторе происходит смешивание воды, поступающей от наружной сети с температурой t_1 , с охлажденной водой местной системы. Другая часть охлажденной воды, возвращающаяся из местной системы, отводится по трубопроводу в обратную магистраль теплотрассы. Вода с температурой t_r от элеватора по теплопроводу направляется в местную систему отопления.

Тепловой узел оборудуется термометрами, манометрами, задвижками, грязевиками, расходомером.

Элеватор состоит из стального сварного корпуса, сопла, через которое вода из тепловой сети под давлением насоса, установленного на ТЭЦ, поступает в камеру всасывания элеватора, к которой подводится охлажденная вода из местной системы.

Поскольку вода при выходе из сопла имеет большую скорость, то в кольцевом пространстве, образуемом соплом, создается давление меньшее, чем в камере. Под влиянием разности этих давлений вода из обратного трубопровода всасывается в камеру смешивания. Разность давления при выходе из диффузора и в камере смешивания обеспечивает циркуляцию воды v в местной системе. Давление в тепловой сети перед элеватором должно быть больше сопротивления местной системы в 5–10 раз.

Порядок выполнения работы

1 Ознакомиться с устройством теплового узла и расположением в нем основных деталей элеваторной установки.

- 2 Зарисовать схемы элеваторного узла и элеватора.
- 3 Подготовить таблицу для записи опытных и расчетных данных.
- 4 Снять показания термометров; определить расход теплоносителя, возвращаемого в тепловую сеть. Данные занести в таблицу 1.
- 5 Определить величину коэффициента смешения по уравнению (1).
- 6 Определить расход теплоносителя в системе отопления по формуле (2).
- 7 Рассчитать тепловую мощность системы отопления согласно зависимости (3).
- 8 Результаты эксперимента занести в таблицу 1.

Таблица 1 – Результаты эксперимента

Температура горячей воды из тепловой сети t_1	Температура воды, поступающей из элеватора в систему отопления, t_r	Температура охлажденной воды в системе отопления t_o	Коэффициент смешения μ	Количество теплоносителя, возвращаемого в систему $G_{см}$, кг/с	Тепловая мощность системы отопления Q , кВт
°C					

Содержание отчета

- 1 Схема теплового узла.
- 2 Расчет опыта.
- 3 Оформленная таблица опытных и расчетных данных.
- 4 Анализ результатов лабораторной работы.

Контрольные вопросы

- 1 Назначение теплового узла?
- 2 Основные элементы теплового узла и водоструйного элеватора.
- 3 Что такое коэффициент подмешивания и что он характеризует?
- 4 Как определяется тепловая мощность системы отопления?

Лабораторная работа № 4

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПА ОХЛАЖДЕНИЯ И КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛООБМЕНА МЕТОДОМ РЕГУЛЯРНОГО ТЕПЛООВОГО РЕЖИМА

Цель работы. Изучить методы регулярного теплового режима, определить темп охлаждения и коэффициенты теплообмена излучением и конвекцией.

Краткие сведения из теории

Элементарные виды теплообмена (теплопроводность, конвекция и тепловое излучение) на практике, как правило, протекают одновременно. Конвекция, например, всегда сопровождается теплопроводностью, излучение часто сопровождается конвекцией. Сочетание различных видов теплообмена может быть весьма разнообразно, и роль их в общем процессе неодинакова. Это так называемый сложный теплообмен. Процесс теплообмена между твердым телом и омывающим ее газом является типичным примером сложного теплообмена – совместного действия конвекции, теплопроводности и теплового излучения.

При сложном теплообмене пользуются общим (суммарным) коэффициентом теплоотдачи α_o , представляющим собой сумму коэффициентов теплоотдачи соприкосновением, учитывающим действие конвекции и теплопроводности α_k и излучения α_l , т. е.

$$\alpha_o = \alpha_k + \alpha_l. \quad (1)$$

В этом случае расчетная формула для определения теплового потока q , Вт/м, имеет вид:

$$q = (\alpha_k + \alpha_l)(t_{ж} + t_c) = \alpha(t_{ж} + t_c), \quad (2)$$

где $t_{ж}$ – температура среды, °С;

t_c – средняя температура по объему тела, °С.

Процессы теплопроводности, когда поле температуры в теле изменяется не только в пространстве, но и во времени, называют нестационарными. Они имеют место при нагревании (охлаждении) различных заготовок и изделий, обжиге кирпича, пуске и остановке различных теплообменных устройств, энергетических агрегатов и т.д.

Среди практических задач нестационарной теплопроводности важнейшее значение имеют две группы процессов: тело стремится к тепловому равновесию и температура тела претерпевает периодические изменения.

В качестве общего свойства теплового регулярного режима можно принять соотношение

$$\frac{dt_c}{d\tau} = m(t_{ж} - t_c), \quad (3)$$

где m – коэффициент пропорциональности, называемый темпом нагревания (охлаждения).

Темп охлаждения, как видно из этого выражения, представляет собой относительную скорость изменения температуры в теле и имеет размерность, обратную размерности времени (1/с). При наступлении регулярного (стационарного) режима темп охлаждения не зависит ни от координат, ни от времени и является величиной постоянной для всех точек тела. Темп охлаждения зависит от физических свойств тела, процесса охлаждения на его поверхности, геометрической формы и размеров тела.

Темп охлаждения однородного и изотропного тела при конечном значении коэффициента теплоотдачи α_0 пропорционален коэффициенту теплоотдачи поверхности тела F , m^2 , и обратно пропорционален его теплоемкости c , Дж/К, (первая теорема Кондратьева):

$$m = \frac{\alpha F}{c}. \quad (4)$$

Методы регулярного режима применяются для определения теплопроводности и температуропроводности различных тел, а также их коэффициентов теплообмена с поверхности. При определении коэффициента теплообмена методом регулярного теплового режима экспериментально измеряется лишь одна величина – темп охлаждения.

Особенностью лучистого теплообмена является отсутствие непосредственного соприкосновения тел. Теплообмен может проходить на большом расстоянии одного тела от другого. Носителем любого вида излучения являются электромагнитные колебания с различной длиной волн.

При высоких температурах теплообмен излучением (тепловое излучение) преобладает над остальными видами теплообмена и имеет в связи с этим большое значение.

В основу определения коэффициента излучения $\alpha_{л}$ положена зависимость (5). Если образец участвует лишь в лучистом (радиационном) теплообмене, то коэффициент теплоотдачи будет равен радиационному и определяется соотношением

$$\alpha = \alpha_{л} = \frac{q}{T_c - T_o}. \quad (5)$$

Тепловой поток

$$q = c \left[\left(\frac{T_c}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_o}{100} \right)^4 \right], \quad (6)$$

где c – коэффициент излучения.

Таким образом, опыты сводятся к определению темпа охлаждения образца в порядке, обычном для регулярного теплового режима.

Оборудование и приборы

Экспериментальная установка (рисунок 1) состоит из кронштейна 1, в верхней части которого, в держателе 2, изолированном от массы кронштейна, закреплен один конец струны 3 из нихрома.

Другой конец струны зажат в головке микрометра 4, закрепленного в держателе 5. Струна изолирована от окружающей среды стеклянной трубкой. Груз 6 обеспечивает постоянное по величине натяжение струны.

Электрический ток от сети через ЛАТР 7 подводится к держателю 2 и головке микрометра 4. В ходе выполнения работы мы наблюдаем следующее:

- в результате прохождения электрического тока по струне она нагревается и удлиняется;
- удлинение струны измеряется микрометром;
- при выключении тумблера струна обесточивается и начинает остывать в среде окружающего воздуха;
- микрометр фиксирует уменьшение длины струны.

В результате можно сделать вывод, что процесс отдачи теплоты от струны окружающему воздуху является результатом совокупного действия конвективного теплообмена и излучения.

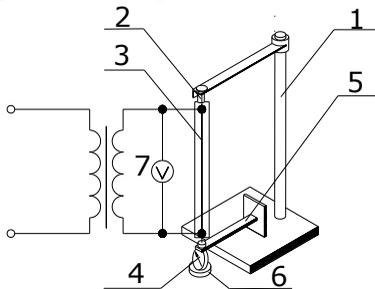


Рисунок 1 – Схема установки для определения коэффициента теплообмена

Порядок выполнения работы

1 Ознакомиться с методом регулярного теплового режима и экспериментальной установкой.

2 Подготовить таблицу 1 для опытных данных.

3 После включения ЛАТР в электрическую сеть установить удлинение струны, несколько большее Δl_n , путем медленного увеличения напряжения, подводимого к держателям струны. Отключив напряжение от струны, измерить время изменения удлинения от Δl_n до Δl_t .

4 Занести в таблицу 1 показание секундомера.

5 Произвести аналогичные замеры при других интервалах остывания струны.

Таблица 1 – Опытные данные

Номер опыта	Температура окружающей среды $t_0, ^\circ\text{C}$	Удлинение струны, мм		Время охлаждения от Δl_n до Δl_t , с
		в начале охлаждения Δl_n	в процессе охлаждения Δl_t	
1				
2				
3				
4				
5				

6 Обработать опытные данные по следующей методике:

- избыточная температура струны $t_{\text{изб}}, ^\circ\text{C}$,

$$t_{\text{изб}} = \frac{\Delta l}{\alpha_i l_0}, \quad (7)$$

где α_i – коэффициент линейного расширения нихрома, $\alpha_i = 14 \cdot 10^{-6} \text{ c}^{-1}$;

l_0 – начальная длина струны ($l_0 = 1650 \text{ мм}$);

- темп охлаждения $m, \text{ c}^{-1}$,

$$m = \frac{\ln(t_{\text{нач}} - t_{\text{изб}})}{\tau}, \quad (8)$$

где τ – время охлаждения, с.

- обций (суммарный) коэффициент теплообмена, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$,

$$\alpha_o = \frac{mC}{F}, \quad (9)$$

где C – полная теплоемкость нихромовой струны, Дж/К,

$$C = c_p \rho \frac{\pi d_0}{4} l_0, \quad (10)$$

c_p – удельная теплоемкость нихрома, $c_p = 448 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$;

ρ – плотность нихрома, $\rho = 8310 \text{ кг}/\text{м}^3$;

d_0 – диаметр струны, $d_0 = 0,8 \text{ мм}$;

F – площадь поверхности струны, м^2 ,

$$F = \pi d_0 l_0. \quad (11)$$

- средняя температура струны в опыте, °С,

$$t_c = \frac{v_H + v_\tau}{2} + t_0. \quad (12)$$

- коэффициент теплообмена излучением $\alpha_{л}$, Вт/(м² К),

$$\alpha_{л} = \frac{\varepsilon c_0 \left[\left(\frac{T_c}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_0}{100} \right)^4 \right]}{t_c - t_0}, \quad (13)$$

где ε – степень черноты окисленной нихромовой струны, $\varepsilon = 0,95 \dots 0,98$;
 c_0 – коэффициент излучения абсолютно черного тела, $c_0 = 5,67$ Вт/(м²К),

$$T_c = t_c + 273; \quad T_0 = t_0 + 273.$$

- коэффициент теплообмена конвекцией, Вт/(м²·К),

$$\alpha = \alpha_o - \alpha_{л}. \quad (14)$$

- определяющая температура в опыте, °С,

$$t = \frac{(t_c - t_0)}{2}. \quad (15)$$

Результаты расчетов занести в таблицу 2.

Таблица 2 – Результаты расчетов

Номер опыта	Избыточная температура, °С		Темп охлаждения m, c^{-1}	Средняя температура струны $t_c, ^\circ C$	Коэффициент теплообмена, Вт/(м ² К)			Определяющая температура струны $t_{оп}, ^\circ C$
	v_H	v_τ			α_o	$\alpha_{л}$	α	
1								
2								
3								
4								
5								

Содержание отчета

- 1 Схема опытной установки.
- 2 Расчет и оформленные таблицы опытных данных.

- 3 График зависимости $\alpha = f(t_{\text{оп}})$.
- 4 Анализ результатов лабораторной работы.

Контрольные вопросы

- 1 Назовите основные виды теплообмена.
- 2 Дайте определение коэффициента теплообмена.
- 3 Когда применяются методы регулярного режима и в чем их преимущества?
- 4 От каких факторов зависит темп охлаждения?

Лабораторная работа № 5

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ НАГРЕВАТЕЛЬНОГО ПРИБОРА

Цель работы. Освоить методику экспериментального определения коэффициента теплопередачи нагревательного прибора (величину этого коэффициента необходимо знать для правильного подсчета площади поверхности нагревательных приборов в проектируемом здании).

Краткие сведения из теории

Тепло от теплоносителя (воды или пара) передается в помещение через стенку нагревательного прибора. Приборы, теплоотдача которых в основном происходит конвекцией, относятся к конвекторам, а приборы, передающие существенную долю тепла лучеиспусканием (свыше 25 %), – к радиаторам. Интенсивность этой передачи характеризуется коэффициентом теплопередачи нагревательного прибора K , т. е. количеством тепла, проходящим за единицу времени через поверхность нагревательного прибора площадью 1 м при разности температур теплоносителя и воздуха помещения в 1 градус. Иначе говоря, это плотность теплового потока, проходящего через нагревательный прибор, отнесенная к разности температур теплоносителя и воздуха (температурному напору).

Величина коэффициента теплопередачи нагревательного прибора (НП) зависит от конструктивных особенностей прибора того или иного типа, окраски, способа присоединения к стояку, расхода воды, температурного напора и многих других факторов.

Коэффициент теплопередачи можно определить экспериментально, воспользовавшись известной формулой для вычисления теплоотдачи нагревательного прибора, Вт:

$$Q_{\text{пр}} = K_{\text{пр}} F_{\text{пр}} (t_{\text{ср.пр}} - t_{\text{в}}), \quad (1)$$

где $K_{\text{пр}}$ – коэффициент теплопередачи НП, Вт/м²·град;

$F_{\text{пр}}$ – площадь поверхности НП, м;

$t_{\text{ср.пр}}$ – средняя температура теплоносителя (воды) в НП, °С;

$t_{\text{в}}$ – температура внутреннего воздуха, °С.

Следовательно,

$$K_{\text{пр}} = \frac{Q_{\text{пр}}}{F_{\text{пр}} (t_{\text{ср.пр}} - t_{\text{в}})}. \quad (2)$$

Теплоотдача исследуемого нагревательного прибора, Вт,

$$Q_{\text{пр}} = \frac{G_{\text{пр}} c (t_{\text{г}} - t_{\text{о}})}{3600}, \quad (3)$$

где $G_{\text{пр}}$ – расход воды, проходящей через нагревательный прибор, кг/ч;

c – теплоемкость воды, $c = 4,187$ кДж/(кг град);

$t_{\text{г}}$ – температура воды, поступающей в отопительный прибор (горячей), °С;

$t_{\text{о}}$ – температура воды, выходящей из прибора (охлажденной), °С;

3600 – перевод $Q_{\text{пр}}$ из Дж/ч в Дж/с (Вт).

Средняя температура воды в приборе

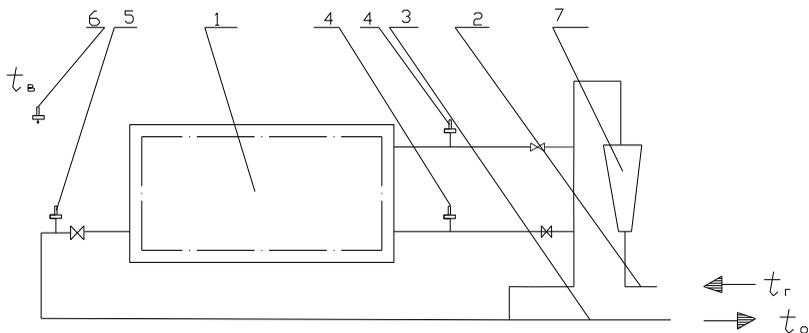
$$t_{\text{ср.пр}} = (t_{\text{г}} + t_{\text{о}}) / 2. \quad (4)$$

После подстановки уравнений (2) и (3) в формулу (1) получается зависимость, которой обычно пользуются при опытном определении коэффициента теплопередачи нагревательного прибора:

$$K_{\text{пр}} = \frac{G_{\text{пр}} c (t_{\text{г}} - t_{\text{о}})}{F_{\text{пр}} \left(\frac{t_{\text{г}} + t_{\text{о}}}{2} - t_{\text{в}} \right)}. \quad (5)$$

Оборудование и приборы

Схема лабораторной установки приведена на рисунке 1.



- 1 – нагревательный прибор; 2, 3 – подающий и обратный теплопроводы;
 4, 5 – термометры на подающей и обратной подводках;
 6 – термометр для измерения температуры воздуха в лаборатории;
 7 – счетчик воды

Рисунок 1 – Схема лабораторной установки

Вода по подающему трубопроводу 2, проходя через счетчик воды 7 и термометры на подающих подводках 4, подается в отопительный прибор 1. После прохождения по отопительному прибору вода отводится по обратному теплопроводу 3.

Порядок выполнения работы

- 1 Подготовить таблицу 1 для занесения в нее результатов замеров и вычислений.
- 2 Определить расход воды через исследуемый нагревательный прибор по показаниям счетчика воды.
- 3 Определить температуру воды, поступающей в нагревательный прибор и выходящей из него t_o , с помощью термометров 4 и 5.
- 4 Определить температуру воздуха в лаборатории.
- 5 Вычислить площади поверхности нагревательного прибора. Площадь поверхности одной секции чугунного радиатора М-140 составляет 0,254 м.
- 6 Определить коэффициент теплопередачи нагревательного прибора по формуле (4).
- 7 Повторить опыты несколько раз (не менее 3).
- 8 Окончательно величину коэффициента теплопередачи нагревательного прибора находят как среднюю арифметическую из величин.

Таблица 1 – Результаты замеров и вычислений

Номер опыта	$G_{пр}$, кг/ч	t_r	t_r	t_r	$F_{пр}$, м ²	$K_{пр}$, Вт/м ² ·град
		°С				

1-3						
-----	--	--	--	--	--	--

Содержание отчета

- 1 Схема опытной установки.
- 2 Расчет одного из опытов.
- 3 Оформление таблицы опытных и расчетных данных.
- 4 Анализ результатов лабораторной работы.

Контрольные вопросы

- 1 Назначение нагревательных приборов, требования к ним.
- 2 Основные типы радиаторов.
- 3 Что такое коэффициент теплопередачи и что он характеризует?
- 4 Размещение и установка нагревательных приборов.

Лабораторная работа № 6

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОТДАЧИ НАГРЕВАТЕЛЬНОГО ПРИБОРА

Цель работы. Освоение методики экспериментального определения теплоотдачи нагревательного прибора.

Краткие сведения из теории

Теплоотдача нагревательного прибора – это количество тепла, выделяемого прибором за единицу времени.

Теплоотдача может быть подсчитана по формулам, Вт:

$$Q = cG_{\text{пр}}(t_{\text{г}} - t_{\text{о}}) \cdot 3600 \quad (1)$$

или

$$Q = cG_{\text{ст}}(t_{\text{г.ст}} - t_{\text{о.ст}}) \cdot 3600, \quad (2)$$

где c – удельная массовая теплоемкость теплоносителя (для воды $c = 4187$ Дж/(кг·К));

$G_{\text{пр}}, G_{\text{ст}}$ – расход теплоносителя через нагревательный прибор и стояк, кг/ч;

$t_{\text{г}}$ и $t_{\text{о}}$ – температура воды на входе в нагревательный прибор и на выходе из него, °С;

$t_{\text{г.ст}}$ и $t_{\text{о.ст}}$ – температура на входе и выходе из стояка, °С;

Следует отметить, что формула (2) справедлива лишь для случая, когда к стояку подсоединен только один нагревательный прибор, как это сделано в лабораторной установке.

Порядок выполнения работы

Исследуемый нагревательный прибор присоединен к стояку по схеме однотрубной системы с осевым замыкающим участком (см. рисунок 1 лабораторной работы № 5).

При опытном определении теплоотдачи нагревательного прибора пользоваться формулой (1) нельзя, т. к. в лабораторной установке нет ротаметра на подводке к прибору для замера расхода через прибор, но есть ротаметр для замера расхода через стояк, поэтому в работе используется формула (2).

Выполняется работа в следующем порядке:

1 Вычерчивается таблица 1 для внесения в нее результатов измерений и расчетов.

2 Термометрами 4 и 5 замеряются температуры теплоносителя на входе и выходе из стояка.

3 Замеряется расход теплоносителя в стояке ротаметром 6.

4 Вычисляется теплоотдача прибора по формуле (2).

5 Повторение опытов несколько раз (не менее 3)

Таблица 1 – Результаты замеров и вычислений

Номер опыта	$t_{г.ст}, ^\circ\text{C}$	$t_{о.ст}, ^\circ\text{C}$	$G_{пр}, \text{кг/ч}$	$Q, \text{Вт}$
1				
2				
3				

Содержание отчета

1 Схема опытной установки.

2 Расчет одного из опытов.

3 Оформление таблицы опытных и расчетных данных.

4 Анализ результатов лабораторной работы.

Контрольные вопросы

1 Классификация нагревательных приборов по преобладающему способу теплоотдачи и внешней поверхности.

2 Три схемы подсоединения нагревательных приборов к теплопроводам.

3 Что такое теплоотдача и что она характеризует?

4 Почему необходимо регулировать теплоотдачу нагревательных приборов?

Лабораторная работа № 7

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СРЕДНЕГО ТЕМПЕРАТУРНОГО НАПОРА ПОВЕРХНОСТНОГО ТЕПЛООБМЕННОГО АППАРАТА

Цель работы. Изучить конструкцию теплообменного аппарата (на примере теплового пункта) и определить его средний температурный напор в реальных условиях.

Краткие сведения из теории

Теплообменным аппаратом называется устройство, предназначенное для передачи теплоты от более нагретого теплоносителя к менее нагретому.

Теплообмен применяется для осуществления различных технологических процессов: нагревания, охлаждения, конденсации, испарения и т. д. Теплообменные аппараты классифицируются по различным признакам: назначению, компоновке, роду рабочих сред, способу передачи теплоты и др. Наиболее распространена классификация теплообменников по способу передачи теплоты, согласно которому они подразделяются на следующие типы:

1) рекуперативные поверхностные аппараты, в которых оба теплоносителя разделены поверхностью теплообмена различной конфигурации;

2) регенеративные, в которых процесс передачи теплоты от горячего теплоносителя к холодному происходит с помощью теплоаккумулирующей массы, называемой насадкой;

3) смесительные, в которых теплообмен происходит при непосредственном соприкосновении теплоносителей.

К поверхностным теплообменникам относятся: трубчатые (кожухотрубчатые, типа "труба в трубе", оросительные, погруженные); пластинчатые, спиральные, аппараты с рубашками, с оребренной поверхностью теплообмена.

В зависимости от взаимного направления потока горячей и холодной жидкости различают три основные схемы движения жидкостей:

1) прямоток – если обе жидкости движутся параллельно в одном направлении (рисунок 1, а);

2) противоток – если обе жидкости движутся параллельно, но в

противоположных направления (рисунок 1, б);

3) перекрестный ток – если одна жидкость движется в направлении, перпендикулярном другой.

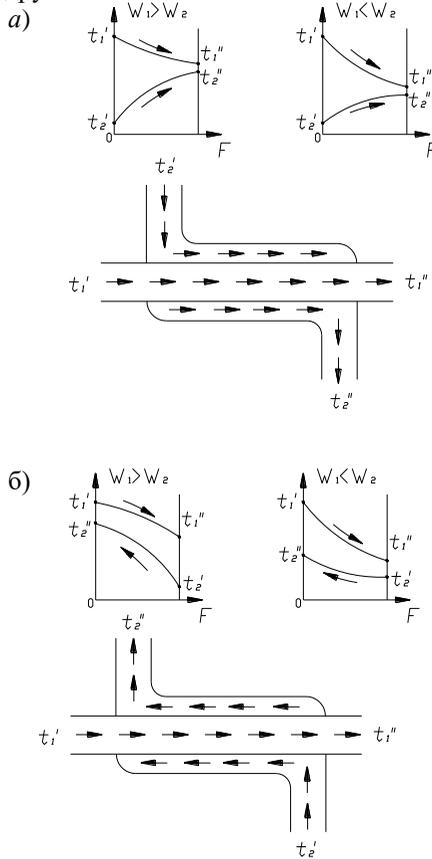


Рисунок 1 – Теплообменные аппараты с различным ходом движения теплоносителей:
а – прямоточный; б – противоточный

При проектировании новых аппаратов искомой величиной является их площадь поверхности нагрева F . Если же она задана, то при расчете определяют конечные температуры теплоносителей.

Расчетной формулой для ТОА служит уравнение теплового баланса

$$Q = M_1 c_{p1} (t_1' - t_1'') = M_2 c_{p2} (t_2' - t_2''), \quad (1)$$

где \dot{Q} – тепловой поток от горячего теплоносителя к холодному, Вт;
 M_1 и M_2 – секундные расходы теплоносителей, кг/с;

c_{p1}, c_{p2} – средние удельные теплоемкости при постоянном давлении теплоносителей.

t_1', t_1'' – средние по течению температуры горячего (нагревающего) теплоносителя на входе и выходе из ТОА, °С;

t_2', t_2'' – средние по течению температуры холодного (нагреваемого) теплоносителя на входе и выходе из ТОА;

Величина $W = M_{cp}$ – водяной или условный эквивалент. Его значение определяет собой секундный расход вещества с удельной теплоемкостью, равной единице [1 кДж/(кг·К)], которое по теплоемкости эквивалентно теплоемкости секундного расхода рассматриваемой жидкости. Из уравнения (1) после введения в него водяных эквивалентов получим:

$$\frac{(t_1' - t_1'')}{(t_2' - t_2'')} = \frac{W_2}{W_1}. \quad (2)$$

т. е. изменение температуры теплоносителей обратно пропорционально условным эквивалентам.

Второй расчетной формулой для теплообменников является уравнение теплопередачи

$$Q = kF\Delta t. \quad (3)$$

Необходимо помнить, что в большинстве случаев температуры теплоносителей t_1 и t_2 изменяются по длине теплообменника и, следовательно, изменяется температурный напор между ними.

На рисунке 1, *a*, *б* показан характер изменения температуры теплоносителей вдоль поверхности нагрева при прямотоке и противотоке.

Из графиков видно, что большая разность температур Δt_6 в прямоточном теплообменнике устанавливается на входе теплоносителей, меньшая Δt_m – на выходе. В противоточном теплообменнике Δt_6 может быть как на входе, так и на выходе в зависимости от водяных эквивалентов. При кипении жидкости или конденсации пара в аппарате разницы между прямотоком и противотоком нет.

Средний температурный напор по всей поверхности нагрева, называемый среднелогарифмическим, при обеих схемах движения определяется по формуле

$$\Delta t = \frac{(\Delta t_6 - \Delta t_m)}{\ln(\Delta t_6 / \Delta t_m)}. \quad (4)$$

В частности, для прямотока

$$\Delta t = \frac{(t_1' - t_2') - (t_1'' - t_2'')}{\ln \left(\frac{(t_1' - t_2')}{(t_1'' - t_2'')} \right)}, \quad (5)$$

для противотока

$$\Delta t = \frac{(t_1' - t_2'') - (t_1'' - t_2')}{\ln \left(\frac{(t_1' - t_2'')}{(t_1'' - t_2')} \right)}. \quad (6)$$

Исходя из данных формул видно, что температурный напор при противотоке больше, чем при прямотоке, и поэтому требуемая площадь поверхности нагрева теплообменника при противотоке меньше. То есть при одних и тех же условиях в противоточном ТОО передается теплоты больше, чем в прямоточном. Поэтому предпочтителен выбор противотока, если другие обстоятельства не препятствуют этому.

В то же время, если температуры теплоносителей в ТОО изменяются незначительно, то вместо среднелогарифмического пользуются среднеарифметическим температурным напором:

$$\Delta t = \frac{\Delta t_{\text{с}} + \Delta t_{\text{м}}}{2}. \quad (7)$$

Для теплообменных аппаратов с поперечным током Δt определяется по формуле (7), как для противоточного аппарата, а затем умножается на поправочный коэффициент, значения которого приводятся в справочных руководствах.

При проверочном расчете ТОО, когда известна его площадь нагрева F , условные эквиваленты W , коэффициент теплопередачи k и начальные температуры теплоносителей t_1' , t_2' искомыми являются конечные температуры теплоносителей t_1'' , t_2'' и Q .

Порядок выполнения работы

Задание предусматривает определение среднего температурного напора по формулам (6) и (7) рекуперативного теплообменника типа «труба в трубе», в котором холодный теплоноситель движется по кольцевому каналу между трубами с горячим теплоносителем.

Исследуемый теплообменный аппарат присоединен к теплоносителям

по схеме противотока (см. рисунок 1, б).

Выполняется работа в следующем порядке:

1 Вычерчивается таблица 1 для внесения в нее результатов измерений и расчетов.

2 Визуально на термометрах фиксируют значения температур теплоносителей на входе и выходе из теплообменного аппарата и заносят в таблицу 1.

3 Используя формулы (6) и (7), находят средний температурный напор в теплообменном аппарате.

Таблица 1 – Результаты замеров и вычислений

В градусах Цельсия

t_1^I	t_1^{II}	t_2^I	t_2^{II}	Δt , по формуле (5)	Δt , по формуле (6)

Контрольные вопросы

1 Построить температурные графики $t_1 = f(F)$ и $t_2 = f(F)$ для противоточного теплообменного аппарата.

2 Классификация теплообменных аппаратов по способу передачи теплоты и от взаимного направления потоков теплоносителей.

3 Цель теплового расчета теплообменных аппаратов.

4 Что такое водяной или условный эквивалент?

5 Основное расчетное уравнение теплообмена при стационарном режиме.

Список литературы

- 1 **СНБ 4.02.01-03.** Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. – Введ. 2003–16–10. – Минск : Минстройархитектуры Респ. Беларусь, 2004. – 78 с.
- 2 **ТКП 45-2.04-43-2006.** Строительная теплотехника. – Введ. 2006–29–12. – Минск : Минстройархитектуры Респ. Беларусь, 2007. – 32 с.
- 3 *I-d*-диаграмма влажного воздуха [Электронный ресурс] / Компания «Ксирон-Холод». – М., 2010.– Режим доступа : <http://www.xiron.ru/content/view/30258/28/>. Дата доступа: 05.07.2010.
- 4 **Амерханов, Л. И.** Теплотехника: учеб. для вузов / Л. И. Амерханов, Б. Х. Драганов. – М. : Энергоиздат, 2006. – 432 с.
- 5 **Гарипов, М. Г.** Кожухотрубные теплообменные аппараты. Ч. I : метод. указания к КП [Электронный ресурс] / М. Г. Гарипов, Х. Х. Гильманов, М. А. Закиров : Казан. гос. технол. ун-т. – Казань, 2006. – 36 с. Дата доступа: 05.07.2010. Режим доступа : <http://download.nchti.ru/libr/edu/mahp/kogapparat1.pdf>.
- 6 **Еремкин, А. И.** Тепловой режим зданий : учеб. пособие / А. И. Еремкин, Т. И. Королева. – Ростов н/Д : Феникс, 2008. – 363 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Общие указания по выполнению лабораторных работ.....	3
Лабораторная работа № 1 Определение коэффициента теплопроводности изоляционного материала методом «трубы».....	4
Лабораторная работа № 2 Определение параметров влажного воздуха.....	6
Лабораторная работа № 3 Изучение устройства теплового узла и исследование параметров его работы.....	15
Лабораторная работа № 4 Определение темпа охлаждения и коэффициента теплообмена методом регулярного теплового режима.....	18
Лабораторная работа № 5 Определение коэффициента теплопередачи нагревательного прибора.....	24
Лабораторная работа № 6 Определение теплоотдачи нагревательного прибора.....	27
Лабораторная работа № 7 Определение среднего температурного напора поверхностного теплообменного аппарата.....	29
Список литературы.....	34

Учебное издание

*НЕВЗОРОВА Алла Брониславовна
НОВИКОВА Ольга Константиновна
ТЕРЕЩЕНКО Александра Викторовна*

**ИНЖЕНЕРНЫЕ СЕТИ И ОБОРУДОВАНИЕ
(ОТОПЛЕНИЕ И ВЕНТИЛЯЦИЯ)**

Лабораторный практикум

Редактор *Т. М. Ризевская*
Технический редактор *В. Н. Кучерова*

Подписано в печать 20.07.2010 г. Формат 60x84 ¹/₁₆.
Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать на ризографе.
Усл. печ. л. 2,09. Уч.-изд. л. 1,65. Тираж 200 экз.
Зак. № _____. Изд. № 88.

Издатель и полиграфическое исполнение
Белорусский государственный университет транспорта:
ЛИ № 02330/0552508 от 09.07.2009 г.
ЛП № 02330/0494150 от 03.04.2009 г.
246653, г. Гомель, ул. Кирова, 34.