

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Методические указания к лабораторным работам

по дисциплине

**«Теоретические основы теплотехники
(техническая термодинамика и теплообмен)»**

для студентов, обучающихся по направлению подготовки
08.03.01 – Строительство
Профиль – «Теплогазоснабжение и вентиляция»

ОГЛАВЛЕНИЕ

Лабораторная работа № 1,2. Исследование изобарного и изохорного процессов

Лабораторная работа № 3,4. Исследование изотермического и адиабатного процессов

Лабораторная работа № 5,6. Исследование теплопроводности материалов

Лабораторная работа № 7,8. Исследование теплопередачи при свободной конвекции воздуха около горизонтального цилиндра

Лабораторная работа 9,10. Определение теплоотдачи и тепловых характеристик отопительных приборов

Лабораторная работа № 11,12. Испытание и составление теплового баланса водогрейного котла

Лабораторная работа № 13,14. Исследование теплового процесса в теплообменном аппарате типа «труба в трубе»

Лабораторная работа № 15. Определение коэффициента затекания воды в отопительный прибор и его теплоотдачи

Лабораторная работа № 16. Определение динамики давления в системе водяного отопления

Лабораторная работа № 17. Измерение параметров наружного и внутреннего воздуха

Лабораторная работа № 18. Определение тепловой обстановки в помещении

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1,2

Исследование изобарного и изохорного процессов

1.1 ЦЕЛЬ И СОДЕРЖАНИЕ

Экспериментальное исследование изобарного и изохорного термодинамических процессов, определение взаимосвязи между основными параметрами данных процессов.

1.2 ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ

ПК-7– Способность систематизировать и обобщать информацию по использованию ресурсов предприятия

1.3 ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ

1.3.1 Краткое описание изобарного процесса

Изобарный процесс — процесс изменения состояния термодинамической системы, протекающий при постоянном давлении.

Основным законом, описывающим данный процесс, является **закон Гей-Люссака**: *При постоянном давлении объем газа изменяется пропорционально его температуре:*

$$\frac{V}{T} = \text{const} \text{ при } p = \text{const} \quad (1.1)$$

Уравнение **первого закона термодинамики** при изобарном процессе имеет вид:

$$Q = \Delta U + A, \quad (1.2)$$

где Q – тепло, выделенное (поглощенное) газом во время процесса;

ΔU – изменение внутренней энергии газа во время процесса;

A – работа, совершенная газом в течение процесса.

Работа, совершаемая газом при изобарном процессе, определяется выражением:

$$A = p \cdot \Delta V = p \cdot (V_2 - V_1), \quad (1.3)$$

где p – давление газа;

V_1 – объем газа в начале процесса;

V_2 – объем газа в конце процесса.

Графическая функциональная зависимость между основными параметрами состояния газа, иллюстрирующая изобарный процесс на диаграмме, называется изобарой. Графики изобарных процессов в различных координатах приведены на рисунке 1.1.

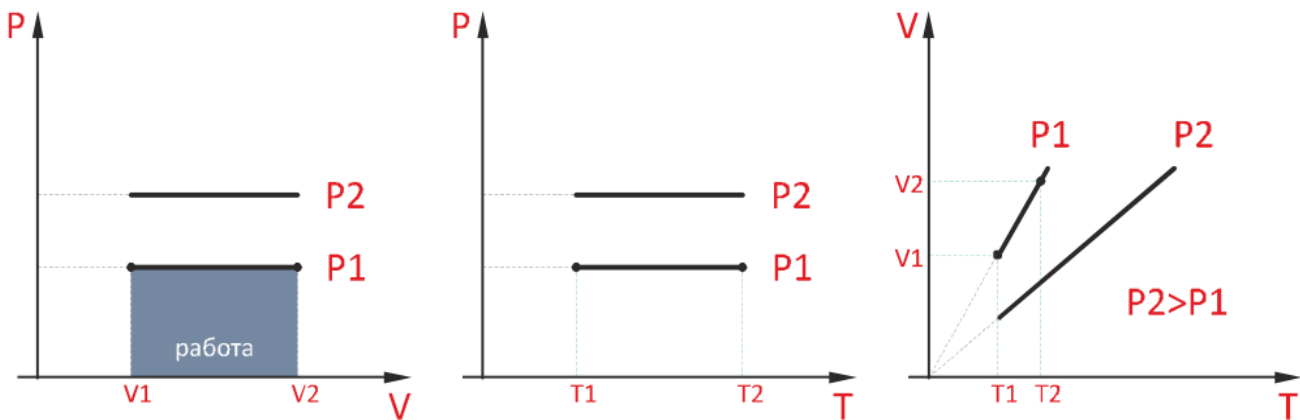


Рисунок 1.1– Графики изобарных процессов

1.3.2 Краткое описание изохорного процесса

Изохорный процесс — процесс изменения состояния термодинамической системы, протекающий при постоянном объеме.

Основным законом, описывающим данный процесс, является **закон**

Шарля: При постоянном объеме давление газа изменяется пропорционально его температуре:

$$\frac{p}{T} = \text{const} \text{ при } V = \text{const} \quad (1.4)$$

Уравнение **первого закона термодинамики** при изохорном процессе имеет вид:

$$Q = \Delta U, \quad (1.5)$$

где Q – тепло, выделенное (поглощенное) газом во время процесса;

ΔU – изменение внутренней энергии газа во время процесса.

При изохорном процессе работа газом не совершается, так как не происходит изменения его объема: $A=0$, так как $\Delta V=0$

Изменение внутренней энергии газа при изобарном и изохорном процессах определяется выражением:

$$\Delta U = \frac{i}{2} \cdot \mu R \cdot M \cdot (T_2 - T_1), \quad (1.6)$$

где i – число степеней свободы газа;

$\mu R = 8,31 \text{ кДж/(кМоль} \cdot \text{К)}$ – киломолярная постоянная газа;

M – число молей газа;

T_1 – температура газа в начале процесса;

T_2 – температура газа в конце процесса.

Графическая функциональная зависимость между основными параметрами состояния газа, иллюстрирующая изохорный процесс на диаграмме, называется изохорой. Графики изохорных процессов в различных координатах приведены на рисунке 1.2.

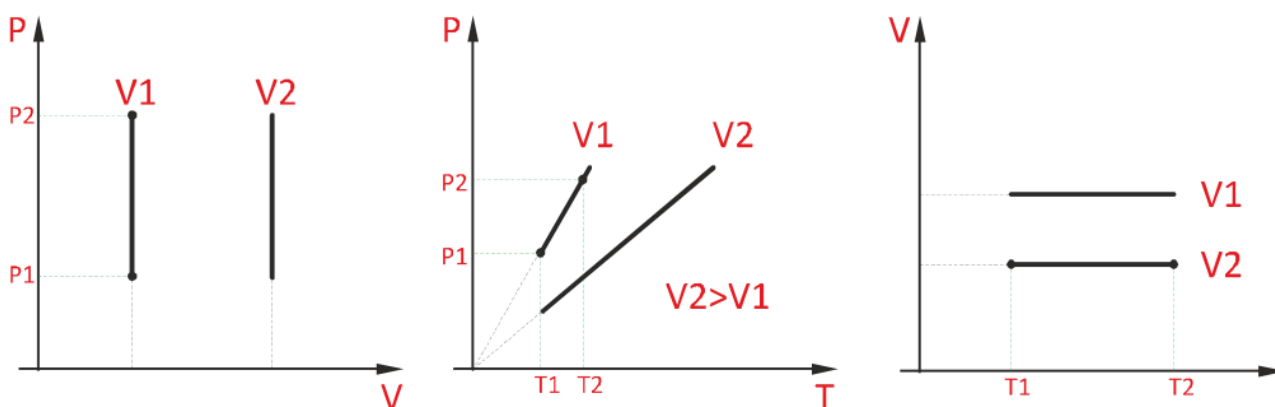


Рисунок 1.2– Графики изохорных процессов

1.4 АППАРАТУРА И МАТЕРИАЛЫ

Лабораторная установка представляет собой универсальный стенд НТЦ-14.79, к которому прикрепляется навесное устройство. Навесное устройство конструктивно является пневматическим цилиндром двустороннего действия, установленным на раме (рисунок 1.3). На пневматическом цилиндре смонтирована система подачи и сброса воздуха, а также бандажный нагревательный элемент. Пневматическая схема данного устройства изображена на рисунке 1.4.

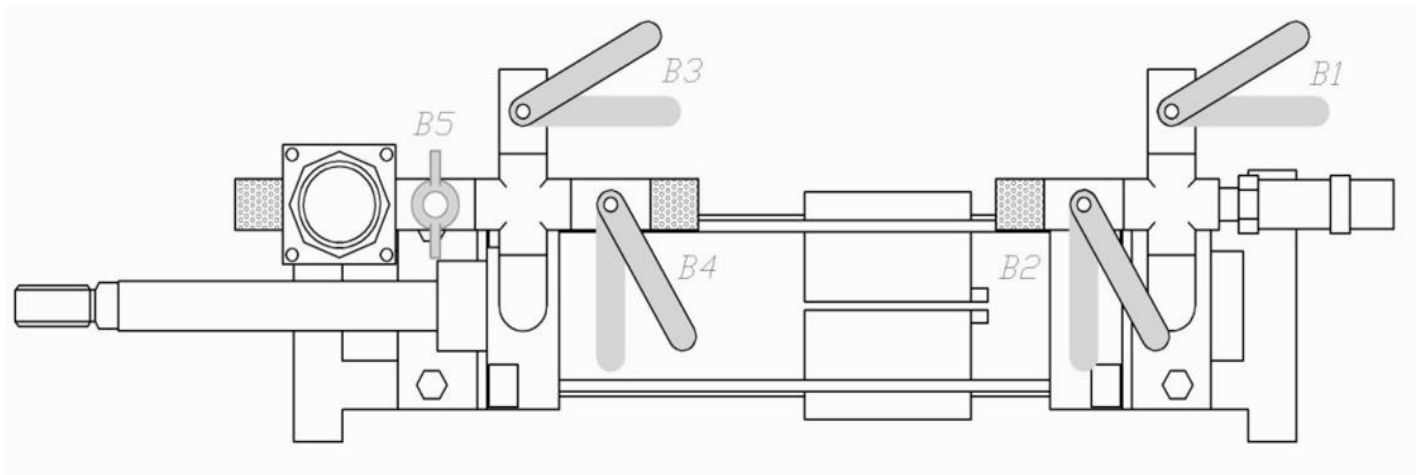
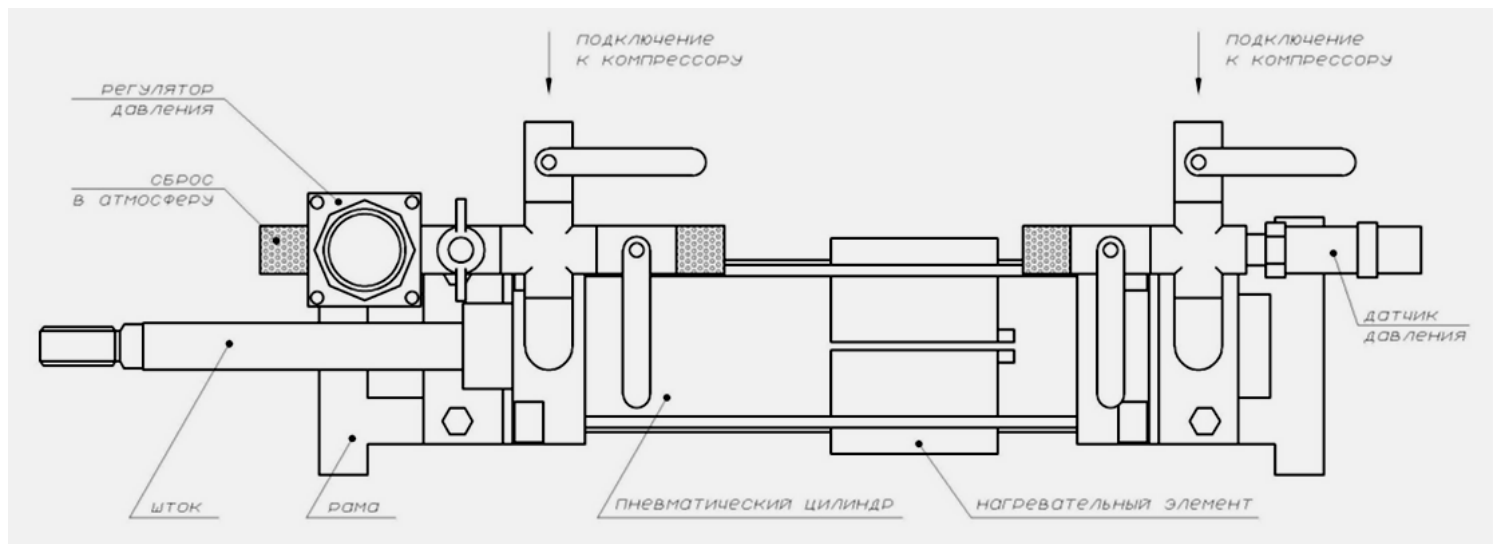


Рисунок 1.3 – Навесное устройство.

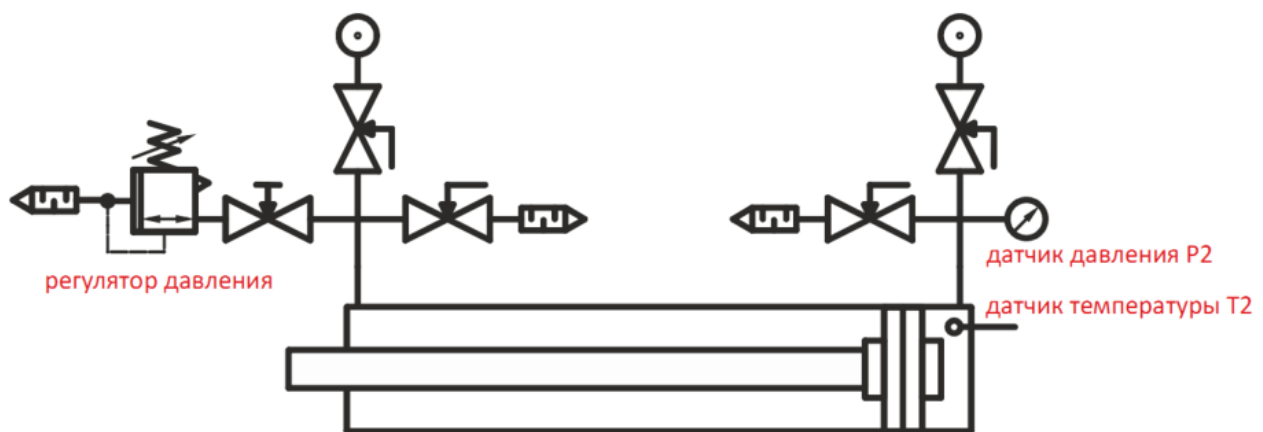


Рисунок 1.4 – Пневматическая схема навесного устройства.

Конструктивно универсальный стенд представляет собой основание, оборудованное:

- 1) интегрированной столешницей;
- 2) вертикальным рабочим полем с сеткой отверстий для быстрого монтажа навесных устройств;
- 3) рабочую панель с органами управления и устройствами индикации

К стенду подключается внешний источник сжатого воздуха (компрессор).

Первоначально перед выполнением лабораторных работ необходимо выполнить следующие действия:

1. Установить навесное устройство на рабочее поле стенда при помощи эксцентриков и зафиксировать их поворотом ручки.
2. Соединить шлангом выход компрессора и штуцера на навесном устройстве. Разъем электрического кабеля навесного устройства подключить к разъему X10 на панели стенда.

3. Подключить компрессор к электросети и установить в ресивере компрессора давление 5 – 8 bar. Мертвый объем и конструктивные элементы бесштоковой полости цилиндра при крайнем правом положении штока (максимально задвинут), образуют начальный минимальный объем $V_0 = 6,9 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3$. Диаметр внутренней полости цилиндра $d = 0,08 \text{ м}$. Измерительная система стенда позволяет измерять давление p_2 и температуру T_2 в полости пневматического цилиндра (исследуемом объеме), атмосферное давление p_1 и температуру T_1 .

Нагрев цилиндра при проведении работ, осуществляется бандажным нагревательным элементом. Включение нагревателя осуществляется тумблером SA1, при работающем нагревательном элементе светится индикатор HL2.

1.5 УКАЗАНИЯ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ

Студенты обязаны выполнять общие требования безопасности согласно Инструкции по охране труда в лаборатории 11-116. Инструктаж по технике безопасности проводится преподавателем под подпись студента в специальном журнале по технике безопасности.

1.6 МЕТОДИКА И ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1.6.1 Исследование изобарного процесса

На универсальном лабораторном стенде НТЦ-14.79 изобарный процесс осуществляется путем нагрева воздуха в полости цилиндра. Давление контролируется по прибору и поддерживается путем изменения объема полости цилиндра. Порядок проведения измерения основных параметров процесса следующий:

1. Включить питание стенда (три автоматических выключателя «Сеть»).
2. Открыть краны В2, В4.
3. Переместить шток цилиндра в среднее положение.
4. Закрыть краны В2 – В4, В1 оставить открытым.
5. Измерить положение штока, установившиеся значения температуры и давления в полости цилиндра занести в таблицу 1.1.
6. Включить нагревательный элемент цилиндра тумблером SA1.
7. Установить фиксированное значение давления в цилиндре Р2.
8. После перемещения штока, измерить его положение L_i . Величины L_i и t_i (T_{2i}) занести в таблицу 1.1. Произвести не менее 5 измерений значений данных величин.
9. Выключить нагрев тумблером SA1.
10. Вычислить значения V_i , p , T_i и заполнить таблицу 1.1 (левые столбцы).
11. Вычислить для каждого шага сжатия отношение V_i/T_i . Построить график зависимости $V = f(T)$.
12. Повторить измерения параметров V_i и T_i при другом значении давления в цилиндре Р2, занести их значения в левые столбцы и построить график зависимости $V = f(T)$ для данных значений.
13. Выключить питание стенда (три автоматических выключателя «Сеть»).

1.6.2 Исследование изохорного процесса

На универсальном лабораторном стенде НТЦ-14.79 изохорный процесс осуществляется путем нагрева воздуха в полости цилиндра при неизменном объеме.

Порядок проведения измерения основных параметров процесса

следующий:

1. Включить питание стенда (три автоматических выключателя «Сеть»).
2. Отрегулировать на минимум регулятор давления на выходе компрессора. Закрывать все краны на устройстве (B1– B5). Выставить на минимум регулятор давления на устройстве.
3. Включить компрессор. Создать в ресивере давление 5–8 bar.
4. Отрегулировать давление на выходе компрессора до требуемого уровня (24 bar).
5. Открыть краны B2, B4.
6. Переместить шток цилиндра в крайнее левое положение.
7. Закрывать краны B2, B4.
8. Открыть кран B1. Установить в полости цилиндра требуемое давление (0– 5 bar).
10. Закрывать кран B1.
11. Измерить установившиеся значения температуры t_i (T_{2i}) и давления в полости цилиндра P_2 и занести их значения в таблицу 1.2.
12. Включить нагревательный элемент цилиндра тумблером SA1.
13. По мере нагрева воздуха в полости цилиндра занести данные в таблицу 1.2. Произвести не менее 5 измерений значений P_{2i} и t_i .
14. Вычислить значения p_i и T_i и заполнить таблицу 1.2 (левые столбцы).
15. Вычислить для каждой точки нагрева отношение p_i/T_i . Построить график зависимости $p = f(T)$.
16. Повторить измерения параметров p_i и T_i при другом значении объема внутренней полости цилиндра (переместить шток цилиндра в среднее положение), занести их значения в правые столбцы. Построить график зависимости $p = f(T)$ для данных значений.
17. Выключить нагрев тумблером SA1.
18. Выключить питание стенда (три автоматических выключателя «Сеть»).
19. Закрывать краны B1, B3. Оставить открытыми краны B2, B4. Сбросить давление из ресивера компрессора. Выключить компрессор.

1.7 ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

1.7.1 Изобарный процесс

Объем полости цилиндра при любом положении штока определяется выражением: $V_i = V_0 + L_i \cdot S$,

где $S = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$ – площадь поверхности поршня.

Абсолютное давление в исследуемом объеме равно сумме атмосферного давления P_1 и избыточного в полости цилиндра P_2 :

$$p = P_1 + P_2$$

Абсолютная температура определяется выражением:

$$T_i = t_i + 273,15.$$

Таблица 1.1 – Параметры состояния газа при изобарном процессе

№ п/п	Положение штока L_i , мм		Температура процесса t_i , °C		Объем камеры V_i , м ³		Температура процесса T_i , К		V_i / T_i , м ³ / К	
1.										
2.										
3.										
4.										
5.										

1.7.2 Изохорный процесс

Абсолютное давление в исследуемом объеме равно сумме атмосферного давления P_1 и избыточного в полости цилиндра P_{2i} :

$$p_i = P_1 + P_{2i}$$

Абсолютная температура определяется выражением:

$$T_i = t_i + 273,15.$$

Таблица 1.2– Параметры состояния газа при изохорном процессе

№ п/п	Избыточное давление P_{2i} , кПа		Температура процесса t_i , °C		Абсолютное давление p_i , кПа		Температура процесса T_i , К		p_i/ T_i , кПа/ К	
1.										
2.										
3.										
4.										
5.										

1.8 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА И ЕГО ФОРМА

Отчет оформляется в 18-листовой тетради или на листах формата А4 и должен содержать:

- название работы,
- цель работы,
- краткое описание работы,
- принципиальную схему опытной установки,
- протокол записи показаний измерительных приборов и таблицы результатов обработки опытных данных,
- подробные расчеты с краткими пояснениями для первого и второго опыта,
- графики зависимостей $V = f(T)$ и $p = f(T)$
- выводы по данной лабораторной работе.

Данная лабораторная работа считается выполненной, когда студент, присутствующий на занятии и выполнивший практическую часть работы, представляет преподавателю отчет выполненной лабораторной работы в полном объеме. После выполнения лабораторной работы студент должен её защитить – ответить на все теоретические вопросы (п. 1.9.)

1.9 ВОПРОСЫ ДЛЯ ЗАЩИТЫ РАБОТЫ

1. Соотношение параметров состояния газа при изобарном процессе.
Закон Гей-Люссака.
2. Соотношение параметров состояния газа при изохорном процессе.
Закон Шарля.
3. Уравнение первого закона термодинамики для изобарного процесса.
4. Уравнение первого закона термодинамики для изохорного процесса.
5. Внутренняя энергия и работа при изобарном и изохорном процессах.
6. Порядок измерения параметров состояния газа при изобарном процессе.
7. Порядок измерения параметров состояния газа при изохорном процессе.

Литература: [1,2,4- 6]

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3,4

Исследование изотермического и адиабатного процессов

2.1 ЦЕЛЬ И СОДЕРЖАНИЕ

Экспериментальное исследование изотермического и адиабатного термодинамических процессов, определение взаимосвязи между основными параметрами данных процессов.

2.2 ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ

ПК-7– Способность систематизировать и обобщать информацию по использованию ресурсов предприятия

2.3 ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ

2.3.1 Краткое описание изотермического процесса

Изотермический процесс – процесс изменения состояния термодинамической системы, протекающий при постоянной температуре.

Основным законом, описывающим данный процесс, является **закон Бойля-Мариотта**: *При постоянной температуре давление газа изменяется обратно пропорционально его объему:*

$$p \cdot V = \text{const} \text{ при } T = \text{const} \quad (2.1)$$

Уравнение первого закона термодинамики при изотермическом процессе имеет вид:

$$Q = A, \quad (2.2)$$

где Q – тепло, выделенное (поглощенное) газом во время процесса,
 A – работа, совершенная газом в течение процесса, которая определяется выражением:

$$A = \mu R \cdot M \cdot T \cdot \ln \left(\frac{V_2}{V_1} \right) \quad (2.3)$$

где $\mu R = 8,31 \text{ кДж}/(\text{кМоль} \cdot \text{К})$ – киломолярная постоянная газа;

M – число молей газа;

T – абсолютная температура газа;

V_1 – объем газа в начале процесса;

V_2 – объем газа в конце процесса.

Изменение внутренней энергии газа при изотермическом процессе:

$$\Delta U = 0, \text{ так как } T = \text{const и } \Delta T = 0$$

Графическая функциональная зависимость между основными параметрами состояния газа, иллюстрирующая изотермический процесс на диаграмме, называется изотермой. Графики изотермических процессов в различных координатах приведены на рисунке 2.1.

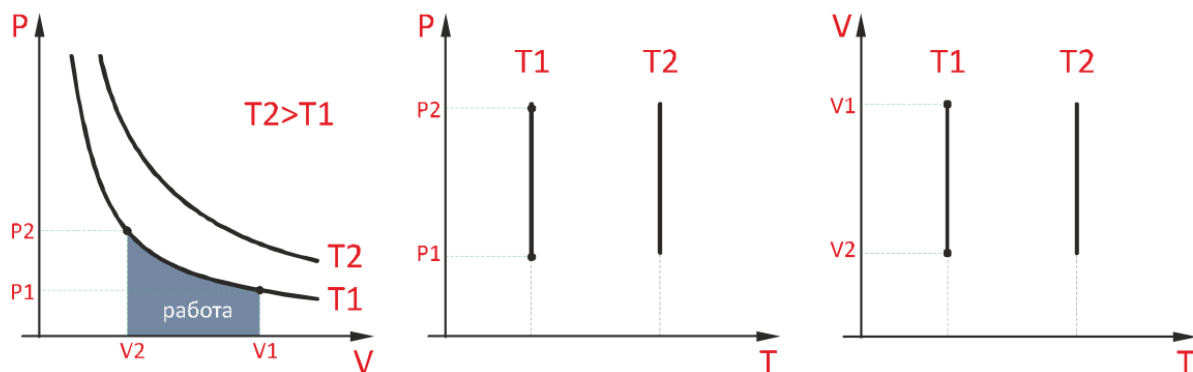


Рисунок 2.1– Графики изотермических процессов

2.3.2 Краткое описание адиабатного процесса

Адиабатный процесс — процесс изменения состояния термодинамической системы, протекающий без обмена теплотой между системой и окружающей средой.

Связь между основными параметрами состояния газа при адиабатном процессе определяется *уравнением Пуассона*:

$$p \cdot V^k = \text{const} \quad (2.4)$$

$$T^k \cdot p^{(1-k)} = \text{const} \quad (2.5)$$

$$T \cdot V^{(k-1)} = \text{const} \quad (2.6)$$

где $k = \frac{C_p}{C_V} = \frac{i+2}{i}$ — показатель адиабаты (коэффициент Пуассона).

$C_p = \frac{(i-2)}{2} \mu R$ — киломолярная теплоемкость газа при изобарном процессе:

$C_V = \frac{i}{2} \mu R$ — киломолярная теплоемкость газа при изохорном процессе;

i – число степеней свободы газа;

Уравнение первого закона термодинамики при адиабатном процессе имеет вид:

$$A = -\Delta U = -\frac{i}{2} \cdot \mu R \cdot M \cdot (T_2 - T_1), \quad (2.7)$$

T_1 – температура газа в начале процесса;

T_2 – температура газа в конце процесса.

Графическая функциональная зависимость между основными параметрами состояния газа, иллюстрирующая адиабатный процесс на диаграмме, называется адиабатой. График адиабатного процесса в координатах p - V , протекающего при изменении температуры газа в пределах от T_1 до T_2 приведен на рисунке 2.2.

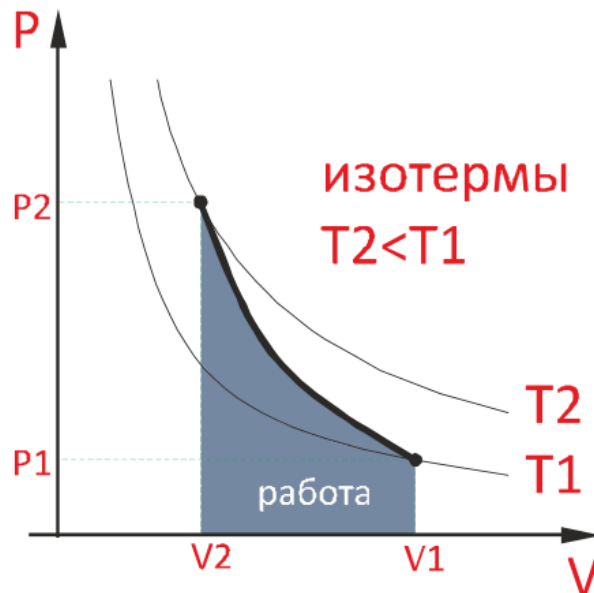


Рисунок 2.1– График адиабатного процесса

2.4 УКАЗАНИЯ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ

Студенты обязаны выполнять общие требования безопасности согласно Инструкции по охране труда в лаборатории 11-116. Инструктаж по технике безопасности проводится преподавателем под подпись студента в специальном журнале по технике безопасности.

2.5 МЕТОДИКА И ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

2.5.1 Исследование изотермического процесса

1. Включить питание стенда (три автоматических выключателя «Сеть»).
 2. Отрегулировать на минимум регулятор давления на выходе компрессора.
Закрыть все краны на устройстве (B1 - B5). Выставить на минимум регулятор давления на устройстве.
 3. Включить компрессор. Создать в ресивере давление 5 - 8 bar.
 4. Отрегулировать давление на выходе компрессора до требуемого уровня (1 - 5 bar).
 5. Открыть краны B2, B4.
 6. Переместить шток цилиндра в крайнее левое положение.
 7. Закрыть краны B2, B4.
 8. Открыть кран B1. Установить в полости цилиндра требуемое давление.
 9. Измерить положение штока L_i , установившиеся значения температуры t (T_2) и давления в полости цилиндра P_{2i} занести в таблицу 2.1.
 10. Увеличить давление на выходе компрессора с помощью регулятора.
 11. Приоткрыть кран B3, так, чтобы шток цилиндра переместился на несколько сантиметров и исследуемый объем уменьшился.
 12. Дождаться, пока температура в полости цилиндра установится равной начальной.
 13. Измерить новое положение штока, установившиеся значения температуры и давления в полости цилиндра занести в таблицу 2.1.
 14. Повторять пункты 12 - 14, до достижения штоком цилиндра крайнего положения (не менее 5 измерений).
 15. Вычислить значения V_i , p_i и T и заполнить таблицу 2.1.
 16. Вычислить для каждого шага сжатия произведение $p_i \cdot V_i$.
- Данные занести в таблицу 2.1 (левые столбцы). Построить график зависимости $p = f(V)$.

17. Провести новый эксперимент при других начальных условиях (давлении и температуре). Данные занести в таблицу 2.1 (правые столбцы). Построить график зависимости $p = f(V)$ для данных значений.

18. Выключить питание стенда (три автоматических выключателя «Сеть»).

19. Закрывать краны В1, В3. Оставить открытыми краны В2, В4. Сбросить давление из ресивера компрессора. Выключить компрессор.

2.5.2 Исследование адиабатного процесса

1. Включить питание стенда (три автоматических выключателя «Сеть»).

2. Отрегулировать на минимум регулятор давления на выходе компрессора.

Закрывать все краны на устройстве (В1 - В5). Выставить на минимум регулятор давления на устройстве.

3. Включить компрессор. Создать в ресивере давление 5 - 8 bar.

4. Отрегулировать давление на выходе компрессора до требуемого уровня (0 - 5 bar).

5. Для перемещения штока цилиндра в крайнее левое положение откройте последовательно краны В1, В4. После остановки штока закрыть В1, В4.

6. Сбросить давление в исследуемом объеме, открыв кран В2. Спустя 1 мин, закрыть В2.

7. Измерить начальные значения параметров: P_{21} , T_{21} , L_1 .

8. Быстро открыть кран В3, шток цилиндра начнет движение вправо. Сразу после остановки штока, закрыть В3. Измерить незамедлительно конечное положение штока L_2 , а также конечные значения P_{22} и T_{22} . Данные занести в таблицу 2.2.

9. Вычислить значения $V_1, V_2, p_1, p_2, T_1, T_2$ и заполнить таблицу 2.2.

10. Вычислить значения показателя адиабаты k . Данные занести в таблицу 2.2.

11. Провести серию из 3 экспериментов (п.4 - 9), изменяя первоначальное давление в компрессоре. Данные занести в таблицу 2.2.

12. Выключить питание стенда (три автоматических выключателя «Сеть»).

13. Закрывать краны В1, В3. Оставить открытыми краны В2, В4. Сбросить давление из ресивера компрессора. Выключить компрессор.

[illegible]

Таблица 2.2– Параметры состояния газа при адиабатном процессе

Параметр	1 опыт	2 опыт	3 опыт
Атмосферное давление P_1 , кПа			
Начальное положение штока L_1 , мм			
Конечное положение штока L_2 , мм			
Начальная температура процесса T_{21} , °C			
Конечная температура процесса T_{21} , °C			
Начальное избыточное давление P_{21} , Па			
Конечное избыточное давление P_{22} , Па			
Начальный объем V_1 , м ³			
Конечный объем V_2 , м ³			
Начальная температура T_1 , К			
Конечная температура T_2 , К			
Начальное абсолютное давление p_1 , Па			
Конечное абсолютное давление p_2 , Па			
Показатель адиабаты k			

2.7 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА И ЕГО ФОРМА

Отчет оформляется в 18-листовой тетради или на листах формата А4 и должен содержать:

- название работы,
- цель работы,
- краткое описание работы,
- принципиальную схему опытной установки,
- протокол записи показаний измерительных приборов и таблицы результатов обработки опытных данных,
- подробные расчеты с краткими пояснениями для первого опыта,
- график зависимости $p = f(V)$ для изотермического процесса.

– выводы по данной лабораторной работе.

Данная лабораторная работа считается выполненной, когда студент, присутствующий на занятии и выполнивший практическую часть работы, представляет преподавателю отчет выполненной лабораторной работы в полном объеме. После выполнения лабораторной работы студент должен её защитить – ответить на все теоретические вопросы (п. 2.8).

2.8 ВОПРОСЫ ДЛЯ ЗАЩИТЫ РАБОТЫ

1. Соотношение параметров состояния газа при изотермическом процессе. Закон Бойля-Мариотта.
2. Соотношение параметров состояния газа при адиабатном процессе.
Уравнения Пуассона
3. Уравнение первого закона термодинамики для изотермического процесса.
4. Уравнение первого закона термодинамики для адиабатного процесса.
5. Работа газа при изотермическом и адиабатном процессах.
6. Порядок измерения параметров состояния газа при изотермическом процессе.
7. Порядок измерения параметров состояния газа при адиабатном процессе.

Литература: [1,2,4- 6]

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5,6

Исследование теплопроводности материалов

3.1 ЦЕЛИ СОДЕРЖАНИЕ

3.1.1. Изучение физической сущности процесса теплопроводности.

3.1.2. Знакомство с методами определения теплопроводности: а) метод «трубы» для сыпучих материалов; б) метод «пластины» для твердых материалов.

3.1.3. Опытное определение коэффициента теплопроводности исследуемого материала методом «пластины» и установление зависимости величины коэффициента теплопроводности от температуры.

3.2 ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ

ПК-7– Способность систематизировать и обобщать информацию по использованию ресурсов предприятия

3.3 ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ

3.3.1 Основные понятия

Теплопроводностью называется процесс распространения тепловой энергии в твердом теле при передаче тепла между частицами вещества без их перемешивания. Распространение тепла идет всегда в сторону убывания температуры. Теплопроводность характеризуется функцией изменения температуры внутри этого тела.

Совокупность всех значений температур во всех точках рассматриваемого тела называется температурным полем. Температурное поле в общем случае трехмерное.

Изотермической поверхностью называется поверхность, соединяющая внутри тела точки с одинаковой температурой (рисунок 3.1).

Характеристиками температурного поля в любой его точке являются две величины:

– градиент температуры ($grad\ t$), характеризующий интенсивность изменения температуры по расстоянию;

– удельный тепловой поток (q), характеризующий интенсивность переноса тепловой энергии по направлению уменьшения температуры.

Температурным градиентом ($\overrightarrow{grad\ t}$) называется вектор, показывающий интенсивность изменения температуры в направлении нормали (n) к изотермической поверхности в данной точке и равный:

$$grad\ t = \lim_{\Delta n \rightarrow 0} \frac{\Delta t}{\Delta n} = \frac{\partial t}{\partial n}, \quad \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{м}}, \quad (3.1)$$

где Δt – изменение температуры, $^{\circ}\text{C}$,

Δn – соответствующее этому изменению расстояние, м.

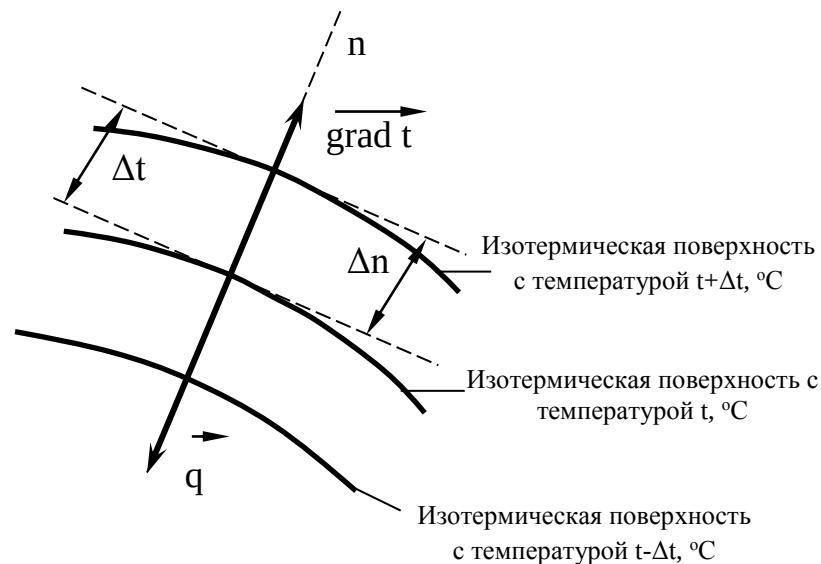


Рисунок 3.1 – К определению градиента температуры ($\overrightarrow{grad\ t}$)

Этот вектор направлен в сторону увеличения температуры.

Удельным тепловым потоком или поверхностной плотностью теплового потока называется вектор, определяющий количество тепловой энергии, проходящей в единицу времени через единицу площади изотермической поверхности в направлении нормали в данной точке в сторону понижения температуры.

Основной закон теплопроводности (закон Фурье) устанавливает связь между характеристиками температурного поля в любой его точке. Уравнение Фурье дает математическое описание произвольного температурного поля в дифференциальной форме.

Удельный тепловой поток q при теплопроводности пропорционален градиенту температуры и направлен в обратную сторону:

$$\bar{q} = -\lambda \cdot \text{grad } t = -\lambda \cdot \frac{\partial t}{\partial n} \quad (3.2)$$

Знак «—» учитывает, что вектор теплового потока направлен противоположно вектору градиента температур.

Коэффициент пропорциональности λ называется коэффициентом теплопроводности (Вт/(м·°C)) и является важной характеристикой способности материала передавать или задерживать тепло при прохождении теплового потока через толщу материала. Для металлов (сталь – медь), применяемых в теплообменниках, коэффициент теплопроводности принимает значения $\lambda = 50 \div 400$ Вт/(м·°C), для теплоизоляционных материалов – $\lambda = 0,2 \div 0,04$ Вт/(м·°C). Значения коэффициентов теплопроводности для различных материалов приведены в таблицах 3.1. и 3.2.

Таблица 3.1 – Коэффициенты теплопроводности металлов

Металл	Коэффициент теплопроводности металлов λ , Вт/(м °C) при температурах, °C				
	– 100	0	100	300	700
Алюминий	245	238	230	226	90
Медь	405	385	382	376	350
Титан	—	—	16	15	—
Железо	94	76	69	55	34
Золото	330	310	310	—	—
Серебро	422	418	417	362	—

Таблица 3.2. – Коэффициенты теплопроводности строительных материалов

Материал	Плотность, кг/м ³	Коэффициент теплопроводности λ , Вт/(м °С)
Жидкие керамические теплоизоляторы (Корунд, Астратек и др.)	–	0,0012
Бетон	2400	1,51
Пенобетон	1000	0,29
Пенобетон	300	0,08
Стекло	2500	0,76
Пеностекло	400	0,11
Пеностекло	200	0,07
Керамзитобетон	1800	0,66
Керамзитобетон	500	0,14
Керамзит	800	0,18
Кирпич красный глиняный	1800	0,56
Кирпич, силикатный	1800	0,70
Гранит	2800	3,49
Мрамор	2800	2,91
Сосна, ель поперек волокон	500	0,09
Сосна, ель вдоль волокон	500	0,18
Гипсокартон	800	0,15
Минеральная вата	200	0,07
Минеральная вата	50	0,048
Пенополистирол	150	0,05
Пенополистиролэкструдированный	45	0,036
Пенопласт ПВХ	125	0,052
Пенополиуретан	80	0,041
Пенополиуретан	30	0,020
Песок	1600	0,35
Полиэтилен	1500	0,30
Линолеум	1600	0,33
Полипропилен	–	0,2
Вспененный полиэтилен	–	0,04

В качестве примера рассмотрим уравнения к решению задач теплопроводности для наиболее простых, но практически важных случаев – теплопроводность плоской и цилиндрической стенки в стационарных условиях.

3.3.2. Теплопроводность плоских стенок

Для однородной плоской стенки с толщиной δ (м), коэффициентом теплопроводности материала стенки λ (Вт/(м×°С)), при температурах на поверхностях

стенки t_1 и t_2 величина удельного теплового потока q (Вт/м²) определяется по формуле (3.3).

$$q = \frac{t_1 - t_2}{\frac{\delta}{\lambda}}. \quad (3.3)$$

Величина $R = \frac{\delta}{\lambda}$ ((м²·°С)/Вт) называется термическим сопротивлением.

Для многослойной плоской стенки с n однородными, параллельными плотно прилегающими слоями, толщиной δ_i и коэффициентами теплопроводности λ_i в каждом слое, с температурами на наружной поверхности первого слоя во всех точках t_1 , на поверхности последнего слоя - t_{n+1} . Удельный тепловой поток q постоянен для всех слоев и направлен в сторону понижения температуры, определяется по формуле (3.4).

$$q = \frac{t_1 - t_{n+1}}{R_1 + R_2 + \dots + R_i + \dots + R_n}. \quad (3.4)$$

Если обозначить $R_{MH} = R_1 + R_2 + \dots + R_n = \sum_{i=1}^{i=n} R_i$ – термическое сопротивление

многослойной стенки, тогда:

$$q = \frac{t_1 - t_{n+1}}{R_{MH}}. \quad (3.5)$$

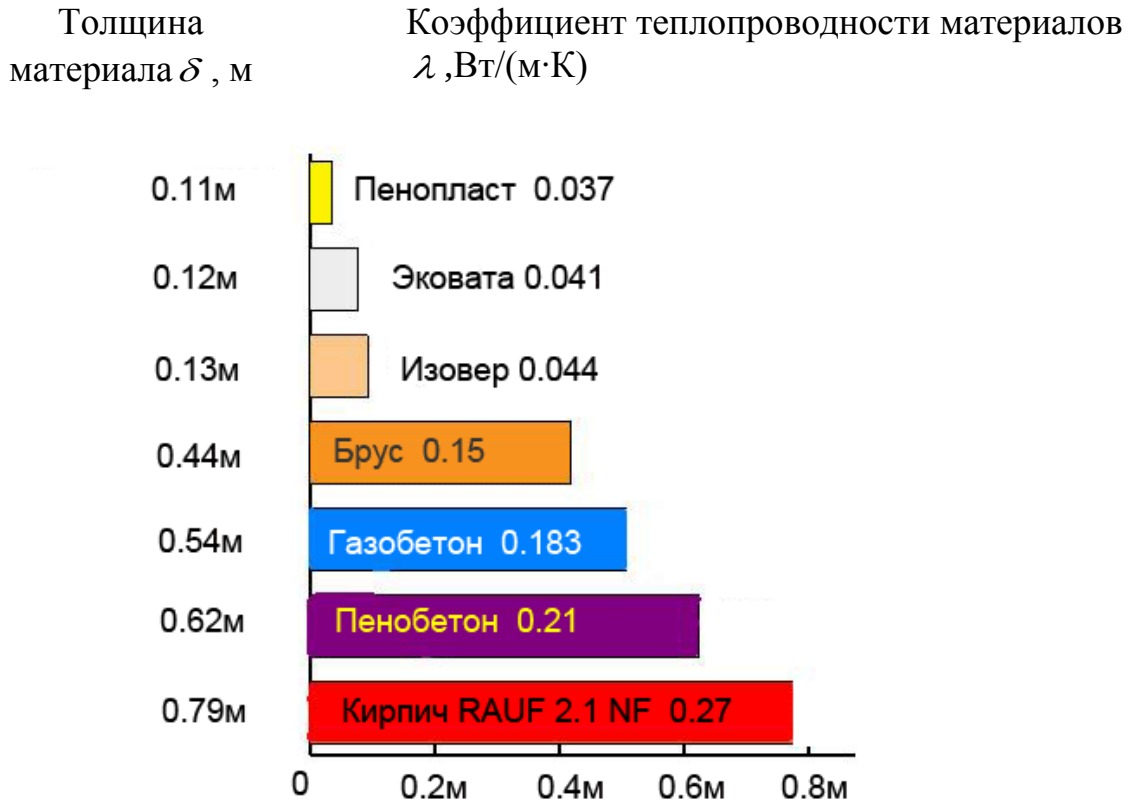


Рисунок 3.2 – Эквивалентные толщины различных строительных материалов при термическом сопротивлении $R=2,93$ (м²·К)/Вт

3.3.3. Теплопроводность цилиндрических стенок

Для однородной однослойной цилиндрической стенки, у которой коэффициент теплопроводности материала равен λ , внутренний и наружный диаметры соответственно d_B и d_H , а температуры на наружной и внутренней поверхностях соответственно t_1 и t_2 , удельный линейный тепловой поток q_u определяется по формуле (3.6).

$$q_u = \frac{t_1 - t_2}{R} = \frac{t_1 - t_2}{\frac{1}{2\pi\lambda} \ln \frac{d_H}{d_B}}. \quad (3.6)$$

Термическое сопротивление цилиндрической стенки (м °С/Вт) равно:

$$R = \frac{1}{2\pi\lambda} \ln \frac{d_H}{d_B}. \quad (3.7)$$

Для многослойной цилиндрической стенки, состоящей из n однородных и концентрических цилиндрических слоев с постоянным коэффициентом теплопроводности λ_i в каждом слое, температура и диаметр внутренней поверхности первого слоя равны t_1 и d_1 , на наружной поверхности последнего (n -ого) слоя t_{n+1} и d_{n+1} , удельный линейный тепловой поток на 1 погонный метр длины цилиндрической стенки $q_{\text{ц}}$ определяется по формуле (3.8)

$$q_{\text{ц}} = \frac{t_1 - t_{n+1}}{R_{\text{ц}1} + R_{\text{ц}2} + \dots + R_{\text{ц}n}}. \quad (3.8)$$

Термическое сопротивление многослойной цилиндрической стенки:

$$R_{\text{ц.мн}} = R_{\text{ц}1} + R_{\text{ц}2} + \dots + R_{\text{ц}n} = \sum_{i=1}^{i=n} R_{\text{ц}i} = \sum_{i=1}^{i=n} \frac{1}{2\pi\lambda_i} \ln \frac{d_{i+1}}{d_i}. \quad (3.9)$$

В общем случае коэффициент теплопроводности зависит как от химической природы тела, обуславливающей все его свойства, так и от параметров его состояния (температура, давление и т.д.). Значения коэффициента теплопроводности отдельных материалов определяются опытным путем.

3.3.4 Исследование теплопроводности сыпучих материалов методом «трубы»

Для испытания теплопроводности сыпучих материалов наиболее подходящим является метод «трубы». При этом исследуемому материалу придается форма цилиндрического слоя, на внутренней и внешней поверхностях которого поддерживаются некоторые средние значения температур, соответственно t_1 и t_2 , причем $t_1 > t_2$. При установившемся тепловом режиме количество тепла, проходящего через исследуемый слой сыпучего материала, можно определить по формуле (3.10) для теплового потока через цилиндрическую стенку.

Принципиальная схема экспериментальной установки для исследования сыпучего материала на теплопроводность представлена на рисунке 1.3. Установка состоит из двух труб – наружной диаметром (d_1) и внутренней диаметром (d_2), между которыми помещен исследуемый сыпучий материал, коэффициент теплопроводности которого надо определить.

Во внутренней трубе размещен электронагреватель (4), тепловой поток которого распространяется в радиальном направлении через слой сыпучего материала и наружную трубу, в окружающую среду. Это количество тепла определяется по расходу электроэнергии на электрический нагреватель. Потребляемая нагревателем мощность регулируется автотрансформатором (7). Для возможности расчета мощности нагревателя, в его электрическую цепь подключен амперметр (5) и вольтметр (6).

Благодаря хорошему контакту исследуемого сыпучего материала с внутренней и внешней поверхностями трубы можно считать, что соответствующие соприкасающиеся поверхности материала и трубы имеют одну и ту же температуру.

В наружную поверхность внутренней и наружной трубы установлено по три термопары соответственно (1) и (2), соединительные провода которых подключены к потенциометру (3).

Для учета искажения температурного поля по длине исследуемого материала эти термопары расположены равномерно по длине труб – три на внутренней поверхности трубы и три на наружной поверхности трубы. Для того чтобы снизить до минимума потери тепла через боковые поверхности, и направить основной тепловой поток в радиальном направлении, на торцы установки установлены заглушки из теплоизоляционного материала.

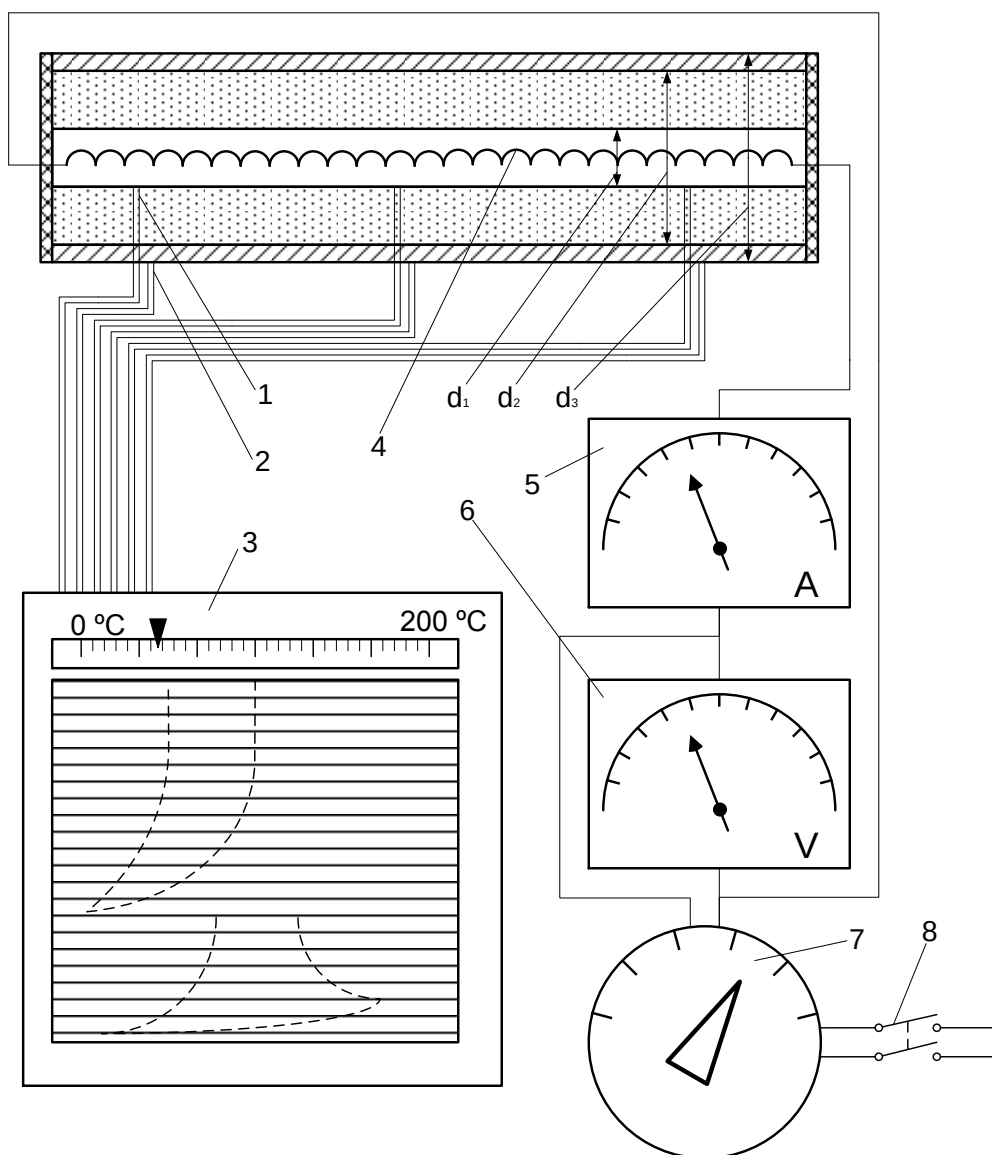


Рисунок 3.3 – Схема лабораторной установки для исследования сыпучих материалов на теплопроводность методом «трубы»

Коэффициент теплопроводности исследуемого сыпучего материала, с учетом конфигурации лабораторной установки (рисунок 3.3), определяется из общего выражения для теплового потока через цилиндрическую двухслойную стенку, состоящую из слоя материала и наружной трубы:

$$\lambda_c = \frac{\ln\left(\frac{d_2}{d_1}\right)}{\frac{2\pi L(t_{\text{BC}} - t_{\text{HT}})}{Q} - \frac{1}{\lambda_{\text{тр}}} \ln\left(\frac{d_3}{d_2}\right)}, \quad (3.10)$$

где $t_{вс}$ – средняя температура внутренней поверхности сыпучего материала (наружной поверхности внутренней трубы), °С;

$t_{нт}$ – средняя температура наружной поверхности наружной трубы, °С;

Q – тепловой поток, проходящий через двухслойную цилиндрическую конструкцию в радиальном направлении, Вт;

λ_c и $\lambda_{тр}$ – соответственно коэффициенты теплопроводности исследуемого сыпучего материала и наружной трубы, Вт/(м °С).

Геометрические характеристики установки (d_1, d_2, d_3, L), а также коэффициент теплопроводности материала наружной трубы $\lambda_{тр}$ известны, поэтому необходимо опытным путем определить только значение теплового потока, равное мощности нагревательного элемента и средние значения температур, измеренных на внутренней и наружной поверхности цилиндрического слоя материала.

3.3.5 Исследование теплопроводности методом «пластины»

Данный метод используется для испытания на теплопроводность твердых материалов. Исследуемый образец 1 (рисунок 3.4), представляющий собой диск диаметром d и толщиной δ , помещается между нагревательным элементом 2 и охлаждающей поверхностью 3. Таким образом, тепловой поток 7, проходящий через исследуемый плоский образец, отводится циркулирующей за охлаждающей поверхностью водой 4. Для уменьшения потерь теплоты через поверхности нагревателя не контактирующие с исследуемым образцом, предусмотрен теплоизолирующий кожух 5.

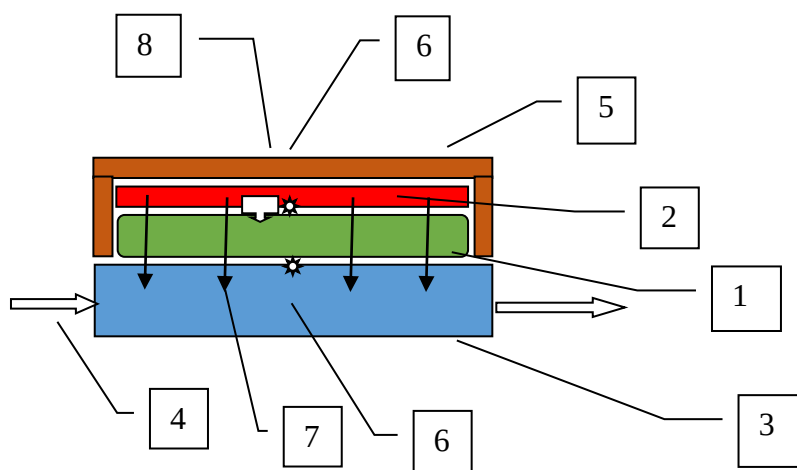


Рисунок 3.4– Принципиальная схема установки для исследования теплопроводности материалов методом «пластины»

Он представляет собой полый цилиндр, выполненный из материала с низкой теплопроводностью. Для измерения температур на поверхностях образца со стороны греющей и охлаждающей поверхностей, расположены датчики температуры 6, цифровые указатели которых размещены на приборной панели лабораторного стенда.

Мощность нагревателя устанавливается с помощью переключателя R1 и контролируется по показаниям индикатора РН1. С помощью датчика 8 определяется удельный тепловой потока q ($\text{Вт}/\text{м}^2$), проходящий через исследуемый образец, величина которого так же отображается на приборной панели стенда.

Конфигурация отображаемых на индикаторах параметров изображена на рисунке 3.5.

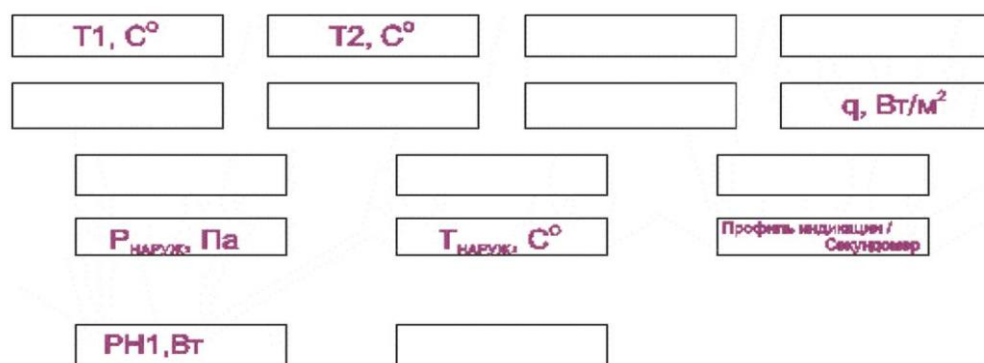


Рисунок 3.5–Конфигурация отображаемых на индикаторах параметров установки

Вид рабочей части лабораторного стенда представлен на рисунке 3.6.



Рисунок 3.6– Рабочая часть установки по исследованию материалов на теплопроводность методом «пластины»

3.4 УКАЗАНИЯ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ

Студенты обязаны выполнять общие требования безопасности согласно Инструкции по охране труда в лаборатории 11-108. Инструктаж по технике безопасности проводится преподавателем под подпись студента в специальном журнале по технике безопасности.

3.5 МЕТОДИКА И ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

3.5.1 Для проведения лабораторной работы необходимо перед включением стенда установить рабочую часть №1 «Исследование теплопроводности материалов методом пластины» (рисунок 3.6) на перфорированную панель и закрепить поворотом крепежных рукояток во встречном направлении на четверть оборота.

3.5.2 Произвести подключение кабелей к стенду в разъемы, размещенные на верхней стальной крышке.

ВНИМАНИЕ! Необходимо соблюдать соответствие подключаемых попарно разъемов друг другу: одна коммутируемая пара – разъемы типа «папа/мама».

3.5.3 Исследуемый образец в форме диска диаметром 100 мм, толщиной δ установить внутри установки и с помощью винтового механизма слегка зажать его между нагревателем и датчиком теплового потока.

ВНИМАНИЕ! Не прилагать усилий при сжатии, чтобы не повредить датчик плотности теплового потока.

3.5.4 Подключить к установке рукава (красного цвета) подачи охлаждающей воды, открыть вентиль охлаждающего контура (красного цвета).

3.5.5 Тумблер регулятора напряжения РН1 установить в положение «отключен».

3.5.6 Регулятор R1 установить на отметку «min».

3.5.7 Включить автоматические выключатели QF1 и QF2 на панели стенда. По умолчанию установится профиль индикации «L1», что соответствует номеру выполняемой работы. Конфигурация отображаемых на индикаторах параметров изображена на рис.3.5.

3.5.8 Включить насос подачи охлаждающей воды Н2, включить тумблер РН1 и регулятором R1 плавно увеличить мощность, подаваемую на нагреватель до значения, заданного преподавателем. Величина мощности контролируется по индикатору РН1, Вт.

3.5.9 Дождаться, когда процесс теплообмена можно будет считать установившимся, т.е. изменение значений температуры T_1 и T_2 за 2 минуты не превышает $0,1^\circ\text{C}$. Зафиксировать показания приборов и занести их в таблицу 3.3.

3.5.10 Регулятором R1 установить мощность, подаваемую на нагреватель до значения, соответствующего следующему режиму, заданному преподавателем. Выполнить пункт 3.5.9.

3.5.11 Пункт 3.5.10 выполняется в соответствие с количеством режимов, заданных преподавателем.

3.5.12 По окончании работы установить регулятор R1 на отметку «min» и отключить тумблер регулятора напряжения РН1, отключить насос подачи охлаждающей воды Н2, отключить автоматические выключатели QF1 и QF2.

3.6 ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

3.6.1 Результаты измерений и обработки экспериментальных данных заносятся в таблицу 3.3.

Таблица 3.3 – Результаты измерений и обработки экспериментальных данных

№ режима	δ мм	РН1 Вт	t_1 °C	t_2 °C	q Вт/м ²	λ Вт/(м °C)	t_{cp} °C	λ_0 Вт/(м °C)	b Вт/(м °C ²)
1									
2									
3									

3.6.2 Определить значения коэффициента теплопроводности исследуемого материала для каждого режима установки из уравнения (3.3) для плоской однородной однослойной стенки, т.е. по формуле (3.11).

$$\lambda = \frac{q \cdot \delta}{t_1 - t_2}. \quad (3.11)$$

3.6.3 Определить средние температуры исследуемого образца для каждого режима установки по формуле (3.12).

$$t_{cp} = \frac{t_1 + t_2}{2}. \quad (3.12)$$

3.6.4 Значение коэффициента теплопроводности испытуемого материала зависит от температуры, поэтому полученное значение λ для каждого режима следует отнести к средней температуре исследуемого образца соответствующего теплового режима установки. По полученным значениям теплопроводности λ необходимо получить аналитическую зависимость теплопроводности от температуры $\lambda=f(t)$. Приближенно эту зависимость можно представить в виде линейной функции (3.13).

$$\lambda = \lambda_0 \pm b t_{cp} \quad (3.13)$$

где λ_0 – коэффициент теплопроводности материала при температуре 0 °С;

b – постоянная, численно равная тангенсу угла наклона линии изменения λ к оси температуры.

Знаки «+» или «–» ставятся в зависимости от того, увеличивается ли теплопроводность материала с ростом температуры или уменьшается.

В данной работе требуется определить λ_0 и b .

На основании расчетных данных необходимо построить в масштабе график функциональной зависимости. Ось ординат коэффициента теплопроводности должна начинаться с 0 Вт/(м·К).

Из графика необходимо определить величины λ_0 и коэффициента b .

Полученные значения λ_0 и b заносятся в таблицу 3.3 и записывается аналитическая зависимость $\lambda = \lambda_0 \pm bt_{cp}$ с подставленными численными значениями λ_0 и b .

3.6.5 По результатам работы делается вывод о зависимости теплопроводности исследуемого материала от температуры.

3.7 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА И ЕГО ФОРМА

Отчет оформляется в 18-листовой тетради или на листах формата А4 и должен содержать:

- название работы,
- цель работы,
- краткое описание работы,
- принципиальную схему опытной установки,
- протокол записи показаний измерительных приборов и таблицу

результатов обработки опытных данных,

- подробные расчеты с краткими пояснениями для первого опыта,
- график зависимости коэффициента теплопроводности от средней

температуры,

- определение опытных величин b и λ_0 и сопоставление результатов опыта с литературными данными,
- выводы по данной лабораторной работе.

Данная лабораторная работа считается выполненной, когда студент, присутствующий на занятии и выполнивший практическую часть работы, представляет преподавателю отчет выполненной лабораторной работы в полном объеме. После выполнения лабораторной работы студент должен её защитить – ответить на все теоретические вопросы и решить одну задачу из перечня вопросов и задач, представленных в пункте 3.8.

3.8 ВОПРОСЫ И ЗАДАЧИ ДЛЯ ЗАЩИТЫ РАБОТЫ

1. Физическая сущность процесса теплопроводности.
2. Основной закон теплопроводности (закон Фурье) и его приложение к телам простой геометрической формы.
3. Коэффициент теплопроводности и факторы, влияющие на его величину.
4. Дать определение градиента температуры с графической интерпретацией.
5. Методика определения теплопроводности методом «пластины».
6. Как описывается температурное поле?
7. Назвать основные виды теплообмена.
8. Размерность коэффициента теплопроводности.
9. Размерность коэффициента термического сопротивления.
10. Связь между температурами, измеренными по шкале Цельсия и по шкале Кельвина.
11. Связь между удельным и абсолютным тепловым потоком, их размерности.
12. Термическое сопротивление многослойной плоской стенки.
13. Указать параметры неустановившегося температурного поля.
14. Формула для определения линейной плотности теплового потока для многослойной цилиндрической стенки.

15. Формула для определения теплового потока через многослойную плоскую стенку.

16. Определить тепловой поток через поверхность паропровода длиной $L=5$ м с внутренним диаметром $d_{\text{в}}=180$ мм, толщиной трубы $\delta_{\text{т}}=10$ мм, изолированного теплоизоляцией толщиной $\delta_{\text{из}}=50$ мм. Коэффициент теплопроводности трубы $\lambda_{\text{т}}=58$ Вт/(м·К), изоляции $\lambda_{\text{из}}=0,05$ Вт/(м·К). Температура на внутренней поверхности трубы $t_{\text{в}}=170^{\circ}\text{C}$ и на наружной поверхности изоляции $t_{\text{н}}=50^{\circ}\text{C}$.

17. Определить коэффициент теплопроводности кирпичной стенки печи толщиной $\delta = 380$ мм (1,5 кирпича), если температура на внутренней поверхности стенки $t_{\text{в}}=900^{\circ}\text{C}$ и на наружной $t_{\text{н}} = 110^{\circ}\text{C}$. Потери теплоты через стенку $q=300$ Вт/м².

18. Определить толщину стали с коэффициентом теплопроводности 40 Вт/(м·К) теплотехнически эквивалентную (одинаковое термическое сопротивление) слою накипи толщиной $\delta_{\text{н}} = 1$ мм с коэффициентом теплопроводности $\lambda_{\text{н}} = 0,4$ Вт/(м·К).

Литература: [1- 6]

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7,8

Исследование теплоотдачи при свободной конвекции воздуха около горизонтального цилиндра

4.1 ЦЕЛИ СОДЕРЖАНИЕ

Опытное определение коэффициента теплоотдачи для горизонтальной трубы при свободном движении воздуха в зависимости от температурного напора.

4.2 ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ

ПК-7– Способность систематизировать и обобщать информацию по использованию ресурсов предприятия

4.3 ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ

Перенос тепла конвекций происходит при омывании поверхности твердых тел жидкостями и газами.

Явление переноса тепла конвекцией при соприкосновении горячих жидкостей или газов с холодными поверхностями твердых тел, или наоборот, называется теплоотдачей или конвективным теплообменом. Количество тепла, отдаваемого при теплоотдаче от горячих тел к холодным, определяется по формуле Ньютона-Рихмана (4.1) и (4.2).

$$Q = \alpha(t_1 - t_2)F, \text{ Вт} \quad (4.1)$$

или

$$q = \alpha(t_1 - t_2), \text{ Вт/м}^2, \quad (4.2)$$

где α – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м²·К),

t_1 – температура тела, отдающего тепло, °С,

t_2 – температура тела, воспринимающего тепло, °С,

F – площадь поверхности теплообмена, м².

Коэффициент теплоотдачи α , Вт/(м²·К), представляет собой мощность теплового потока, проходящего через 1 м² стенки при разности температуры между жидкостью и стенкой в 1 градус.

Под режимом движения жидкости подразумевается характер течения жидкости, создающий либо слоистое (ламинарный режим), либо завихренное беспорядочное течение, называемое турбулентным.

Экспериментальное изучение явлений теплообмена в большинстве случаев сводится к определению коэффициента теплоотдачи.

Уравнения теплоотдачи конвекций обычно представляют в критериальной форме, например, в виде функциональной зависимости (4.3).

$$Nu = f(Re, Gr, Pr) \quad (4.3)$$

где Re , Gr , Pr – соответственно, критерии Рейнольдса, Грасгофа и Прандтля.

Различают вынужденное и свободное движение жидкости.

Применительно к вынужденному турбулентному движению жидкости критериальная зависимость значительно упрощается устранением критерия Грасгофа, т.е. имеет вид (4.4).

$$Nu = f(Re, Pr). \quad (4.4)$$

Специальными исследованиями, проведенными в области теплоотдачи, установлены расчетные формулы для определения коэффициента теплоотдачи, в которых зависимость между критериями представлена в виде степенных функций. Например, в результате исследования турбулентного движения воздуха по трубопроводу получена формула (4.5).

$$Nu = 0,018 \cdot Re^{0,8}. \quad (4.5)$$

Из приведенных соотношений при известных значениях физических параметров жидкости можно определить величину коэффициента теплоотдачи.

Свободным называется также движение жидкости, которое обуславливается разностью плотностей нагретых и холодных ее частиц и всецело определяется наличием теплообмена.

Для рассматриваемого случая теплообмена плотность воздуха и подъемная сила определяются температурным напором, а зона распространения процесса – поверхностью исследуемой трубы. Таким образом, теплоотдача тела определяется, в первую очередь, разностью температур тела и окружающей среды, т.е. температурным напором.

Как известно, процесс теплообмена при свободном движении жидкости зависит от режима ее движения около тепловоспринимающей (теплоотдающей) поверхности.

Применительно к теплообмену на горизонтальных трубах этот процесс имеет ряд особенностей. На нижней половине периметра трубы вследствие увеличения толщины ламинарной пленки, коэффициент теплоотдачи уменьшается. Это происходит до тех пор, пока увеличение толщины пленки не приводит к ее срыву, разрушению и началу турбулизации среды. Турбулизация, в свою очередь, ведет к увеличению коэффициента теплоотдачи до некоторого значения, которое в дальнейшем остается постоянным.

В зависимости от диаметра трубы переход от ламинарного режима к турбулентному происходит по разному. При диаметре горизонтальной трубы 20÷50 мм, ламинарный характер потока сохраняется до некоторой высоты над поверхностью трубы, после чего начинается турбулентный режим движения. При большом диаметре горизонтальных труб (200÷300 мм) ламинарное движение среды переходит в турбулентное еще до верхней кромки трубы. Имеющие аналитические решения задачи конвективного теплообмена при свободном движении среды выполнено при целом ряде упрощающих предпосылок и мало соответствует действительным условиям протекания процесса. Поэтому на практике широко используется экспериментальный метод с привлечением теории подобия.

Критериальное уравнение, описывающее конвективный теплообмен при свободном движении жидкости в неограниченном пространстве, имеет вид

$$Nu = C \cdot (Gr \cdot Pr)^n, \quad (4.6)$$

где Nu – критерий Нуссельта;

Критерий Нуссельта как комплекс физических величин определяется по формуле (2.7)

$$Nu = \frac{\alpha \cdot d}{\lambda}, \quad (4.7)$$

Gr – критерий Грасгофа

$$Gr = \frac{\beta \cdot g \cdot d^3 \cdot \Delta T}{\nu^2}, \quad (4.8)$$

Pr – критерий Прандтля

$$Pr = \frac{\nu}{a}, \quad (4.9)$$

В аналитические выражения критериев теплообмена (4.6–4.9) входят сле-

дующие коэффициенты и физические величины:

C и n – эмпирические коэффициенты, зависящие от режима движения (ламинарный, переходный, турбулентный) и определяемые по таблице 4.1 по численному значению произведения критериев ($Gr \cdot Pr$);

α – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м²·К);

d – определяющий геометрический размер, для цилиндрических поверхностей принимается диаметр трубы, м;

λ – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К);

$\beta = 1/T_{\text{погр}}$ – коэффициент объемного расширения, 1/К;

$T_{\text{погр}} = (T_{\text{ст}} + T_{\text{ж}})/2$ – определяющая температура (температура теплового пограничного слоя), К;

g – ускорение силы тяжести, м/с²;

$\Delta T = T_{\text{ст}} - T_{\text{ж}}$ – температурный напор, К;

a – коэффициент температуропроводности, м²/с;

ν – кинематическая вязкость воздуха, м²/с.

Значения физических параметров, входящих в выражения критериев теплообмена, определяются при температуре теплового пограничного слоя ($t_{\text{погр}}$, °С) по интерполяционным формулам приложения 1 данного лабораторного практикума.

Значения коэффициентов C и n , входящих в уравнение (4.6), определяются в зависимости от численного значения произведения критериев Грасгофа и Прандтля по таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Численные значения коэффициентов C и n для различных режимов движения

п/п	$Gr \cdot Pr$	Режим движения	C	n
1	$1 \cdot 10^{-3} \div 5 \cdot 10^2$	ламинарный режим	1,48	1/8
2	$5 \cdot 10^2 \div 2 \cdot 10^7$	переходный режим	0,54	1/4
3	$2 \cdot 10^7 \div 1 \cdot 10^{13}$	турбулентный режим	0,135	1/3

Ориентировочные значения коэффициентов теплоотдачи представлены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Ориентировочные значения коэффициентов теплоотдачи

Условие	Ориентировочный коэффициент теплоотдачи $\alpha, \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$
Спокойная вода – металлическая стенка	450
Текущая вода – металлическая стенка	$450 + 2100 \cdot W^{0,5}$
Кипящая вода – металлическая стенка	4500
Конденсирующийся водяной пар	10500
Воздух – гладкая поверхность	$5,6 + 4 \cdot W$

Примеры графиков изменения температуры в тепловых пограничных слоях и в толще строительных материалов представлены на рисунке 4.1.

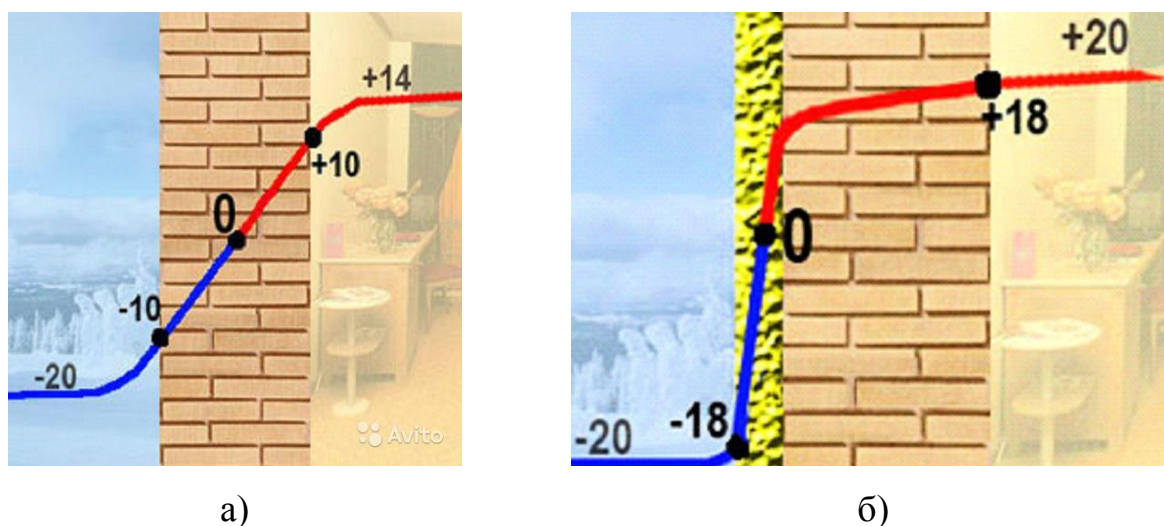


Рисунок 4.1 – Графики изменения температуры в тепловых пограничных слоях и в толще строительных материалов: а) без утеплителя; б) с наружным утеплением

4.4 АППАРАТУРА И МАТЕРИАЛЫ

Экспериментальная установка размещена в достаточно большом помещении, размеры которого значительно больше габаритов опытной трубы. Поэтому можно считать, что процесс теплообмена протекает в неограниченном пространстве. Принципиальная схема и общий вид экспериментального блока установки изображен на рисунках 4.2 и 4.3.

Объектом исследования является горизонтальная труба (1) длиной $L=500$ мм и диаметром $d=38$ мм, представленная на рисунке 4.3. Труба выполне-

на из нержавеющей стали. Внутри трубы имеется электрический нагреватель (2), обеспечивающий равномерный нагрев по ее длине. С торцов труба закрыта теплоизоляционными пробками (3) для уменьшения тепловых потерь в осевом направлении. Температура теплоотдающей поверхности (наружной стенки трубы) определяется с помощью пяти термодатчиков (4), закрепленных на наружной поверхности трубы.

В целях увеличения точности усреднения температуры (с учетом характера изменения теплоотдачи по периметру трубы) два датчика укреплены на трубе сверху и три снизу по осевой линии.

Количество выделяемого и передаваемого в окружающую среду тепла определяется по расходу электроэнергии электронагревателем. Его мощность может регулироваться регулятором напряжения R1, величина которого отображается на индикаторе РН1.

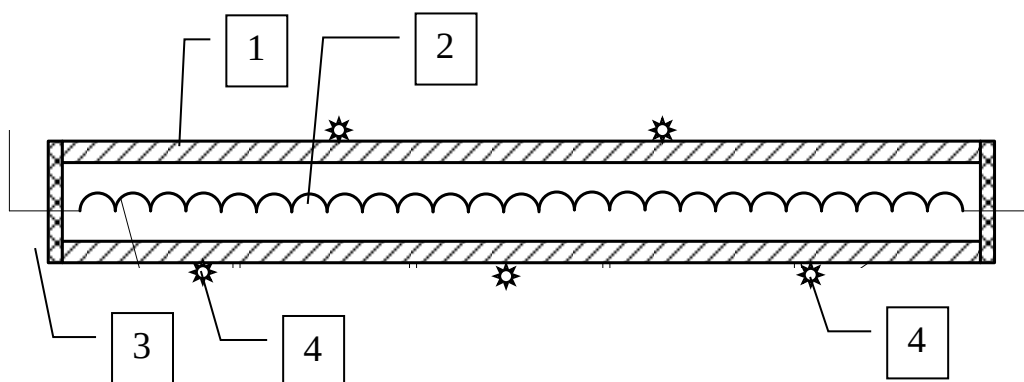


Рис. 4.2 – Принципиальная схема лабораторной установки

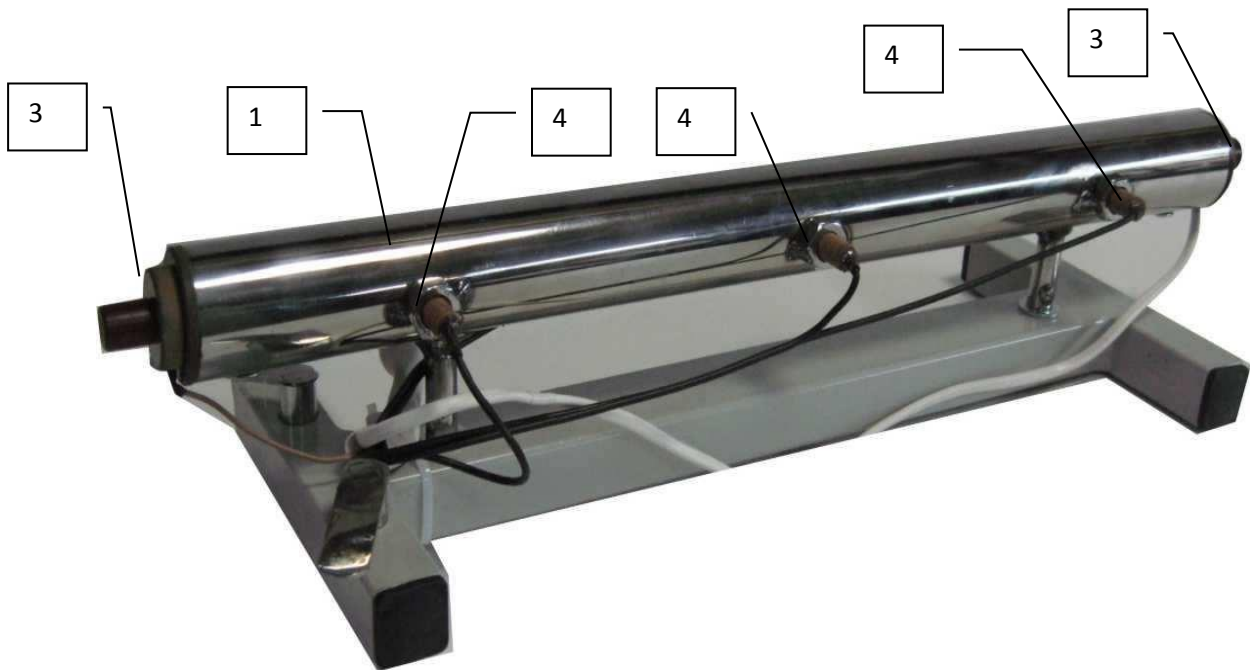


Рис. 4.3 – Общий вид экспериментального блока установки

4.5 УКАЗАНИЯ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ

Студенты обязаны выполнять общие требования безопасности согласно Инструкции по охране труда в лаборатории 11-108. Инструктаж по технике безопасности проводится преподавателем под подпись студента в специальном журнале по технике безопасности.

4.6 МЕТОДИКА И ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

4.6.1 Для проведения лабораторной работы необходимо перед включением стенда установить лабораторную установку «Исследование теплопередачи при естественной конвекции воздуха около горизонтального цилиндра» (Рисунок 2.3) на перфорированную панель лабораторного стенда в горизонтальном положении и закрепить поворотом крепежных рукояток во встречном направлении на четверть оборота.

4.6.2 Далее необходимо произвести подключение кабелей к стенду в разъемы, размещенные на верхней стальной крышке.

ВНИМАНИЕ! Соблюдайте соответствие подключаемых попарно разъемов друг другу: одна коммутируемая пара – разъемы типа «папа/мама».

4.6.3 Включить автоматические выключатели QF1 и QF2 на панели стенда. Снятие показаний для каждого рабочего модуля данного лабораторного стенда

программируется. По умолчанию установится профиль индикации запрограммированной лабораторной работы № 1 на данном стенде – «L 1», необходим профиль индикации «L 2». Изменить профиль индикации с помощью датчика SA10.

Конфигурация отображаемых на индикаторах параметров изображена на рисунке 4.5.

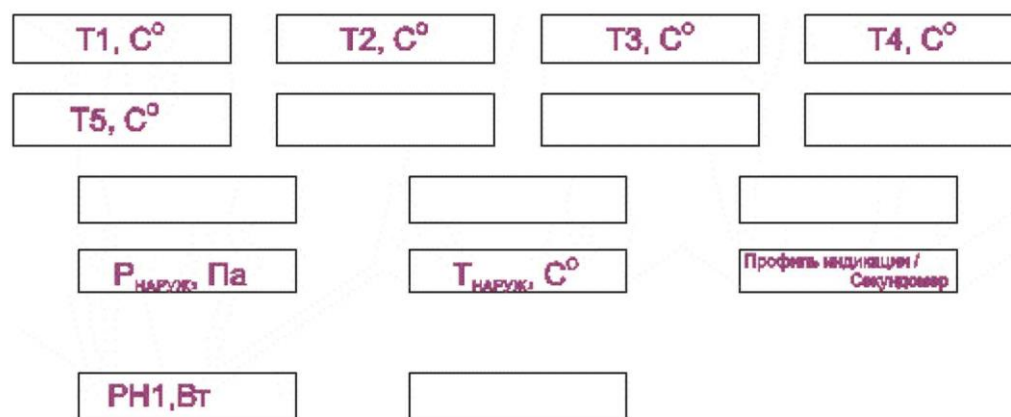


Рисунок 4.5 – Конфигурация отображаемых на индикаторах параметров на приборной панели лабораторного стенда.

4.6.4 Включить тумблер и плавно увеличить мощность, подаваемую на нагреватель (контролируется по индикатору РН1, Вт) до величины, заданной преподавателем.

4.6.5 Дождаться когда процесс теплопередачи можно будет считать установившимся (изменение среднего значения температуры за 2 мин не превышает $0,1^{\circ}\text{C}$). Зафиксировать показания приборов индикаторов на приборной панели установки (мощность нагревателя, температуры поверхности трубы, температуру окружающего воздуха), записав их в форме таблицы 4.3.

4.6.6 Регулятором R1 установить мощность, подаваемую на электронагреватель до значения, соответствующего следующему режиму (опыту), заданному преподавателем. Выполнить пункт 4.6.5.

4.6.7 Пункт 4.6.5 выполняется в соответствие с количеством режимов, заданных преподавателем.

Таблица 4.3 – Экспериментальные значения параметров по результатам наблюдений

№ опыта	$Q_{П},$ Вт	$t_1,$ °C	$t_2,$ °C	$t_3,$ °C	$t_4,$ °C	$t_5,$ °C	$t_{НАР},$ °C	$T_{ст},$ К	$T_{ж},$ К	$\Delta T,$ К
1										
2										
3										

4.6.8 По окончании работы установить регулятор R1 на отметку «min» и отключить тумблер регулятора напряжения РН1.

4.7 ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

4.7.1 Определить среднюю арифметическую температуру стенки трубы по формуле (4.10) и записать полученное значение в таблицу 4.3.

$$T_{ст} = \frac{t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5}{5} + 273, \text{ К}; \quad (4.10)$$

4.7.2 Перевести температуру наружного воздуха из градусов Цельсия в Кельвины:

$$T_{ж} = t_{НАР} + 273, \text{ К}. \quad (4.11)$$

4.7.3 Определить температурный напор по формуле (4.12).

$$\Delta T = T_{ст} - T_{ж}, \text{ К}. \quad (4.12)$$

I. Экспериментально-аналитический способ определения коэффициента теплоотдачи α , Вт/(м²·К)

4.7.4 Вычислить площадь поверхности трубы, через которую осуществляется теплообмен, по формуле (4.14) и записать полученное значение в таблицу 4.4.

$$F = \pi dL, \text{ м}^2, \quad (4.14)$$

где L – длина трубы, м;

d – диаметр трубы, м.

Таблица 4.4 – Результаты обработки экспериментальных данных

№ опыта	$F, \text{м}^2$	$Q_{\text{л}}, \text{Вт}$	$Q_{\text{к}}, \text{Вт}$	$\alpha, \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$
1				
2				
3				

4.7.5 Вычислить количество теплоты, передаваемой трубой в окружающую среду посредством излучения, по формуле (4.15).

$$Q_{\text{л}} = \varepsilon \cdot C_0 \cdot F \cdot \left[\left(\frac{T_{\text{ст}}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{\text{ж}}}{100} \right)^4 \right], \text{Вт} \quad (4.15)$$

где ε – степень черноты поверхности трубы, принимаемая для установки, равной 0,7;

$C_0 = 5,67 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$ – коэффициент излучения абсолютного черного тела.

4.7.6 Вычислить мощность теплового потока, передаваемого опытной трубой в окружающую среду путем конвективного теплообмена по уравнению (4.16).

$$Q_{\text{к}} = Q_{\text{л}} - Q_{\text{л}}, \text{Вт} \quad (4.16)$$

где $Q_{\text{л}}$ – полное количество тепла, которое выделяется электронагревателем и передается путем конвекции и лучеиспускания. Оно численно равно мощности электронагревателя, которая отображается на индикаторе РН1 приборной панели установки, Вт;

4.7.7 Определить среднее значение коэффициента теплоотдачи по уравнению (4.17).

$$\alpha = \frac{Q_{\text{к}}}{F \cdot \Delta T}, \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}). \quad (4.17)$$

II. Аналитический способ определения коэффициента теплоотдачи с использованием теории подобия

4.7.8 Вычислить температуру теплового пограничного слоя по формуле (4.18) и записать полученное значение в таблицу 4.5.

$$T_{\text{погр}} = \frac{T_{\text{ст}} + T_{\text{ж}}}{2}, \text{ К} \quad (4.18)$$

Таблица 4.5 – Результаты расчета коэффициента теплоотдачи с использованием теории подобия

№ опы-та	$T_{\text{погр}}, \text{ К}$	Gr	Pr	Gr·Pr	C	n	режим движения воздуха	$\alpha, \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$
1								
2								
3								

4.7.9 Определить физические величины воздуха (λ, ν, a), входящие в выражения критериев теплообмена, по интерполяционным формулам приложения 1 данного лабораторного практикума.

4.7.10 Вычислить критерии Грасгофа и Прандтля по формулам (4.8) и (4.9).

4.7.11 Воспользовавшись таблицей 4.1 определить эмпирические коэффициенты критериального уравнения C и n и режим движения воздуха вокруг опытной трубы.

4.7.12 Вычислить критерий Нуссельта по критериальному уравнению для свободной конвекции по формуле (4.6).

4.7.13 Определить коэффициент теплоотдачи α , выразив его из уравнения (4.7).

4.7.14 Сравнить значения коэффициентов теплоотдачи, полученные двумя методами, по формуле (4.19). Относительная ошибка не должна превышать 30%.

$$\Delta\alpha = \left| \frac{\alpha_1 - \alpha_2}{\alpha_1} \right| \cdot 100\% < 30\% . \quad (4.19)$$

Инженерно-технические работники (ИТР), проектировщики теплообменного оборудования чаще всего используют метод определения коэффициента теплоотдачи с использованием теории подобия.

4.7.15 На основании полученных расчетных данных построить график функциональной зависимости $\alpha_{\text{ср}} = f(\Delta T)$, где $\alpha_{\text{ср}}$ – среднее значение коэффициента теплоотдачи от исследуемой горизонтальной трубы к окружающему воздуху, Вт/(м²·К).

4.7.16 Представить зависимость $\alpha_{\text{ср}} = f(\Delta T)$ в виде критериального уравнения (4.1), которое описывает процесс конвективного теплообмена для случая свободного движения воздуха около исследуемой трубы. С этой целью вычисляют значение критериев Нуссельта (Nu), Грасгофа (Gr) и Прандтля (Pr). Критерий Прандтля может быть непосредственно найден по приложению 1. Вычисление указанных величин выполняется для всех опытов и сводится в таблицу 4.5. После этого строится график зависимости в соответствии с формулой (4.6). Логарифмируя зависимость (4.6), получаем уравнение вида (4.20).

$$\lg Nu_m = \lg C + n \cdot \lg(Gr \cdot Pr)_m. \quad (4.20)$$

Следовательно, в логарифмической системе координат эта зависимость имеет вид прямой линии (линейная зависимость).

Откладывая по оси абсцисс величину $\lg(Gr \cdot Pr)_m$, а по оси ординат $\lg Nu_m$, получаем линейную зависимость в соответствии с уравнением (4.20).

Показатель степени n в уравнении (4.6) будет равен тангенсу угла наклона этой прямой к оси абсцисс. Постоянная C находится из соотношения (4.20) для любой точки прямой.

$$C = \frac{Nu_m}{(Gr \cdot Pr)_m^n}. \quad (4.21)$$

Расчеты и построения рекомендуется выполнять с использованием редактора электронных таблиц Excel.

Если для построения зависимости (4.20) использовать электронные инструменты точечной диаграммы Excel, то коэффициенты $\lg C$ и n будут рассчитаны автоматически в процессе построения.

Полученные экспериментальные значения коэффициентов сравнивают с литературными данными.

Данная лабораторная работа считается выполненной, когда студент, присутствующий на занятии и выполнивший практическую часть работы, представляет преподавателю письменный отчет выполненной лабораторной работы в полном объеме.

4.8 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА И ЕГО ФОРМА

Отчет оформляется в 18-листовой тетради или на листах формата А4 и должен содержать:

- название работы,
- цель работы,
- краткое описание работы,
- принципиальную схему опытной установки,
- протокол записи показаний измерительных приборов и таблицы результатов обработки опытных данных,
- подробные расчеты с краткими пояснениями для первого опыта,
- график зависимости коэффициента теплоотдачи от температурного напора,
- выводы по данной лабораторной работе.

Данная лабораторная работа считается выполненной, когда студент, присутствующий на занятии и выполнивший практическую часть работы, представляет преподавателю отчет выполненной лабораторной работы в полном объеме. После выполнения лабораторной работы студент должен её защитить – ответить на все теоретические вопросы и решить одну задачу из перечня вопросов и задач, представленных в пункте 4.9.

4.9 ВОПРОСЫ И ЗАДАЧИ ДЛЯ ЗАЩИТЫ РАБОТЫ

1. Физическая сущность процесса конвективной теплоотдачи. В чем состоит принципиальная разница между процессом конвективного теплообмена и процессом теплопроводности.
2. Лучистый теплообмен: основные понятия и законы теплового излучения.
3. Закон Стефана-Больцмана.
4. Излучение и поглощение энергии газами.
5. Лучистый теплообмен между телами; экраны для защиты от излучения.
6. Закон Ньютона-Рихмана; коэффициент теплоотдачи.

7. Теория подобия, критерии подобия.

8. Как определяется коэффициент теплоотдачи в лабораторной работе?

9. Критерий Нуссельта и Грасгофа. Физический смысл. Обозначить входящие в него величины.

10. Критерий подобия Прандтля и Рейнольдса. Физический смысл. Обозначить входящие в него величины.

11. Назвать гидродинамические режимы при вынужденном движении жидкости. Указать граничные значения критерия, характеризующего эти режимы.

12. Общий вид критериального уравнения для вынужденного конвективного теплообмена.

13. Общий вид критериального уравнения для свободного конвективного теплообмена.

14. Коэффициент теплоотдачи, его размерность.

15. Что является движущей силой жидкости при свободной и при вынужденной конвекции?

16. Термическое сопротивление конвективного теплообмена (теплоотдачи) для плоской стенки.

17. Найти ошибку в расчете термического сопротивления стены дома, который представлен ниже в таблице.

Материал	Толщина (м)	Теплопроводность (Вт/м*С)	Сопротивление (м ² *С/Вт)
Брус	0,15	0,15	1,0
Вата минер.	0,05	0,05	1,0
Зазор воздушн.	0,05	0,03	1,67
Кирпич	0,15	0,63	0,24
Итого:	0,4 м	0,102 Вт/м*С	3,91 м ² *С/Вт

18. Какое количество теплоты в космических условиях может передать излучатель из анодированного алюминия площадью 5 м² при температуре 200°С? Степень черноты анодированного алюминия 0,95.

19. Определить коэффициент теплоотдачи α от газов к внутренней поверхности трубки воздухоподогревателя при средней температуре газов $t = 200^\circ\text{C}$ и скорости $W = 15$ м/с, если диаметр трубы $d = 51$ мм, длина $L = 4$ м.

Справочные данные: при $t = 200^\circ\text{C}$ для дымовых газов $\lambda = 4,012 \cdot 10^{-2}$ Вт/(м·К) и $\nu = 32,8 \cdot 10^{-6}$ м²/с. Критериальное уравнение вынужденного движения газов внутри трубы имеет вид $Nu = 0,018 \cdot Re^{0,8}$.

Литература: [1- 6]

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 9,10

Определение теплоотдачи и тепловых характеристик отопительных приборов

5.1. ЦЕЛЬ И СОДЕРЖАНИЕ

Опытное определение теплоотдачи и коэффициента теплопередачи для стального и алюминиевого радиаторов при различных температурах и расходах теплоносителя через прибор.

5.2 ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ

ПК-7– Способность систематизировать и обобщать информацию по использованию ресурсов предприятия

5.3. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ

5.3.1 Основные характеристики отопительных приборов

Отопительными приборами называются устройства для передачи тепла от теплоносителя непосредственно к отапливаемому помещению. Через стенки прибора происходит теплообмен между протекающим внутри отопительного прибора теплоносителем (как правило, это нагретая вода или водяной пар) и воздухом помещения.

Отопительные приборы должны удовлетворять теплотехническим, технико-экономическим, санитарно-гигиеническим и эстетическим требованиям.

Основной теплотехнической характеристикой отопительного прибора является его коэффициент теплопередачи. Обычно наиболее эффективными являются отопительные приборы, имеющие более высокий коэффициент теплопередачи. Для теплотехнической оценки и сравнения различных типов отопительных приборов вводится понятие «эквивалентный квадратный метр» поверхности отопительного прибора (экм).

Эквивалентным квадратным метром называют условную наружную поверхность отопительного прибора, имеющую теплоотдачу (тепловой поток) мощностью 506 Вт, при средней разности температур горячей воды и воздуха в помещении равной 64,5 °С и стандартной (открытой) установке прибора с подачей горячей воды по схеме «сверху вниз».

При этих показателях расход воды в приборе на 1 экм составит

$$V = \frac{3.6 \cdot 506}{4.19 \cdot (95 - 70)} = 17.4 \frac{\text{кг}}{\text{ч} \cdot \text{экм}}, \quad (5.1)$$

коэффициент теплопередачи, соответствующий 1 экм прибора, равен

$$k = \frac{506}{82.5 - 18} = 7.84 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}. \quad (5.2)$$

Измерение теплоотдающей поверхности в эквивалентных метрах есть сравнение данного прибора с эталонным. За эталонный принят чугунный секционный радиатор типа Н-136 (строительная глубина 136 мм, монтажная высота 500 мм). Через 1 м² внешней физической поверхности эталонного радиатора (площадь четырех секций) при испытании в стандартных условиях передается в помещение тепловой поток, равный 506 Вт. Следовательно, эквивалентная площадь теплоотдающей поверхности секции эталонного радиатора равна его физической площади.

Сопоставление площади поверхности одного элемента какого-либо отопительного прибора в эквивалентных квадратных метрах, с площадью его поверхности в квадратных метрах, дает возможность судить об относительной теплотехнической эффективности прибора.

Для сравнительной теплотехнической характеристики разных типов отопительных приборов вводится «коэффициент пересчета», который равен отношению теплоотдачи 1 м² действительной поверхности нагрева отопительного прибора к теплоотдаче 1 экм его поверхности при одинаковых условиях работы прибора.

Технико-экономические характеристики отопительного прибора определяются его первоначальной стоимостью, отнесенной к единице тепла, отдаваемого помещению при оценке отопительных приборов, изготовленных из одного и того же материала, технико-экономическим критерием может служить тепловое напряжение материала.

Под тепловым напряжением материала понимают количество тепла, создаваемого прибором в течение 1ч при разности температур теплоносителя и окружающего воздуха в 1°С, отнесенного к 1кг массы нагревательного прибора, Вт/(кг·К)

$$g = \frac{Q}{G \cdot (t_{\text{пр}} - t_{\text{в}})}, \quad (5.3)$$

где Q – мощность теплового потока, от прибора, Вт;

G – масса прибора, кг;

$t_{\text{пр}}$ – средняя температура поверхности прибора, °С;

$t_{\text{в}}$ – температура внутри помещения, °С.

Чем больше тепловое напряжение, тем экономичней отопительный прибор по расходованию металла на его изготовление.

Повысить тепловое напряжение можно, как это видно из уравнения (5.3), путем повышения коэффициента теплопередачи, обеспечивающего увеличение мощности теплового потока, уменьшения массы прибора, отнесенной к 1 м^2 поверхности нагрева, снижением массы экм, либо путем соответственного изменения обоих факторов.

Санитарно-гигиеническая оценка отопительного прибора характеризуется конструктивным решением прибора, облегчающего содержание его в чистоте, удобством регулирования теплоотдачи, долей тепла лучеиспусканием (лучистые системы отопления имеют наивысшую санитарно-гигиеническую характеристику).

Отопительный прибор должен отдавать помещению расчетное количество тепла, определяемое величиной теплопотерь здания.

Отопительные приборы должны иметь красивую форму и быть достаточно компактными. Кроме упомянутого, прибор должен удовлетворять монтажно-строительным требованиям: обладать возможно меньшими строительными габаритами (длиной и глубиной для возможности установки приборов без ниш), допускать возможность компоновки прибора, требуемой поверхности нагрева путем сборки из отдельных элементов.

5.2.2 Виды отопительных приборов

Отопительные приборы делятся на пять основных видов: радиаторы секционные и панельные, гладкотрубные приборы (три вида приборов этого типа имеют гладкую внешнюю поверхность), конвекторы, ребристые трубы (имеют ребристую поверхность). К приборам с ребристой внешней поверхностью относятся также калориферы, применяемые для нагревания воздуха в системах вентиляции и воздушного отопления.

По материалу, из которого изготавливаются отопительные приборы, различают металлические, комбинированные и неметаллические приборы. Металлические приборы выполняют в основном из серого чугуна и стали (листовой стали и стальных труб). Применяют также медные трубы, листовый алюминий и другие материалы.

По тепловой инерции приборы можно разделить на малоинерционные и инерционные. Малоинерционные приборы имеют небольшую массу и вмещают малое количество воды. Такие приборы, выполнены на основе металлических труб малого диаметра, быстро изменяют теплопередачу в помещении при регулировании количества теплоносителя. Теплоинерционные приборы – массивные, вмещающие значительное количество воды, медленно изменяют теплопередачу в помещении.

Таблица 5.1 – Технические характеристики ребристых чугунных труб

Длина, м	Поверхность нагрева		Коэффициент пересчета $\text{м}^2/\text{экм}$	Масса одной трубы, кг
	м^2	экм		
0,5	1	0,69	0,69	18,0
0,75	1,5	1,03	0,69	26,2
1	2	1,37	0,69	37,5
1,5	3	2,07	0,69	56,5
2	4	2,76	0,69	75,2

Таблица 5.2 – Технические характеристики чугунных секционных радиаторов

Наименование прибора	Поверхность нагрева секции (панели)		Коеф. пересчета, м ² /экм	Высота		Ширина	Глубина	Масса одной секции, кг
				полная	монтажная			
	м ²	экм						
М-140	0,254	0,310	1,22	582	500	96	140	7,60
РД-90	0,203	0,275	1,35	582	500	96	90	6,96
М-140-АО	0,299	0,35	1,17	585	500	96	140	7,52
М-140-АО-300	0,17	0,217	1,276	382	300	96	140	5,29
РД-90-С	0,203	0,275	1,35	582	50	96	90	6,95

Таблица 5.3 – Технические характеристики конвекторов плинтусного типа без кожуха с оребрением

Наименование показателя	Тип конвектора				
	15 КП	16 КП	17 КП	18 КП	19 КП
Высота, мм	80	80	80	80	80
Глубина (ширина), мм	60	60	60	60	60
Длина секции, мм	750	1000	1250	1500	1750
Масса элемента, кг	2,6	3,4	4,2	5,0	5,9
Поверхность нагрева, м ²	0,55	0,73	0,95	1,14	1,37
Поверхность нагрева (однорядная установка), экм	0,34	0,46	0,6	0,7	0,86

Таблица 5.4 – Технические характеристики стальных панельных радиаторов

Наименование прибора	Поверхность нагрева секции (панели)		Кoeffициент пересчета, м ² /экм	Высота		Ширина	Глубина	Масса одной секции, кг
				Полная	Монтажная			
	м ²	экм						
М3-500-1	0,64	0,83	1,3	564	500	518	25	7,5
М3-500-2	0,96	1,25	1,3	564	200	766	25	11,0
М3-500-3	1,20	1,56	1,3	564	500	952	25	13,8
М3-500-4	1,60	2,08	1,3	564	500	1260	25	18,8
М3-500-5	1,92	2,40	1,25	564	500	1510	25	22,6
М3-350-1	0,425	0,60	1,4	406	350	518	25	5,97
М3-350-2	0,637	0,89	1,4	406	350	766	25	8,65
М3-350-3	0,797	1,2	1,4	406	350	952	25	10,8
М3-350-4	0,062	1,49	1,4	406	350	1262	25	14,4

Таблица 5.5 – Технические характеристики конвекторов типа “Комфорт”

Диаметр трубы, мм	Шаг пластин, мм	Поверхность нагрева в экм при длине конвектора, м			Высота, мм		Глубина, мм
		0,71	0,11	1,51	кожуха	полная	
15	7,5	0,76	1,27	1,70	215	275	62
15	7,5	0,985	1,64	2,30	215	315	124
15	5,0	1,24	2,06	2,87	215	315	124
20	7,5	1,53	2,55	3,57	215	315	124

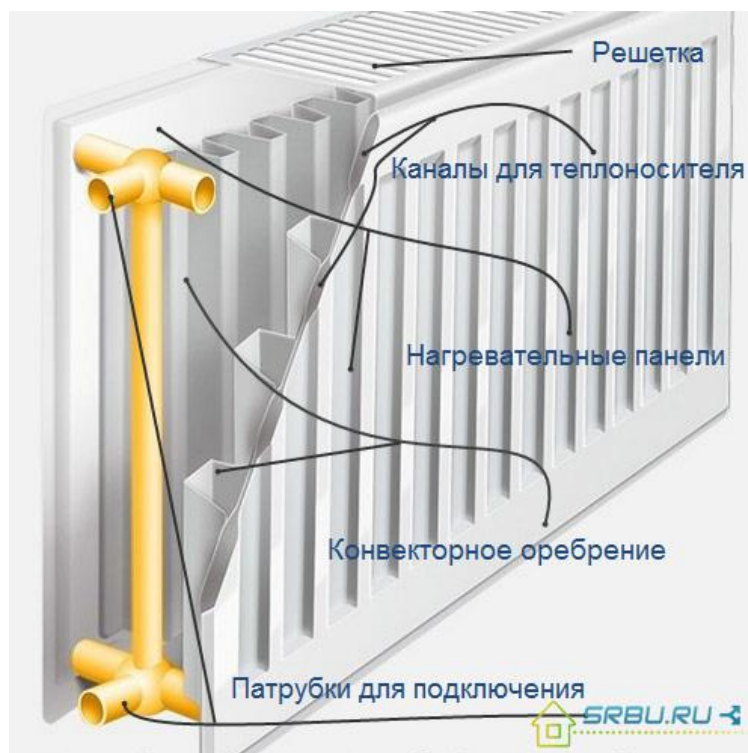


Рисунок 5.1 – Общий вид стального радиатора (тип 21)

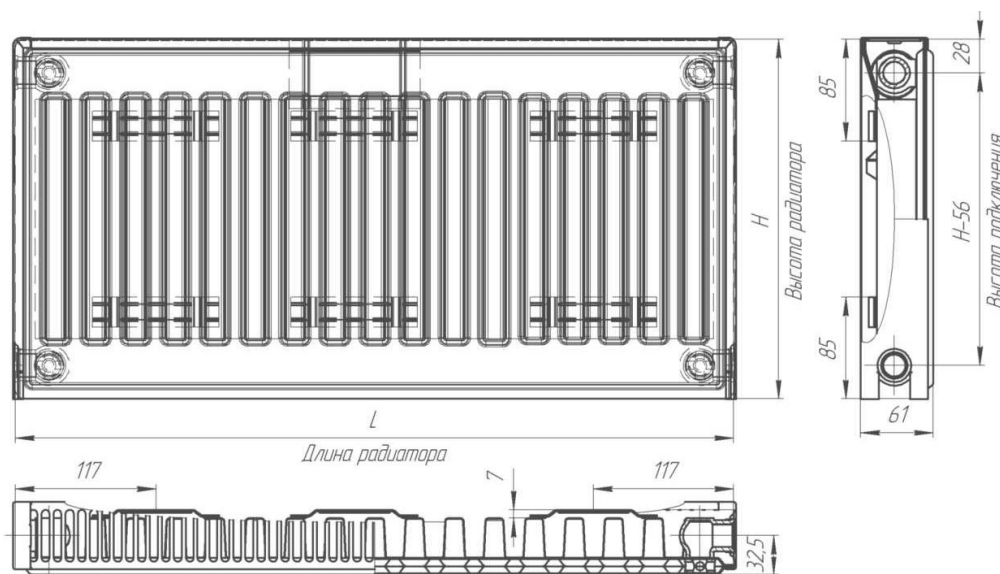


Рисунок 5.2 – Рабочий чертеж стального радиатора (тип 11)

Таблица 5.6 – Технические характеристики стальных радиаторов

Типоразмер радиатора	Длина L, мм	Номинальный тепловой поток, Вт		Масса, кг	Объем, л
		$\Delta T=70^{\circ}\text{C}$	$\Delta T=50^{\circ}\text{C}$		
ЛК 11 – 504	400	503	325	6,6	1,3
ЛК 11 –505	500	629	406	7,9	1,6
ЛК 11 –506	600	755	487	9,2	1,9
ЛК 11 –507	700	881	569	10,6	2,2
ЛК 11 –508	800	1006	650	11,9	2,6
ЛК 11 –509	900	1132	731	13,2	2,9
ЛК 11 –509	1000	1258	812	14,6	3,2



Рисунок 5.3 – Общий вид алюминиевого радиатора

Таблица 5.7– Технические характеристики алюминиевых радиаторов Condor

Модели алюминиевых радиаторов Condor	Габариты, мм	Межсекционное расстояние, мм	Q, Вт	V, л	t _{max} , °C	m, кг	p, бар
A 350/80	425×80×85	350	138	0,3	120	1,16	18
A 350/80	580×80×80	500	185	0,4	120	1,35	18
A 350/80	588×80×96	500	205	0,48	120	1,48	18

5.4 УКАЗАНИЯ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ

Студенты обязаны выполнять общие требования безопасности согласно Инструкции по охране труда в лаборатории 11-108. Инструктаж по технике безопасности проводится преподавателем под подпись студента в специальном журнале по технике безопасности.

5.5 МЕТОДИКА И ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

5.5.1 Установить скорость работы циркуляционного насоса Н1 на заданную преподавателем. Для этого необходимо перевести регулятор на корпусе насоса в соответствующее положение I, II или III.

5.5.2 Включить питание стенда (три автоматических выключателя «Сеть»).

5.5.3 Убедиться, что все вентили на подающем и обратном трубопроводах открыты (ручки вдоль трубопроводов), при необходимости перевести их в открытое состояние.

5.5.4 Открыть полностью вентиль В2 на распределителе (рисунок 5.4), остальные закрыть, т.е. перевести контур системы отопления через стальной радиатор.

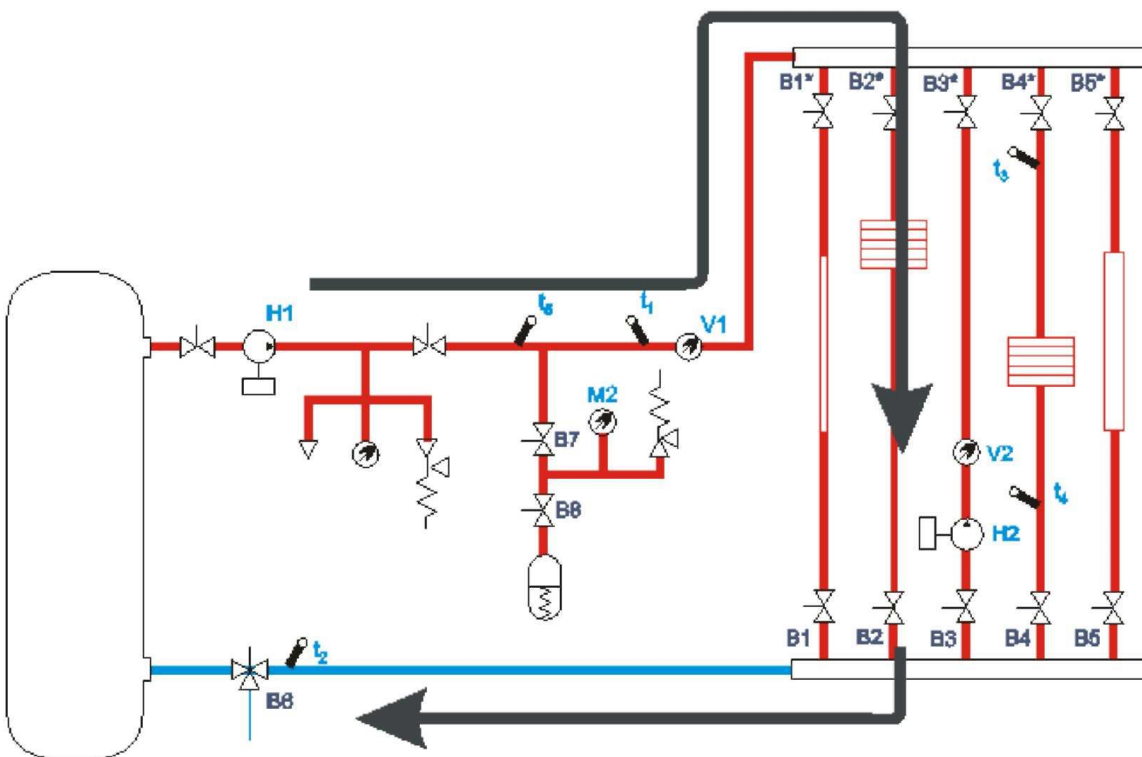


Рисунок 5.4–Контур системы отопления через стальной радиатор

5.5.5 Перевести переключатель SA1 в положение «Внутр.», тумблер SA5 в положение Q1, тумблер SA6 в положение T1.

5.5.6 Установить требуемую величину задания для котла по температуре (с помощью регулятора температуры или кнопок на передней панели управления котла). Установившееся значение температуры теплоносителя на подаче контролируется непосредственно по индикатору T1.

5.5.7 Если температура теплоносителя превышает требуемую более чем на 10°C, откройте вентили B1–B5 на распределителе. Включите котел на минимальной настройке температуры (нагревательный элемент не должен включаться) и дождитесь падения температуры.

5.5.8 Включить котел (переключатель на передней панели котла).

5.5.9 После достижения температуры теплоносителя требуемой величины, снять показания теплосчетчика Q1.

5.5.10 Спустя фиксированный интервал времени (5 мин) снять показания теплосчетчика Q1 и занести их в таблицу 5.8. Расходованное тепло найти как разность показаний теплосчетчика в начале и конце отрезка времени $\Delta Q = Q_2 - Q_1$, Дж, и занести его в таблицу 5.9.

5.5.11 Снять данные по температуре на выходе участка теплосети. Для смены режима индикации температур T1 и T2 переключить тумблер SA6 в соответствующее положение. Данные занести в таблицу 5.8.

5.5.12 Открыть полностью вентиль B4 на распределителе (рисунок 5.5), остальные вентили закрыть, т.е. перевести контур системы отопления через алюминиевый радиатор.

5.5.13 Если температура теплоносителя превышает требуемую более чем на 10°C, откройте вентили B1–B5 на распределителе. Включите котел на минимальной настройке температуры (нагревательный элемент не должен включаться) и дождитесь падения температуры.

5.5.14 Повторите пункты 5.5.9–5.5.11. Данные занести в таблицу 5.8.

5.5.15 Выключить котел и автоматические выключатели на лабораторном стенде.

Таблица 5.8 – Экспериментальные значения рабочих параметров по результатам наблюдений

Тип радиатора	Наименование параметров	Численные значения параметров		
стальной	Экспериментальная скорость насоса Н1 (задается преподавателем)	I, II или III		
	Температура окружающего воздуха, $t_{ов}$, °C			
	Температура подающей воды, T_1 , °C	40	50	60
	Показания теплосчетчика в начале опыта, Q_1 , Дж			
	Опытное время теплоотдачи радиатора	5 мин (300 с)		
	Показания теплосчетчика в конце опыта, Q_2 , Дж			
	Температура обратной воды, T_2 , °C			
алюминиевый	Температура подающей воды, T_1 , °C	40	50	60
	Показания теплосчетчика в начале опыта, Q_1 , Дж			
	Опытное время теплоотдачи радиатора	5 мин (300 с)		
	Показания теплосчетчика в конце опыта, Q_2 , Дж			
	Температура обратной воды, T_2 , °C			

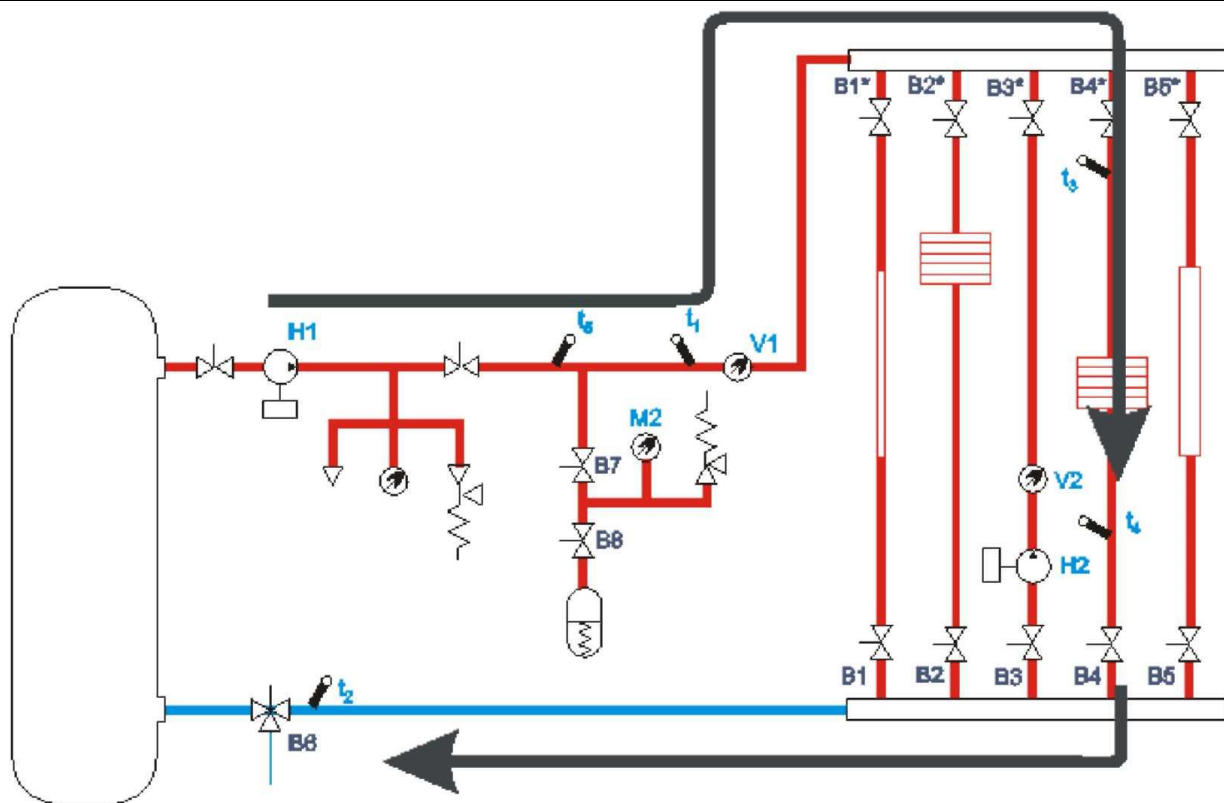


Рисунок 5.5 –Контур системы отопления через алюминиевый радиатор

5.6 ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

Заготавливаются формы протокола для записи наблюдений и результатов обработки экспериментальных данных в соответствии с таблицей 5.8.

После окончания опыта необходимо заполнить таблицу результатов обработки экспериментальных данных, т.е. таблицу 5.9.

Коэффициент теплопередачи определяется для каждого наблюдения по формуле (5.4).

$$K = \frac{Q}{F \cdot \left(\frac{t_1 + t_2}{2} - t_{\text{ОВ}} \right)}, \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}), \quad (5.4)$$

где Q – тепловая мощность отопительного прибора, Вт,

F – площадь поверхности нагрева испытуемого прибора, м^2 ,

t_1 – температура теплоносителя на входе в отопительный прибор, $^{\circ}\text{С}$,

t_2 – температура теплоносителя на выходе из радиатора, $^{\circ}\text{С}$,

$t_{\text{ОВ}}$ – температура окружающего воздуха, $^{\circ}\text{С}$.

Для каждого наблюдения определяется теплоотдача 1 м^2 испытуемого отопительного прибора по формуле (5.5).

$$q = K \cdot \Delta t, \text{Вт}/\text{м}^2, \quad (5.5)$$

где Δt_{CP} – температурный напор отопительного радиатора, $\Delta t_{\text{CP}} = \frac{t_1 + t_2}{2} - t_{\text{ОВ}}$, $^{\circ}\text{С}$;

K – значение коэффициента теплопередачи отопительного радиатора, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$;

Результаты расчетов по каждому наблюдению заносятся в таблицу 5.9.

По результатам расчетов строится график зависимости $K = f(\Delta t_{\text{CP}})$.

Таблица 5.9 – Результаты обработки экспериментальных данных

Тип радиатора	Наименование параметров	Численные значения параметров		
стальной	Экспериментальная скорость насоса Н1 (задается преподавателем)			
	Температура подающей воды, $T1$, $^{\circ}\text{С}$	40	50	60
	Разница показаний теплосчетчика (теплоотдача радиатора), $\Delta Q = Q_2 - Q_1$, Дж			

	Тепловая мощность радиатора, $Q=\Delta Q/\tau$, Вт			
	Температурный перепад теплоносителя на входе и выходе радиатора, $\Delta T=T_1-T_2$, °С			
	Температурный напор радиатора, $\Delta t_{CP} = \frac{t_1 + t_2}{2} - t_{OB}$, °С			
	Площадь теплообменной поверхности радиатора, F, м ²	1,2		
	Коэффициент теплопередачи, K, Вт/(м ² ·К), по формуле (3.4)			
	Удельный тепловой поток радиатора, q, Вт/м ² , по формуле (3.5)			
алюминиевый	Экспериментальная скорость Н1 (задается преподавателем)			
	Температура подающей воды, T1, °С	40	50	60
	Разница показаний теплосчетчика (теплоотдача радиатора), $\Delta Q= Q_2-Q_1$, Дж			
	Тепловая мощность радиатора, $Q=\Delta Q/\tau$, Вт			
	Температурный перепад теплоносителя на входе и выходе радиатора, $\Delta T=T_1-T_2$, °С			
	Температурный напор радиатора, $\Delta t_{CP} = \frac{t_1 + t_2}{2} - t_{OB}$, °С			
	Площадь теплообменной поверхности радиатора, F, м ²	0,5		
	Коэффициент теплопередачи, K, Вт/(м ² ·К), по формуле (3.4)			
	Удельный тепловой поток радиатора, q, Вт/м ² , по формуле (3.5)			

5.7 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА И ЕГО ФОРМА

Отчет оформляется в 18-листовой тетради или на листах формата А4 и должен содержать:

- тема работы,
- цель работы,
- краткое описание работы;
- принципиальную схему лабораторной установки;
- протокол записи экспериментальных данных по форме таблицы 5.8;

- результаты обработки экспериментальных данных по форме таблицы 5.9;
- график зависимости $K = f(\Delta t)$;
- выводы по результатам исследований.

Данная лабораторная работа считается выполненной, когда студент, присутствующий на занятии и выполнивший практическую часть работы, представляет преподавателю отчет выполненной лабораторной работы в полном объеме. После выполнения лабораторной работы студент должен её защитить – ответить на два теоретических вопроса и решить одну задачу из перечня вопросов и задач, представленных в пункте 5.8.

5.8 ВОПРОСЫ И ЗАДАЧИ ДЛЯ ЗАЩИТЫ РАБОТЫ

1. Методика проведения эксперимента и обработки полученных данных в лабораторной работе.
2. Виды тепловой нагрузки, виды теплоносителей.
3. Материалы, применяемые для отопительных приборов.
4. Назвать основные виды отопительных приборов.
5. Назначение оребрения в отопительных приборах.
6. Предельные температуры поверхностей отопительных приборов для различных типов зданий.
7. Средний температурный напор отопительного прибора.
8. Что такое умягчение и деаэрация воды? Для чего производятся эти операции?
9. Коэффициент теплопередачи для однослойной плоской стенки, размерность коэффициента теплопередачи.
10. Коэффициент теплопередачи для однослойной цилиндрической стенки, размерность коэффициента теплопередачи.
11. Основное уравнение теплопередачи отопительного прибора.
12. Способы задания удельной теплоемкости.
13. Автомобильный радиатор передает от охлаждаемой воды в окружающую среду $Q = 70$ кДж/с. Средняя температура охлаждающей жидкости в радиаторе $t_{\text{ож}} = 98^\circ\text{C}$, а охлаждающей среды – воздуха $t_{\text{в}} = 35^\circ\text{C}$. Теплорассеивающая

поверхность радиатора $F = 8 \text{ м}^2$. Определить коэффициент теплопередачи.

14. Определить плотность теплового потока q через плоскую стенку металлического водонагревателя, если заданы: температура греющих газов $t_{\text{г}} = 300^\circ\text{С}$, температура воды в баке $t_{\text{в}} = 90^\circ\text{С}$, коэффициенты теплоотдачи соответственно $\alpha_1 = 50 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ и $\alpha_2 = 500 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, толщина стенки $\delta_{\text{с}} = 2 \text{ мм}$ и коэффициент теплопроводности материала $\lambda_{\text{с}} = 32 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$.

15. Определить поверхность F для нагрева воздуха с объемным расходом $V = 310 \text{ м}^3/\text{ч}$ от температуры $t_1 = 5^\circ\text{С}$ до $t_2 = 25^\circ\text{С}$, если температура воды на входе в калорифер $t_{\text{вх}} = 95^\circ\text{С}$, на выходе $t_{\text{вых}} = 60^\circ\text{С}$; коэффициент теплопередачи принять равным $K = 2100 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$. Теплоемкость воздуха $C_{\text{в}} = 1,2 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$, плотность воздуха $\rho = 1,15 \text{ кг}/\text{м}^3$.

Литература: [1-6]

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 11,12

Испытание и составление теплового баланса водогрейного котла

6.1 ЦЕЛЬ И СОДЕРЖАНИЕ

Целью настоящей работы является опытное определение КПД лабораторной установки и установление оптимального значения коэффициента избытка воздуха (α), при котором КПД достигает максимума.

6.2 ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ

ПК-7– Способность систематизировать и обобщать информацию по использованию ресурсов предприятия

6.3 ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ

Тепловой баланс лабораторной установки дает представление о распределении введенного в топку тепла, в частности о том, какая его часть используется на нагрев воды и какая безвозвратно теряется с уходящими дымовыми газами, от химической и механической неполноты сгорания топлива и в окружающую среду через стенки установки.

Проанализировав данные теплового баланса, можно разработать необходимые технологические мероприятия, направленные на улучшение показателей работы установки. Например, выявить оптимальное значение коэффициента избытка воздуха (α), при котором экономичность работы лабораторной установки будет наивысшей.

Тепловой баланс составляется на 1 кг топлива для установившегося теплового режима котла. Уравнение теплового баланса имеет вид:

$$Q_H^P = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5, \quad (6.1)$$

где Q_H^P – низшая теплота сгорания топлива, кДж/кг; Q_1 – полезное тепло, затраченное на получение горячей воды, кДж/кг; Q_2 – потери тепла с дымовыми газами, кДж/кг; Q_3 – потери тепла от химической неполноты сгорания, кДж/кг; Q_4 – потери тепла от механической неполноты сгорания, кДж/кг; Q_5 – потери тепла в окружающую среду, кДж/кг.

Если левую и правую часть уравнения (4.1) разделить на Q_H^P и умножить на 100%, то получим уравнение теплового баланса в процентах от низшей теплоты сгорания топлива, то есть:

$$100\% = q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5, \quad (6.2)$$

где $q_1 = \frac{Q_1}{Q_H^P} 100\%$; $q_2 = \frac{Q_2}{Q_H^P} 100\%$ и т. Д.

Величина q_1 по смыслу и числовому значению совпадает с коэффициентом полезного действия котлоагрегата, то есть:

$$q_1 = \eta_K = \frac{Q_1}{Q_H^P} 100\%. \quad (6.3)$$

Следовательно, коэффициент полезного действия можно определить из уравнения:

$$\eta_K = 100 - \sum q_{\text{потерь}} = 100 - (q_2 + q_3 + q_4 + q_5). \quad (6.4)$$

Принимая в этой формуле потерю от механической неполноты сгорания для газообразного топлива, равной нулю ($q_4=0$), а потерю в окружающую среду для водогрейного котла (q_5) равной 5%, получим коэффициент полезного действия котла в зависимости только от q_2 и q_3 . Эти два вида потерь, при заданной производительности и параметрах воды, при прочих равных условиях, зависят только от коэффициента избытка воздуха (α). С повышением α потери от химической неполноты сгорания (q_3) будут уменьшаться, а потери с уходящими газами (q_2) – увеличиваться.

6.4 АППАРАТУРА И МАТЕРИАЛЫ

Лабораторная установка состоит из водонагревателя (змеевик) (4), керосиновой горелки (6), дымовой трубы (8), двух емкостей для воды (1), (2) и измерительной аппаратуры (11), (9).

Вода из верхней емкости самотеком поступает через змеевик водонагревателя в нижнюю емкость. Снизу под змеевиком установлена керосиновая горелка. Дымовые газы, проходя через змеевик нагревают протекающую в нем воду, затем удаляются наружу через дымовую трубу под действием силы естественной тяги. Возникновение естественной тяги обусловлено разностью плотностей сред с разной степенью нагретости.

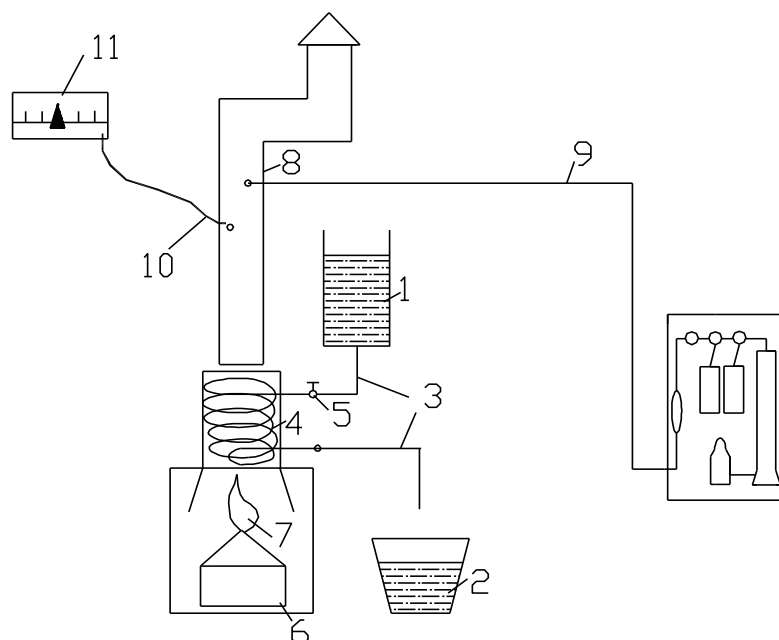


Рисунок 6.1 – Экспериментальная установка

Экспериментальная установка показана на рис. 6.1, оснащенный необходимой для проведения экспериментальных исследований контрольно-измерительной и регистрирующей аппаратурой.

Установка состоит из сварного чугунного чана, в котором находится керосинка (6), обеспечивающая процесс горения (7) и отвод продуктов сгорания (8).

Замеры температуры рабочих потоков в характерных точках осуществляются с помощью термопар или термометров.

Процентный состав уходящих дымовых газов определяется с помощью химического газоанализатора ГПХ-3М. Отбор проб дымовых газов для анализа осуществляется по соединительному трубопроводу от отвода продуктов сгорания к газоанализатору. Расход нагреваемой воды определяется по количеству воды к верхнему сосуду (1), установленного на подающей магистрали змеевика (4).

6.5 УКАЗАНИЯ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ

Студенты обязаны выполнять общие требования безопасности согласно Инструкции по охране труда в лаборатории 11-108. Инструктаж по технике безопасности проводится преподавателем под подпись студента в специальном журнале по технике безопасности.

6.6 МЕТОДИКА И ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

6.6.1 Начало работы осуществляется с измерением количества топлива (кг) в керосинке.

6.6.2 Поджигаем фитиль керосинки.

6.6.3 Устанавливается расход нагреваемой воды. Испытания установки проводятся в 2-х стационарных режимах при различных значениях коэффициента избытка воздуха, охватывающих интервал от минимальных до максимальных значений. Регулирование притока воздуха, подаваемого в смесительный канал, осуществляется открытием дверцы установки.

6.6.4 В каждом режиме испытания проводятся температурные измерения горячей воды на выходе из установки, t_c . При этом, постоянство температуры воды на выходе из лабораторной установки поддерживается путем изменения ее расхода.

6.6.5 Во время опыта в каждом стационарном режиме производят анализ дымовых газов, количество расход воды и ее температуру до и после опыта, а также температуру уходящих газов и температуру воздуха, поступающего в топку котла, то есть температуру в лаборатории.

Все данные, полученные путем замеров, и результаты анализа дымовых газов заносятся в рабочую таблицу 6.1.

Таблица 6.1– Экспериментальные значения рабочих параметров

и расчетные результаты их обработки

Измеряемые параметры, расчетные показатели	Обозначение	Единицы измерен.	№ режима			
1	2	3	4			
Расход нагреваемой воды	D	кг/ч				
Температура питательной воды	t _{пв}	°C				
Температура горячей воды	t _{гв}	°C				
Температура воздуха помещения	t _в	°C				
Температура топлива (керосина)	t _т	°C				
Температура уходящих газов	t _{уг}	°C				
Состав продуктов сгорания:						
Кислород	O ₂	%				
Углекислота	CO ₂	%				
окись углерода	CO	%				
Азот	N ₂	%				
Коэффициент избытка воздуха	α	б/м				
Химический недожог	Q ₃ , q ₃	кДж/кг, %				
Потери с уходящими газами	Q ₂ , q ₂	кДж/кг, %				
КПД	η	%				
Расход топлива	B, b	кг/ч, кг/кг				

Осуществляя процесс горения с различными коэффициентами избытка воздуха, подсчитывают потери q₂ и q₃, а затем, по уравнению (6.4), находят коэффициент полезного действия котла (η) для различных α. По полученным значениям и η_к для различных эксплуатационных режимов строят графическую зависимость: η_к = f(α).

Численное значение коэффициента избытка воздуха определяется для каждого режима на основании полученных результатов газового анализа из формулы:

$$\alpha = \frac{1}{1 - \frac{71}{29} \cdot \frac{O_2 - 0,5CO}{N_2}}, \quad (6.5)$$

где CO, O₂ и N₂ – процентное содержание соответствующих газов в продуктах сгорания.

Количество окиси углерода (CO) и азота (N₂) определяется на основе полученных данных концентрации кислорода (O₂) и углекислого газа (CO₂) из формул:

$$CO = (21 - 1,6CO_2 - O_2) \cdot 0,835, \%, \quad (6.6)$$

$$N_2 = 100 - (CO + O_2 + CO_2), \%, \quad (6.7)$$

Потеря тепла от химической неполноты сгорания определяется по формуле:

$$Q_3 = 237(C^P + 1,5S^P) \cdot \frac{CO}{RO_2 + CO}, \text{ кДж/кг}, \quad (6.8)$$

где C^P и S^P – рабочее содержание углерода и серы в топливе, в % по весу. Для Ставропольского газа рабочий состав в % по весу следующий: $C^P=73,55$; $H=24,33$; $S^P=0$; $O^P=0,12$; $N_2=2$; RO_2 – трехатомные газы в % по объему, определяемые газовым анализом, причем, при сгорании Ставропольского газа $SO_2=0$.

Затем определяют эту потерю в процентах от низшей теплотворной способности топлива по формуле:

$$q_3 = 100 \cdot \frac{Q_3}{Q_H^P}, \%, \quad (6.9)$$

где Q_H^P – теплотворная способность топлива, кДж/кг; для Ставропольского газа $Q_H^P=49805$ кДж/кг.

Потеря тепла с отходящими газами q_2 равна энтальпии газов удаляемых в атмосферу за вычетом количества тепла, вносимого с топливом и с поступающим в топку воздухом, деленной на теплотворную способность топлива, то есть:

$$q_2 = \frac{Y_{yx} - Q_T - Q_B}{Q_H^P} \cdot 100\%, \quad (6.10)$$

где Y_{yx} – энтальпия уходящих газов, кДж/кг; Q_T – физическое тепло топлива, кДж/кг; Q_B – энтальпия поступающего в топку воздуха, кДж/кг.

Порядок подсчета величин Y_{yx} , Q_T , Q_B приводится ниже.

Энтальпия уходящих газов подсчитывается по уравнению:

$$Y_{yx} = (V_{RO_2} C_{RO_2} + V_{R_2}^{\min} C_{R_2} + V_{H_2O}^{\min} C_{H_2O} + \Delta V C_{BB}) t_{yx}, \quad (6.11)$$

где C_{RO_2} , C_{R_2} , C_{H_2O} , C_{BB} – средние объемные теплоемкости газов при постоянном давлении: значения их приводятся в таблице 6.2 в зависимости от температуры, в кДж/нм³К; t_{yx} – температура уходящих газов, °С.

Таблица 6.2– Значение средних объемных теплоемкостей газов и влажного воздуха при постоянном давлении

Температура °С	C_{RO_2} , кДж/нм ³ К	C_{R_2} , кДж/нм ³ К	C_{H_2O} , кДж/нм ³ К	C_{BB} , кДж/нм ³ К
0	1,593	1,293	1,494	1,319
100	1,713	1,296	1,506	1,324
200	1,796	1,300	1,522	1,332
300	1,871	1,307	1,542	1,342
400	1,929	1,317	1,566	1,354
500	1,997	1,329	1,589	1,368

Объем трехатомных газов подсчитывается по уравнению:

$$V_{RO_2} = 0,0186(C^P + 0,375S^P), \text{ нм}^3/\text{кг}, \quad (6.12)$$

где C^P , S^P – рабочее содержание углерода и серы в топливе в % по весу. Причем для Ставропольского газа $C^P=73,55$, а $S^P=0$.

Объем двухатомных газов определяется по уравнению:

$$V_{R_2}^{\min} = 0,79V_0 + 0,8\frac{N^P}{100}, \text{ нм}^3/\text{кг}, \quad (6.13)$$

где V_0 – теоретическое количество воздуха, необходимое для сжигания единицы массы топлива, определяемое по уравнению:

$$V_0 = 0,089C^P + 0,265H^P + 0,033(S^P - O^P), \text{ нм}^3/\text{кг}, \quad (6.14)$$

где C^P , H^P , N^P , O^P – рабочий состав топлива.

Объем водяных паров определяется:

$$V_{H_2O}^{\min} = 0,0124(9H^P + W^P) + 0,016V_0, \text{ нм}^3/\text{кг}, \quad (6.15)$$

где W^P – влажность топлива, для газа $W^P=0$.

Объем избыточного воздуха определяется из выражения:

$$\Delta V = (\alpha - 1)V_0, \text{ нм}^3/\text{кг}, \quad (6.16)$$

где α – коэффициент избытка воздуха.

Таким образом, зная все члены, входящие в уравнение (6.11), подсчитывают величину энтальпии уходящих газов. Температура уходящих газов t_{yx} при испытании котла замеряется термопарой с последующей записью на вторичном приборе. Значения объемных теплоемкостей компонентов составляющих дымовые газы принимаются из таблицы 6.2 в зависимости от температуры t_{yx} .

Q_T и Q_B , входящие в состав уравнения (6.10), определяются по формулам:

$$Q_T = C_T t_T, \text{ кДж/кг}, \quad (6.17)$$

$$Q_B = \alpha V_0 C_B t_B, \text{ кДж/кг}, \quad (6.18)$$

где C_T – средняя теплоемкость топлива, принимаемая для газа равной 1,675 кДж/кг·К; t_T – температура топлива, принимаемая равной 10⁰С; α – коэффициент избытка воздуха; V_0 – теоретическое количество воздуха, необходимое для сгорания 1 кг топлива, нм³/кг, C_B , t_B – теплоемкость воздуха и его температура. C_B берется из таблицы 6.2 в зависимости от температуры.

Определив из уравнений (6.9) и (6.10) потери q_2 и q_3 подсчитывается по уравнению (6.4) КПД котла.

Зная КПД котла, подсчитывают часовой расход топлива по уравнению:

$$B = \frac{D(i_{гв} - i_{хв})}{Q_H^P \cdot \eta} 100\%, \quad (6.19)$$

где D – нагрузка котла, то есть производительность по горячей воде, кг/ч; $i_{гв}$, $i_{хв}$ – энтальпия горячей и холодной воды, кДж/кг.

Для температуры до 100⁰С значения энтальпии горячей и холодной воды можно принять численно равными произведению удельной теплоемкости воды ($C_B = 4,190$ кДж/кгК) на ее температуру.

Удельный расход топлива на получение 1 кг горячей воды заданных параметров определяется по формуле:

$$B = \frac{D(i_{гв} - i_{хв})}{Q_H^P \cdot \eta} 100\%, \text{ кг/кг}. \quad (6.20)$$

6.7 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА И ЕГО ФОРМА

Отчет по выполнению работы должен содержать следующее:

- краткое описание лабораторной установки;
- принципиальную схему установки с указанием точек замеров рабочих параметров;
- протокол записи показания измерительных приборов и результатов обработки экспериментальных данных;
- график зависимости коэффициента полезного действия котла от коэффи-

циента избытка воздуха.

6.8 ВОПРОСЫ ДЛЯ ЗАЩИТЫ РАБОТЫ

1. Общие понятия о котельных установках и элементах парового котла.
2. Виды теплопотерь, их характеристика и влияние на величину КПД котла.
3. Методика расчета энтальпии уходящих газов и коэффициентов избытка воздуха.
4. Методика расчета теоретически необходимого количества воздуха и объемов продуктов сгорания.

Литература: [1-6]

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 13,14

Исследование теплового процесса

в теплообменном аппарате типа «труба в трубе»

7.1 ЦЕЛЬ И СОДЕРЖАНИЕ

7.1.1 Изучение принципов работы основных видов теплообменных аппаратов.

7.1.2 Изучение теплового процесса при прямоточной и противоточной схеме включения теплообменного аппарата типа «труба в трубе».

7.1.3 Опытное определение коэффициента теплопередачи в теплообменном аппарате типа «труба в трубе».

7.2 ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ

ПК-7– Способность систематизировать и обобщать информацию по использованию ресурсов предприятия

7.3 ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ

7.3.1 Основные понятия

Теплообменный аппарат — это устройство, которое предназначено для передачи теплоты от горячего теплоносителя к холодному. Теплоносителями могут быть газы, пары, жидкости. Теплообменные аппараты используют как нагреватели и как охладители. Они применяются в области теплоэнергетики, в промышленности и коммунальном хозяйстве.

Теплообменные аппараты подразделяются на *поверхностные*, где передача тепла происходит через твёрдую стенку, и *смесительные*, где теплоносители контактируют непосредственно. Поверхностные теплообменники в свою очередь подразделяются на *рекуперативные* и *регенеративные*, в зависимости от одновременного или поочерёдного контакта теплоносителей с разделяющей их стенкой.

В рекуперативном теплообменнике горячий и холодный теплоносители движутся в разных каналах, между которыми происходит теплообмен через об-

разующие эти каналы стенки. В зависимости от направления движения теплоносителей рекуперативные теплообменники могут быть прямоточными при параллельном движении теплоносителей в одном направлении, противоточными при параллельном встречном движении теплоносителей, а также перекрестноточными при взаимно перпендикулярном движении двух обменивающихся тепловой энергией сред.

Конструктивно рекуперативные теплообменники бывают: кожухотрубные, элементные (секционные), двухтрубные типа «труба в трубе», витые, погружные, оросительные, ребристые, спиральные, пластинчатые, пластинчаторебристые и др.

В регенеративных теплообменниках теплоносители (горячий и холодный) контактируют с твердой стенкой поочередно. Теплота накапливается в стенке при контакте с горячим теплоносителем и отдаётся при контакте с холодным.

В смесительном (или контактном) теплообменнике одновременно с теплообменными происходят и массообменные процессы путем прямого смешивания теплоносителей. Наиболее распространены пароводяные теплообменники струйного типа, использующие в своей основе струйный инжектор. Смесительные теплообменники конструктивно устроены проще, нежели поверхностные, более полно используют тепло. Большое применение контактные теплообменники находят в установках утилизации тепла дымовых газов, отработанного пара и т.п.

Пластинчатые теплообменники состоят из набора пластин, в котором теплоносители движутся между пластинами. Он прост в изготовлении (штампованные пластины складываются с прокладками между ними), легко модифицируется (добавляются или убираются пластины). Пластинчатый теплообменник имеет высокую эффективность (большая площадь контакта через пластины).

Пластинчато-ребристый теплообменник состоит из системы разделительных пластин, между которыми находятся ребристые поверхности – насадки, присоединенные к пластинам методом пайки. С боков каналы ограничиваются брусками, поддерживающими пластины и образующие закрытые каналы.

В основу пластинчато-ребристого теплообменника положена жесткая и прочная цельнопанельная теплообменная матрица, построенная по сотовому принципу и работоспособная до давления 100 атм. И выше. Основные достоинства данного типа теплообменников – это компактность и легкость. Последнее обеспечивается за счет применения при изготовлении теплообменной матрицы пакета из тонколистовых деталей из легких алюминиевых сплавов.

Оребренные пластинчатые теплообменники, состоят из тонкостенных оребренных панелей. За счет конструкции, а также многообразия используемых материалов достигаются высокие температуры греющих сред, небольшие сопротивления, высокие показатели отношения теплопередающей площади к 78 адисе теплообменника, длительный срок службы, низкая стоимость и др.

Спиральный теплообменник представляет собой два спиральных канала, навитых из рулонного материала вокруг центральной разделительной перегородки. Теплоносители движутся по этим каналам. Применяют спиральные теплообменники для нагрева и охлаждения высоковязких жидкостей.

7.3.2 Расчет параметров теплообменника типа «труба в трубе»

Определение коэффициента теплопередачи рабочей поверхности теплообмена K теплообменника по двум схемам включения (прямоток, противоток), находится исходя из основного уравнения теплопередачи:

$$Q = K \cdot F \cdot \Delta t_{cp}, \quad (7.1)$$

где Q – тепловая нагрузка аппарата, Вт;

K – коэффициент теплопередачи рабочей поверхности теплообмена, Вт/(м²К);

F –площадь теплообменной поверхности, равная площади наружной поверхности внутренней трубы теплообменника, м²;

Δt_{cp} – средний температурный перепад между греющей и нагреваемой водой, °С.

Тепловую нагрузку определяют по уравнению теплового баланса аппарата:

$$Q = q_2 \cdot C_{P2} \cdot (t_1 - t_2) = q_1 \cdot C_{P1} \cdot (t_4 - t_3) \quad (7.2)$$

Физические параметры греющей и нагреваемой воды находят по таблице физических свойств воды (табл. 3.1) при средней температуре теплоносителя:

$$t^{cp} = 0,5 \cdot (t_i + t_{i+1}) \quad (7.3)$$

Скорости движения теплоносителей определяют по формулам

$$W_1 = \frac{4 \cdot q_1}{\rho_1 \cdot \pi \cdot d_1^2}, \text{ м/с} \quad (7.4)$$

$$W_2 = \frac{4 \cdot q_2}{\rho_2 \cdot \pi \cdot (d_3^2 - d_2^2)}, \text{ м/с} \quad (7.5)$$

где d_1 – внутренний диаметр внутренней трубы, м;

d_2 –наружный диаметр внутренней трубы, м;

d_3 – наружный диаметр наружной трубы, м.

Расчёт коэффициента теплопередачи (K) производят по формуле для плоской стенки, поскольку соотношения диаметров греющей поверхности аппарата значительно меньше 1,8 ($d_2/d_1 < 1,8$)

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda_{тр}} + \frac{1}{\alpha_2}}, \quad (7.6)$$

где α_1 и α_2 – коэффициенты теплоотдачи соответственно с внутренней и наружной стороны греющей поверхности, Вт/м² К.

Коэффициенты α_1 и α_2 определены из уравнения:

$$\alpha_i = \frac{Nu_i \cdot \lambda_i}{d_i}, \quad (7.7)$$

d – определяющий геометрический размер, м;

λ – коэффициент теплопроводности жидкости, Вт/(м К);

Nu – критерий Нуссельта.

Таблица 7.1 – Физические свойства воды на линии насыщения

t, °C	ρ , кг/м ³	C_p , кДж/(кг К)	$\lambda \cdot 10^2$, Вт/(м К)	$\nu \cdot 10^6$, м ² /с	Pr
0	999,9	4,212	55,1	1,789	13,67
10	999,7	4,191	57,4	1,306	9,52
20	998,2	4,183	59,9	1,006	7,02
30	993,7	4,174	61,8	0,805	5,42
40	992,2	4,174	63,5	0,659	4,31
50	988,1	4,174	64,8	0,556	3,54
60	983,2	4,179	65,9	0,478	3,98
70	977,8	4,187	66,8	0,415	2,55
80	971,8	4,195	67,4	0,365	2,21
90	965,3	4,208	68,0	0,326	1,95
100	958,4	4,220	68,3	0,295	1,75
110	951,0	4,233	68,5	0,272	1,60
120	943,1	4,250	68,6	0,252	1,47
130	934,8	4,266	68,6	0,233	1,36
140	926,1	4,287	68,5	0,217	1,26
150	917,0	4,313	68,4	0,203	1,17

160	907,4	4,346	68,3	0,191	1,10
170	897,3	4,380	67,9	0,181	1,05
180	886,9	4,417	67,4	0,173	1,00
190	876,0	4,459	67,0	0,165	0,96
200	866,0	4,505	66,3	0,158	0,93

При подсчёте коэффициента теплоотдачи с внутренней поверхности греющей трубы использовать формулы:

а) Для турбулентного режима движения ($Re > 10^4$)

$$Nu_{\text{ж}} = 0,021 \cdot Re_{\text{ж}}^{0,8} \cdot Pr_{\text{ж}}^{0,43} \cdot \left(\frac{Pr_{\text{ж}}}{Pr_{\text{с}}} \right)^{0,25} \cdot \varepsilon_e \quad (7.8)$$

б) Для переходного режима движения ($Re = 2100 - 10^4$)

$$Nu_{\text{ж}} = K_0 \cdot Pr_{\text{ж}}^{0,43} \cdot \left(\frac{Pr_{\text{ж}}}{Pr_{\text{с}}} \right)^{0,25} \cdot \varepsilon_e \quad (7.9)$$

при этом, K_0 взять из таблицы 7.2.

в) Для ламинарного режима движения ($Re \leq 2100$)

$$Nu_{\text{ж}} = 0,015 \cdot Re_{\text{ж}}^{0,33} \cdot Pr_{\text{ж}}^{0,43} \cdot Gr_{\text{ж}}^{0,1} \cdot \left(\frac{Pr_{\text{ж}}}{Pr_{\text{с}}} \right)^{0,25} \cdot \varepsilon_e \quad (7.10)$$

Таблица 7.2. – Значения поправочного коэффициента K_0 переходного режима

$Re_{\text{ж}} \cdot 10^{-3}$	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	3	4	5	6	7	8
K_0	1,9	2,2	3,3	3,8	4,4	5,0	10,3	15,5	19,5	27	33,3

Индексы “ж” и “с” означают, что физические константы жидкости взяты соответственно при средней температуре жидкости и средней температуре стенки. Для упрощения расчетов при выборе значений критерия Прандтля (Pr_C) принять температуры наружной поверхности стенки на 2 градуса больше, а внутренней на 3 градуса меньше чем средняя температура воды, контактирующей с этими поверхностями.

Значения поправочного коэффициента на длину трубы ϵ_e принять из таблицы 7.3.

Таблица 7.3 Значения поправочного коэффициента на длину трубы ϵ_e

l/d		1	2	5	10	15	20	30	40	50
ϵ_e	Ламинарн. Режим	1,9	1,7	1,44	1,28	1,18	1,13	1,05	1,02	1,0
	Турбулент. Режим	1,5	1,4	1,23	1,14	1,10	1,08	1,04	1,02	1,0

Для определения коэффициента теплоотдачи с наружной поверхности греющей трубы использовать те же формулы по расчёту критерия Нуссельта, вводя дополнительный множитель $(d_3/d_2)^{0,18}$.

В качестве определяющего размера (диаметра) в расчётах использовать эквивалентный диаметр, равный:

$$d_{э\kappa\text{в}} = d_3 - d_2 \quad (7.11)$$

Используемые в расчётных уравнениях “а”, “б”, “в” критерии Рейнольдса (Re), Грасгофа (Gr) определять по формулам:

$$Re = \frac{W \cdot d}{\nu} ; \quad (7.12)$$

$$Gr = \frac{\beta \cdot g \cdot \Delta t \cdot d^3}{\nu^2},$$

(7.13)

где $\beta = \frac{1}{T} = \frac{1}{t + 273}$ - коэффициент объёмного расширения;

$g = 9,81 \text{ м/сек}^2$ - ускорение свободного падения.

Для каждой схемы включения аппарата средний температурный напор (Δt_{CP}) определять как среднелогарифмический

$$\Delta t = \frac{\Delta t_{\delta} - \Delta t_{\text{н}}}{\ln \frac{\Delta t_{\delta}}{\Delta t_{\text{м}}}},$$

(7.14)

где Δt_{δ} и $\Delta t_{\text{м}}$ – наибольший и наименьший температурные перепады между греющим теплоносителем и нагреваемой водой.

Площадь теплообменной поверхности определяется по формуле:

$$F = \pi \cdot d_2 \cdot L \quad (7.15)$$

7.4 АППАРАТУРА И МАТЕРИАЛЫ.

Экспериментальная установка состоит из универсального измерительного стенда, на который устанавливается сменный блок теплообменника типа «труба в трубе» (фотография блока приведена на рис. 7.1).

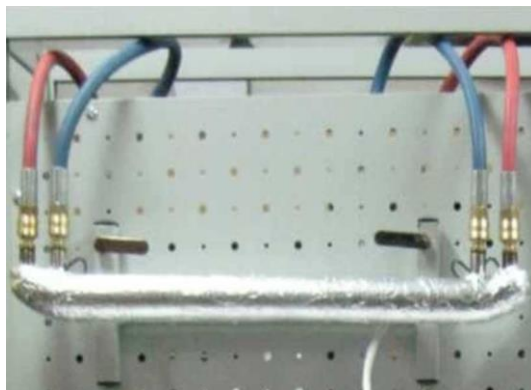


Рис. 7.1 Сменный блок теплообменника типа «труба в трубе».

Принципиальная схема сменного экспериментального блока установки, который является объектом исследования, изображена на рис. 7.2. Этот блок представляет собой теплообменник, состоящий из трубы (1) с внутренним диаметром $d_1=14$ мм и наружным диаметром $d_2=16$ мм, которая размещена внутри наружной трубы (2) с внутренним диаметром $d_3=22$ мм. Длина теплообменной поверхности внутренней трубы $L=500$ мм. Греющая вода подается во внутреннюю трубу, а в межтрубное пространство подается нагреваемая вода. Трубы изготовлены из стали с коэффициентом теплопроводности $\lambda_{\text{тр}}= 50$ Вт/(м К).

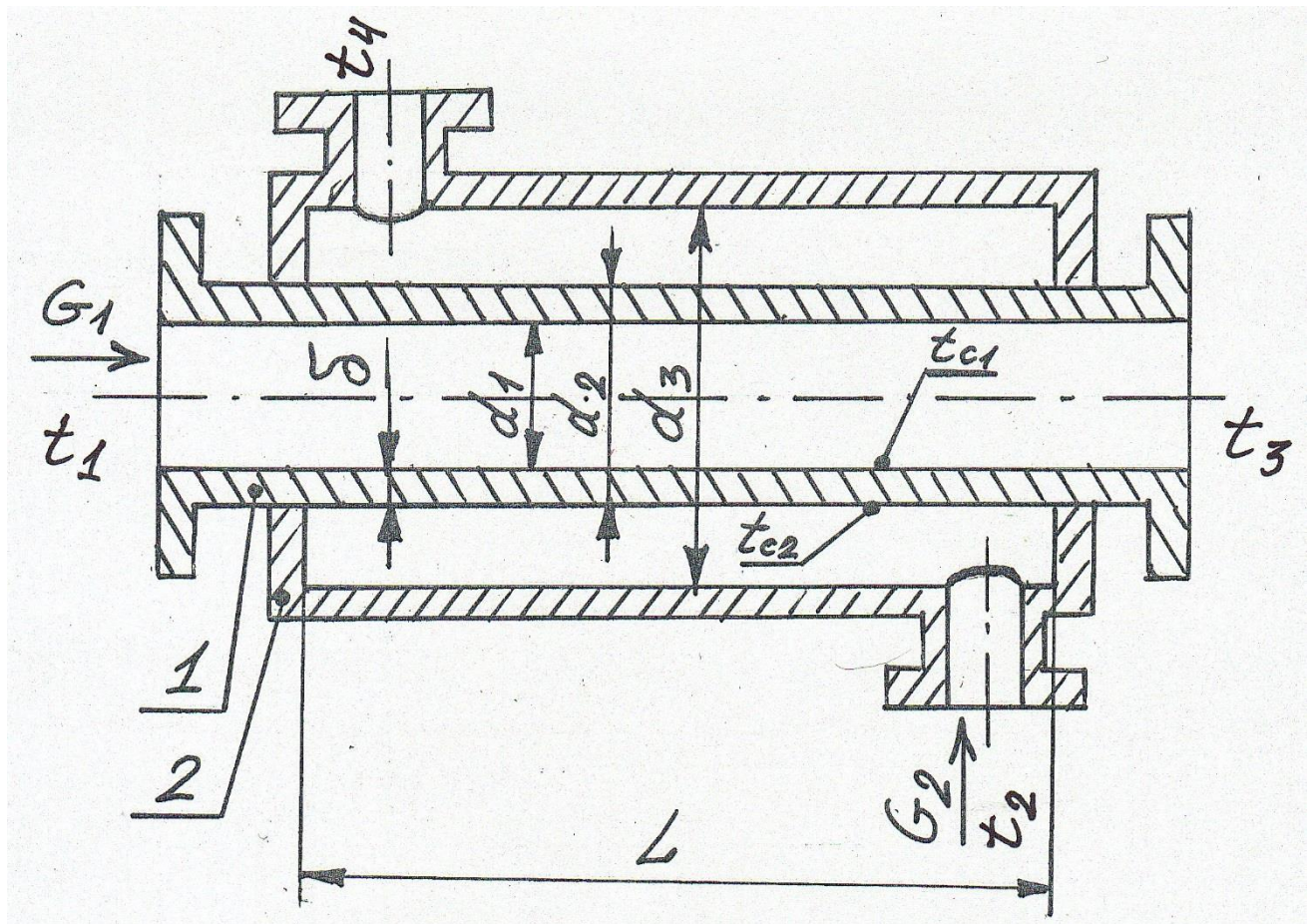


Рис. 3.2. Схема теплообменника «труба в трубе»

1- внутренняя труба; 2- наружная труба; d_1 - внутренний диаметр внутренней трубы; d_2 - наружный диаметр внутренней трубы; d_3 - внутренний диаметр наружной трубы; t_{c1} - температура внутренней поверхности стенки внутренней трубы; t_{c2} - температура наружной поверхности стенки внутренней трубы; L -длина теплообменной части внутренней трубы.

7.5 УКАЗАНИЯ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ

Студенты обязаны выполнять общие требования безопасности согласно Инструкции по охране труда в лаборатории 11-116. Инструктаж по технике безопасности проводится преподавателем под подпись студента в специальном журнале по технике безопасности.

7.6 МЕТОДИКА И ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

7.6.1 Установить блок лабораторной установки «Исследование теплового процесса в теплообменном аппарате типа «труба в трубе»» на перфорированную панель

стенда в горизонтальном положении (штуцеры подключения к водяному контуру должны располагаться сверху) и закрепить поворотом крепежных рукояток во встречном направлении на четверть оборота.

7.6.2 Подключить трубки контура горячей и холодной воды к установке.

7.6.3 Произвести подключение кабеля к стенду в разъем, размещенный на верхней стальной крышке.

ВНИМАНИЕ! Соблюдайте соответствие подключаемых попарно разъемов друг другу: одна коммутируемая пара – разъемы типа «папа/мама».

7.6.4 Прогреть бак с горячей водой до необходимой температуры. Для этого включить автоматические выключатели QF1 и QF2 на панели стенда.

7.6.5 Включить терморегулятор бака горячей воды клавишным выключателем SA5. Установить на регуляторе необходимую для эксперимента температуру (по указанию преподавателя, но не более $+70^{\circ}\text{C}$).

7.6.6 Включить терморегулятор бака холодной воды клавишным выключателем SA6. Установить на регуляторах температуры заданные параметры (для холодной воды задается температура воздуха в помещении).

7.6.7 Включить насос контура холодной воды «Насос-2» клавишным выключателем SA4, затем – включить насос горячей воды «Насос-1» клавишным выключателем SA2.

7.6.8 Включить переключатель схемы движения теплоносителей в режим «прямоток».

7.6.9 С помощью вентилей регулировки подачи теплоносителей установить заданные расходы воды (рекомендуется не более 0,1 л/с).

7.6.10 Дождаться, когда процесс теплопередачи можно будет считать установившимся (изменение среднего значения температуры за 2 мин не превышает $0,1^{\circ}\text{C}$).

Зафиксировать показания приборов и занести их в таблицу 7.4.

7.6.11 Переключить схему движения теплоносителей в режим «противоток».

Убедиться, что величины расходов теплоносителей не изменились, при необходимости подкорректировать расходы соответствующими регулировочными вен-

тиями. Расходы теплоносителей в опыте № 1 и № 2 должны быть равны с точностью $\pm 0,01$ л/с/

7.6.12 После установления стационарного режима снять показания температур. Результаты записать в таблицу 7.4.

Таблица 7.4.Результаты измерений

№ опыта	Схема включения	t_1	t_2	t_3	t_4	q_1 л/с	q_2 л/с
1	прямоток						
2	противоток						

7.7 ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

7.7.1 Рассчитать значение мощности (Q) теплообменника по уравнению (7.2).

7.7.2 Рассчитать средний температурный напор (Δt_{CP}) по формуле (7.14).

7.7.3 Рассчитать площадь теплообменной поверхности (F) по формуле (7.15).

7.7.4 Определить фактический коэффициент теплопередачи ($K_{факт}$) из уравнения (7.1).

7.7.5 Из уравнений (7.4) и (7.5) определить скорости теплоносителей (W_1 и W_2).

7.7.6 Определить режимы движения теплоносителей рассчитав значения критериев Рейнольдса из уравнения (7.12).

7.7.7 В зависимости от режима движения теплоносителей по формулам (7.8, 7.9, 7.10) определить значения критерия Нуссельта.

7.7.8 По уравнению (7.7) определить коэффициент теплоотдачи от греющей воды к внутренней стенке внутренней трубы и коэффициент теплоотдачи от наружной стенки внутренней трубы к нагреваемой воде.

7.7.9 По уравнению (7.6.) вычислить теоретический коэффициент теплопередачи ($K_{теор}$).

7.7.10. Расчетные параметры занести в таблицу 7.5.

Таблица 7.5. Результаты расчетов основных параметров

№ опыта	Q	Δt	$K_{\text{факт}}$	W_1	W_2	Re_1	Re_2	α_1	α_2	$K_{\text{теор}}$
1										
2										

7.8 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА И ЕГО ФОРМА

Отчет оформляется в 18-листовой тетради и должен содержать следующие пункты:

- тема работы;
- цель работы;
- краткое описание работы;
- принципиальную схему опытной установки;
- таблицы записи показаний измерительных приборов и результатов обработки опытных данных;
- подробные расчеты с краткими пояснениями;
- схематичные графики изменения температур теплоносителей от площади теплообменной поверхности для прямоточной и противоточной схем включения;
- сравнение фактического коэффициента теплопередачи с теоретическим
- выводы по лабораторной работе.

7.9 ВОПРОСЫ ДЛЯ ЗАЩИТЫ РАБОТЫ

1. Назначение и область применения теплообменных аппаратов.

Основные виды теплообменников.

2. Принципы работы основных видов теплообменников.

3. Уравнение теплового баланса рекуперативного теплообменника.

4. Методика расчета рекуперативного теплообменника типа «труба в трубе».

5. Уравнение для определения среднего температурного напора рекуперативного теплообменника типа «труба в трубе».

6. Изобразить теплообменник типа «труба в трубе» включенный по прямоточной и противоточной схеме.
7. Методика расчета Δt_6 и Δt_m – наибольшего и наименьшего температурных перепадов между греющей и нагреваемой водой.
8. Уравнения критериев подобия Рейнольдса, Нуссельта, Грасгофа и величины входящие в эти уравнения.
9. Основное уравнение теплопередачи рекуперативного теплообменника, величины, входящие в это уравнение.
10. Режимы течения теплоносителей в теплообменнике, какой величиной они определяются и от каких физических параметров теплоносителей зависят эти режимы.

Литература: [1-6]

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 15

Определение коэффициента затекания воды в отопительный прибор и его теплоотдачи

8.1 ЦЕЛЬ И СОДЕРЖАНИЕ

Экспериментальное определение коэффициента затекания воды в нагревательный прибор и его теплоотдачи при питании прибора сверху – вниз и одностороннем присоединении к стояку.

8.2 ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ

ПК-7– Способность систематизировать и обобщать информацию по использованию ресурсов предприятия

8.3 ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ

Отопительные приборы могут подключаться к стоякам по различным схемам. В зависимости от типа прибора и разводки системы отопления существуют следующие схемы подключения отопительных приборов:

- одностороннее, когда теплопроводы расположены с одной стороны отопительного прибора;
- разностороннее, когда теплопроводы расположены с противоположных сторон.

На рисунке 8.1 показаны различные виды одностороннего подключения к однотрубной вертикальной системы отопления:

- а) приборного узла с осевым замыкающим участком;
- б) приборного узла со смещённым замыкающим участком;
- в) приборных узлов проточно-регулируемых, с осевым и смещённым замыкающими участками;
- г) приборных узлов с проходными регулирующими кранами, осевым и смещёнными замыкающими участками.

На рис. 8.2 приведены и другие схемы подключения приборов.

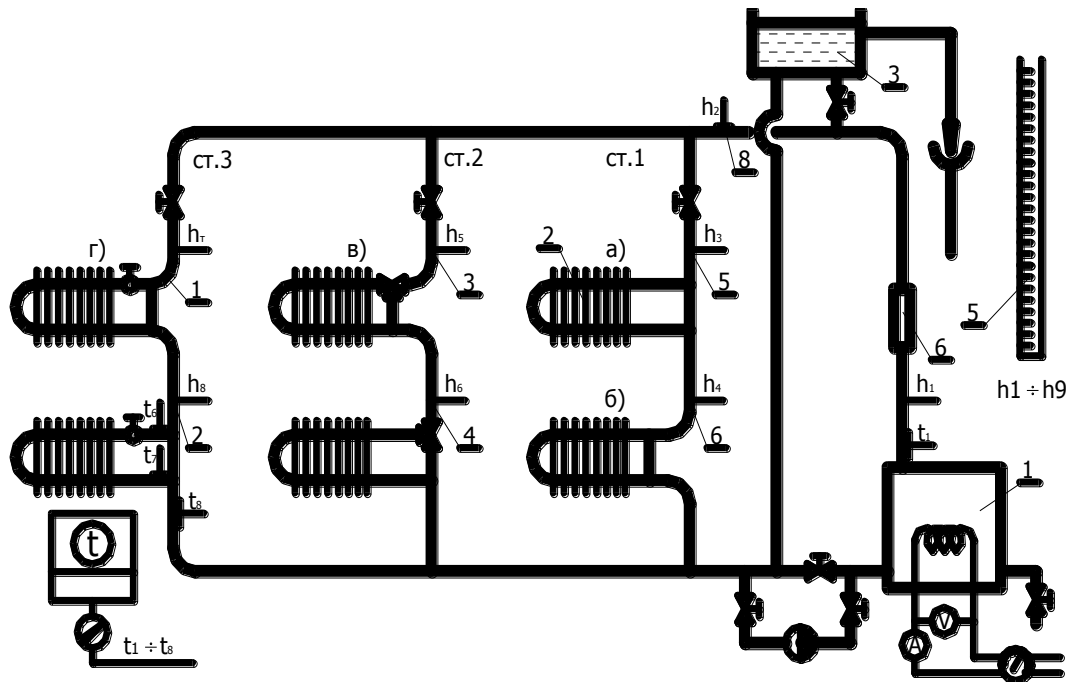


Рисунок 8.1

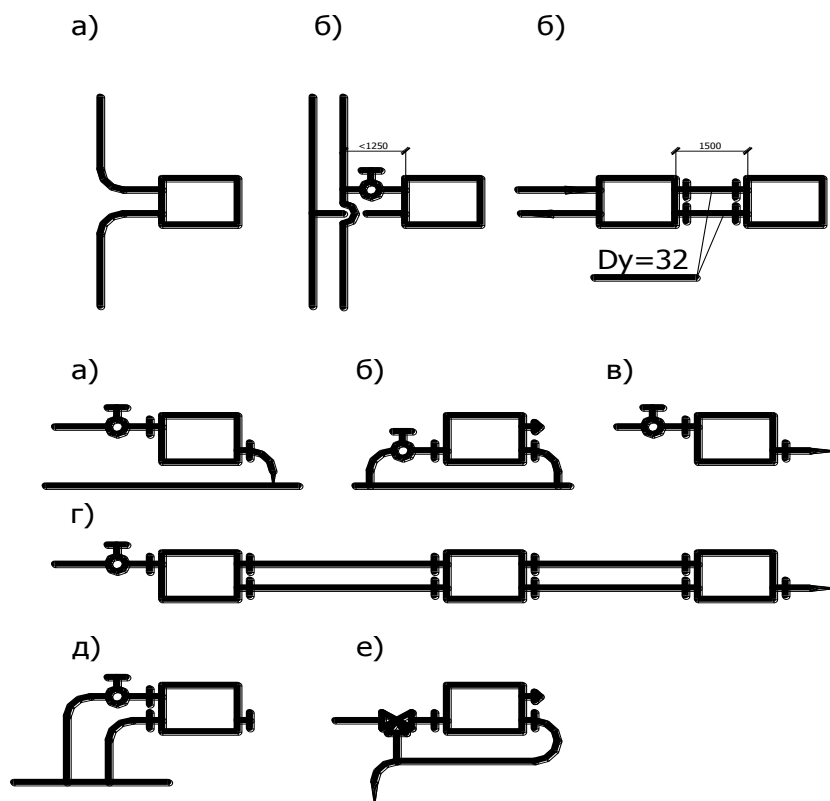


Рисунок 8.2

Приборные узлы с односторонним присоединением труб применяют как в вертикальных, так и в горизонтальных однотрубных системах водяного отопления. В горизонтальных однотрубных ветвях чаще используют проточные узлы и узлы с замыкающими участками и кранами КРП. В двухтрубных стояках водяного и парового отопления каждый отопительный прибор присоединяют отдельно к подающей и обратной трубам. Для регулирования количества теплоносителя используют при водяном отоплении краны двойной регулировки КРД, а при паровом отоплении – паровые вентили.

На вертикальных однотрубных стояках применяют короткие подводки $L=500$ мм, выполняемые без уклонов.

При двухтрубных стояках рациональная длина подводов не более 1,25 м. При большем расстоянии от стояка до прибора рекомендуется устанавливать дополнительный стояк. Уклоны предусматривают в сторону движения теплоносителя равными 5 – 10 мм на всю длину подводки.

При одностороннем присоединении труб не рекомендуется чрезмерно укрупнять чугунные радиаторы – более 25 секций (15 в системах с естественной циркуляцией), а также – соединять на «сцепке» более двух радиаторов. Соединение на «сцепке» выполняют в пределах одного помещения или в том случае, когда последующий прибор, предназначен для нерегулируемого отопления второстепенного помещения. «Сцепка» приборов применяют также в ветвях горизонтальной однотрубной системы.

Разностороннее присоединение, труб к прибору применяют в тех случаях, когда горизонтальная обратная магистраль или конденсатопровод проходит непосредственно под прибором, или когда прибор устанавливают ниже магистралей.

Движение воды в приборах однотрубных стояков возможно сверху-вниз и снизу-вверх, причём в последнем случае замыкающие участки смещают, для увеличения коэффициента затекания воды в приборы. Кроме того, они являются одновременно компенсаторами удлинения труб при нагревании.

В приборах двухтрубных стояков чаще предусматривают движение теплоносителя по схеме сверху – вниз.

Присоединение труб к прибору, создающее движение воды в нём по схеме снизу-вверх, характерно для горизонтальной однетрубной системы. Так же используются верхние приборы вертикальных систем отопления.

Арматура, устанавливаемая на подводках, имеет различное назначение:

– при двухтрубных стояках применяют краны, имеющие повышенное гидравлическое сопротивление, способствующее равномерности распределения теплоносителя по отопительным приборам;

– при однетрубных стояках – пониженным сопротивлением протеканию теплоносителя, способствующим затеканию в прибор большего количества воды, что повышает в них среднюю температуру теплоносителя.

На подводках к отопительным приборам устанавливают: при однетрубных системах – регулирующие краны (только для эксплуатационного регулирования), имеющие пониженный коэффициент местного сопротивления (ручные краны проходные КРП и трехходовые КРТ, автоматические радиаторные терморегуляторы для однетрубных систем); при двухтрубных системах – регулирующие краны (для пусконаладочного и эксплуатационного регулирования), имеющие повышенные коэффициент местного сопротивления (ручные краны двойного регулирования, краны КРП с дросселирующим устройством, автоматические радиаторные терморегуляторы для двухтрубных систем). Для автоматического поддержания заданной температуры воздуха внутри помещения используют автоматические радиаторные терморегуляторы. Терморегулятор состоит из регулирующего клапана и термостатического элемента с сильфоном. Температура в помещении поддерживается путем изменения расхода воды через отопительный прибор. Регулирующие клапана радиаторных терморегуляторов выпускаются двух видов: с малым гидравлическим сопротивлением – для однетрубных насосных и любых гравитационных систем отопления; с повышенным гидравлическим сопротивлением и возможностью дополнительной настройки на требуемое гидравлическое сопротивление (при режимной наладке) – для двухтрубных насосных систем отопления. Применение автоматических радиаторных терморегуляторов позволяет экономить в среднем 15% тепла на отопление за счет недопущения перегрева

помещений от солнечной радиации, бытовых приборов, людей и т. Д. На стояках и вводах в отдельные квартиры (при квартирных разводках систем отопления) могут устанавливаться вентили, пробковые или шаровые краны. Шаровой кран в открытом состоянии практически не создает дополнительного гидравлического сопротивления.

Гидравлической устойчивостью называется способность системы отопления сохранять постоянство расхода воды на каждом из её участков при нарушении расчётного режима или пропорционально изменять расход на всех участках при изменении общего расхода. Как правило, гидравлическую устойчивость считают синонимом тепловой устойчивости.

Показателем гидравлической устойчивости системы является отношение расхода на любом из участков системы при переменном режиме к расчётному расходу. Отклонения от оптимального режима называют разрегулировкой системы. Различают вертикальную разрегулировку по этажам и горизонтальную в пределах одного этажа. Разрегулировка системы отопления может возникнуть при периодическом отклонении расхода в стояках от расчётного режима вследствие ремонта, дросселирования приборов при индивидуальном регулировании, завоздушивания системы и ряде других причин.

Из числа систем с тупиковым движением теплоносителя, лучшую гидравлическую устойчивость имеют системы с большим количеством стояков, а также при относительно высоком гидравлическом сопротивлении стояков по отношению к гидравлическому сопротивлению магистрали. Кроме этого, разрегулирование системы будет меньшим, если стояки с переменной тепловой нагрузкой присоединять по возможности ближе к главному стояку.

При определении распределения потока в системе отопления при заданных диаметрах труб наиболее удобен метод расчёта по характеристикам сопротивлений.

Характеристика сопротивления сети S , $\text{Па}/(\text{кг}\cdot\text{ч}^{-1})^2$ определяется из выражения:

$$S = A \left(\frac{\lambda}{d} l + \sum \xi \right) \quad (8.1)$$

где $A = \frac{6,26 \cdot 10^{-2}}{\rho \cdot d^4}$ – удельное динамическое давление на участке, Па/(кг*ч⁻¹)²;

d – диаметр участка, м;

ρ – плотность теплоносителя (при $t=20^\circ\text{C}$, $\rho=988$ кг/м³);

λ , $\sum \xi$, l – соответственно коэффициент трения, сумма коэффициентов местных сопротивлений и длина участка, м.

Тогда общие потери давления на участке, Па, равны:

$$\Delta P = S \cdot G^2, \quad (8.2)$$

где G – расход воды на участке, кг/ч.

Величина $1/\sqrt{S}$ называется проводимостью сети, кг/(ч*Па^{0,5}) и обозначается σ , т. Е.

$$\sigma = 1/\sqrt{S}. \quad (8.3)$$

При последовательно соединенных участках суммарная характеристика сопротивления равна:

$$S_{\text{общ}} = S_1 + S_2 + S_3 + \dots + S_n. \quad (8.4)$$

При параллельно соединенных участках суммарная проводимость определяется:

$$\delta_{\text{общ}} = \delta_1 + \delta_2 + \delta_3 + \dots + \delta_n. \quad (8.5)$$

При этом расходы в параллельных участках сети пропорциональны их проводимостям, т. Е.

$$\frac{G_i}{G_{\text{общ}}} = \frac{\sigma_i}{\sigma_{\text{общ}}}. \quad (8.6)$$

Теплопроизводительность отопительного прибора определяется по формулам:

$$Q = G \cdot c \cdot (t_2 - t_{\text{см}}); \quad (8.7)$$

$$Q = x \cdot c \cdot (t_2 - t_x), \quad (8.8)$$

где G – расход воды, протекающей через стояк, кг/с;

x – неизвестный расход воды, протекающей через отопительный прибор, кг/с;

c – удельная теплоемкость воды, Дж/(кг*К);

t_x – температура воды, уходящей из отопительного прибора, °С;

$t_{см}$ – температура смеси (слияние потоков из замыкающего участка отопительного прибора), °С.

Из приведенных формул получаем выражения для определения коэффициента затекания воды (доли количества воды, протекающей через отопительный прибор, от общего расхода воды на стояке):

$$x = G \frac{t_2 - t_{см}}{t_2 - t_x}; \quad (8.9)$$

$$\alpha = \frac{x}{G} = \frac{t_2 - t_{см}}{t_2 - t_x}. \quad (8.10)$$

8.4 АППАРАТУРА И МАТЕРИАЛЫ

Экспериментальная установка (рис. 8.1) имеет три стояка (ст.1, ст.2, ст.3) с различным присоединением отопительных приборов:

– стояк (ст.1) имеет приборы, подключенные с прямым и смещенным замыкающими участками;

– отопительные приборы стояка (ст.2) подключены через краны типа КРТ;

– отопительные приборы стояка (ст.3) подключены через краны типа КРП.

Система однетрубная, вертикальная с верхней разводкой, тупиковая с односторонним подключением отопительных приборов, и включает в себя следующие элементы: 1 – котел электрический; 2 – отопительный прибор; 3 – бак расширительный; 4 – насос циркуляционный; 5 – пьезометрическая трубка; 6 – ротаметр.

Электрический котел имеет регулятор для изменения нагрузки и амперметр и вольтметр для ее замера. Температура воды измеряется при помощи термопар, подключенных к вторичному прибору через переключатель.

Система может работать как с естественной циркуляцией, так и с принудительной.

8.5 УКАЗАНИЯ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ

Студенты обязаны выполнять общие требования безопасности согласно Инструкции по охране труда в лаборатории 11-108. Инструктаж по технике безопасности проводится преподавателем под подпись студента в специальном журнале по технике безопасности.

8.6 МЕТОДИКА И ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1.5.1 Получить от преподавателя указания по температурному режиму и исследуемому отопительному прибору.

1.5.2 Вычертить схему установки для определения коэффициента затекания воды в отопительный прибор и его теплоотдачи.

1.5.3 Включить нагреватель котла 1 и циркуляционный насос 4.

1.5.4 Добиться стабильности работы установки на заданном температурном режиме. Для этого проверить постоянство температур на входе и выходе из прибора.

1.5.5 Снять показания ротаметра 6 и по тарировочному графику определить количество воды, которое проходит через контур.

Одновременно снять показания термометров. Каждое наблюдение проводить не менее трех раз с интервалом 7 – 10 минут.

1.5.6 По формулам (1.10) и (1.7) определить коэффициент затекания воды в нагревательный прибор и его теплоотдачу.

Данные наблюдений и результаты расчетов занести в таблицу 8.1.

Таблица 8.1 – Протокол записи наблюдений и результатов обработки опытных данных

№ опыта	Температура воды, поступающей в прибор $t_2, ^\circ\text{C}$	Температура воды, уходящей из прибора $t_x, ^\circ\text{C}$	Температура смеси $t_{\text{см}}, ^\circ\text{C}$	Расход воды $G, \text{кг/с}$	Коэффициент затекания α	Теплоотдача прибора $Q, \text{Вт}$

8.7 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА И ЕГО ФОРМА

Отчет по выполненной работе должен содержать следующее:

- краткое описание основных положений по определению коэффициента затекания;
- описание экспериментального стенда;
- порядок проведения эксперимента и результаты обработки опытных данных;
- выводы.

8.8 ВОПРОСЫ ДЛЯ ЗАЩИТЫ РАБОТЫ

1. Виды прокладки систем отопления.
2. Типы присоединения отопительных приборов.
3. Метод гидравлического расчета систем отопления по характеристикам сопротивления.
4. Методика определения коэффициента затекания.
5. Устройство стенда и правила его регулирования.

Литература: [1-6]

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 16

Определение динамики давления в системе водяного отопления

9.1 ЦЕЛЬ И СОДЕРЖАНИЕ

9.1.1 Экспериментальное измерение давлений на участках системы отопления;

9.1.2 Построение пьезометрического графика систем отопления и оценка устойчивости циркуляции в стояках.

9.2 ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ

ПК-7– Способность систематизировать и обобщать информацию по использованию ресурсов предприятия

9.3 ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ

Гидравлическое давление в каждой точке циркуляционных колец системы отопления в течение отопительного сезона непрерывно изменяется. Исходное давление соответствует гидростатическому давлению в каждой точке системы в состоянии покоя. Наибольшие изменения давления в системе происходят при циркуляции максимального количества воды, температура которой достигает максимального значения при расчетной температуре наружного воздуха.

Изменение гидравлического давления рассматривают с целью выявления в системе отопления мест, с чрезмерно низким или высоким давлением, вызывающим нарушение циркуляции.

Значение гидравлического давления каплевой несжимаемой жидкости при установившемся движении потока по уравнению Бернулли составит:

$$P = \frac{\rho w^2}{2} + \rho gh + p, \quad (9.1)$$

где ρ – плотность воды, кг/м³;

g – ускорение свободного падения, м/с²;

h – расстояние по вертикали от оси потока до плоскости сравнения, м;

w – средняя скорость движения потока, м/с;

p – давление потока, Па.

Кинетической энергией потока обычно пренебрегают в отопительных системах

$$\left(\rho \frac{w^2}{2} \approx 0 \right)$$

Естественное циркуляционное (гравитационное) давление в системе водяного отопления равно:

$$\Delta P_e = g \sum h_i (\rho_{i+1} - \rho_i), \quad (9.2)$$

где h_i – расстояние по вертикали от центра нагревания до центра охлаждения, м.

В системах с естественной циркуляцией потери давления равны:

$$\Delta P = \Delta P_e \quad (9.3)$$

Общие потери давления при движении воды в насосной системе отопления определяются выражением:

$$\Delta P_i = \Delta P_n + \Delta P_e; \quad (9.4)$$

$$\Delta P_i = \Delta P_{наг} + \Delta P_{всас}; \quad (9.5)$$

где ΔP_n – напор, развиваемый циркуляционным насосом;

$\Delta P_{наг}$ – сопротивление системы отопления на участке от насоса до «нулевой» точки;

$\Delta P_{всас}$ – сопротивление системы отопления на участке от «нулевой» точки до насоса.

Как известно, гидравлические потери системы при движении воды определяются формулой Дарси-Вейсбаха:

$$\Delta P_c = \sum (Rl + Z), \quad (9.6)$$

где R – удельные потери на трение,

$$R = \frac{\lambda}{d_\varepsilon} \cdot \frac{w^2 \rho}{2} \quad (9.7)$$

λ – коэффициент трения. В зависимости от гидродинамики потока коэффициент определяется по различным формулам:

- при ламинарном движении ($Re < 2300$) $\lambda = f(Re)$ и может быть определен по

формуле Пуазейля:

$$\lambda = \frac{64}{Re} \quad ; \quad (9.8)$$

В отоплении чаще принимают зону $300 < Re < 7000$, а в формулу Пуазейля вводят поправку на шероховатость труб. Тогда:

$$\lambda = \frac{64}{Re} \left[1 + 4 \left(\frac{d_g}{K_s} \right)^{0,8} \right]; \quad (9.9)$$

- при турбулентном движении воды в трубах (во всей области, гидравлически гладких и шероховатых труб) используют формулу (или диаграмму) Колбрука или формулу Альтшуля:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \cdot \lg \left(\frac{2,51}{Re \sqrt{\lambda}} + \frac{\hat{E}_y}{3,7 d_a} \right); \quad (9.10)$$

где K_s – эквивалентная шероховатость внутренней поверхности труб (в системах водяного отопления принимают $K_s = 0,2$ мм);

d_g – внутренний диаметр трубопровода, м;

l – длина участка трубопровода, м;

Z – потери давления на местные сопротивления, $Z = \xi(w^2 \rho / 2)$;

ξ – коэффициент местного сопротивления (КМС).

Построенные на контуре системы отопления эпюры давлений или пьезометрический график позволяют наглядно узнать его изменения. Для надежной циркуляции, давление в подающей магистрали должно быть выше, чем в обратной.

Системы отопления выполняют преимущественно из стальных водогазопроводных труб по ГОСТ 3262-75 (обыкновенных, усиленных и легких) и стальных электросварных труб по ГОСТ 10704-76. Усиленные трубы применяют в уникальных долговременных сооружениях со скрытой прокладкой труб; легкие трубы предназначены под сварку или накатку резьбы для их соединения в системах с открытой прокладкой труб. Стальные трубопроводы удобны для выполне-

ния вертикальных систем отопления с открытой прокладкой трубопроводов, позволяют использование теплоносителя с высокими температурами, обладают небольшим коэффициентом теплового удлинения $0,012 \text{ мм}/(\text{К}^*\text{м})$, но требуют дополнительной антикоррозийной обработки наружной поверхности. Применение в качестве теплоносителя в стальных трубопроводах не деаэрированной и не умягченной воды приводит к коррозии и образованию накипи на внутренней поверхности трубопроводов, что значительно снижает срок службы. При квартирной разводке, из-за сложности скрытой прокладки стальных трубопроводов, их прокладывают открыто, это портит эстетический вид помещения.

Медные трубопроводы отличаются самым низким коэффициентом шероховатости ($K_{\text{меди}}=0,0000015 \text{ м}$) по сравнению со сталью ($K_{\text{стали}}=0,0002 \text{ м}$), а пластиковые трубы ($K_{\text{пластик}}=0,000007 \text{ м}$). Такой низкий коэффициент шероховатости позволяет работать на трубопроводах маленьких диаметров ($D_{\text{у}}=8 \text{ мм}$ и $D_{\text{у}}=10 \text{ мм}$) для стояков и подводок к приборам. При использовании медных труб в качестве отопительных приборов следует использовать стальные панельные, чугунные секционные радиаторы, а при использовании алюминиевых приборов – устанавливать в месте подсоединения трубопровода с нагревательным прибором стальную оцинкованную пробку. Выполнение этих условий позволит избежать электромагнитной коррозии, которая возникает при прямом присоединении меди с алюминием.

Полимерные и металлополимерные трубопроводы не требуют специальной подготовки воды и антикоррозийной защиты поверхностей. Так как расчетный срок службы этих труб более 40 лет, то они могут замоноличиваться в стены, в подготовку пола без кожуха. Открытая прокладка допускается в местах, где исключается механическое и термическое повреждение трубопроводов и прямое воздействие ультрафиолетового излучения. К достоинствам полимерных и металлополимерных труб по сравнению со стальными относятся: легкость, долговечность, удобство транспортировки и монтажа; не подверженность коррозии и накипеобразованию; меньший коэффициент шероховатости.

Недостатки: большой коэффициент теплового удлинения

0,14 ÷ 0,2 мм/(К*м); кислородопроницаемость полимерных труб; хрупкость, подверженность механическим повреждениям и деформации, в системах отопления для таких труб снижается рабочая температура теплоносителя до 90⁰С (на более высоких параметрах резко уменьшается срок эксплуатации труб).

9.4 УКАЗАНИЯ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ

Студенты обязаны выполнять общие требования безопасности согласно Инструкции по охране труда в лаборатории 11-108. Инструктаж по технике безопасности проводится преподавателем под подпись студента в специальном журнале по технике безопасности.

9.5 МЕТОДИКА И ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

9.5.1 Исследования проводятся по указанию преподавателя, как при естественной циркуляции, так и при насосной.

При работе систем отопления с естественной циркуляцией, расширительный бак 3 подключается к верхней точке системы.

При работе систем отопления с насосной циркуляцией, расширительный бак 3 подключен к всасывающему патрубку насоса.

9.5.2 Снять показания пьезометра при отсутствии циркуляции. Определить «нулевую» точку.

9.5.3 Включить нагреватель котла 1 и установить заданный преподавателем режим.

9.5.4 Добиться стабильности работы установки на заданном режиме.

9.5.5 Снять показания пьезометра 5 при наличии циркуляции в заданном режиме, измерения провести не менее трех раз с интервалом 7 – 10 минут. Измерения проводить относительно «нулевой» точки.

9.5.6 Данные наблюдений занести в таблицу 9.1.

Вычислить давления на участках системы по формуле (9.1) и по ним построить эпюру давлений (пьезометрический график) на участках системы отопления.

Таблица 9.1 – Протокол записи наблюдений и результатов обработки данных.

№ опыта	Расход воды G , кг/с	Температура воды, °C		Пьезометрические высоты, см								
		в подающей магистрали t_1	в обратной магистрали t_2	h_1	h_2	h_3	h_4	h_5	h_6	h_7	h_8	h_9

Продолжение таблицы 9.1

Средняя плотность воды, кг/м ³		Давление, Па									
ρ_o	ρ_z	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7	P_8	P_9	

9.6 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА И ЕГО ФОРМА

Отчет по выполненной работе должен содержать следующее:

- краткое описание основных положений по определению давления в системе;
- порядок проведения эксперимента и результаты обработки опытных данных;
- эпюра давлений (пьезометрический график) на участках системы отопления;
- выводы.

9.7 ВОПРОСЫ ДЛЯ ЗАЩИТЫ РАБОТЫ

1. Характеристика уравнения Бернулли.
2. Режимы течения теплоносителя в водяных системах отопления.
3. Характеристика потерь напора в системе.
4. Условия подключения расширительного бака при естественной и искусственной циркуляции.
5. Перераспределение давления в системе при работе.

Литература: [1-6]

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 17**Измерение параметров наружного и внутреннего воздуха****10.1 ЦЕЛЬ И СОДЕРЖАНИЕ**

Освоение методики определения параметров наружного и внутреннего воздуха помещений.

10.2 ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ

ПК-7– Способность систематизировать и обобщать информацию по использованию ресурсов предприятия

10.3 ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ

Влажный воздух является газовой смесью, подчиняющейся закону Дальтона:

$$P_{\text{вв}} = P_{\text{св}} + P_{\text{вп}}, \quad (10.1)$$

где $P_{\text{вв}}$ – давление влажного воздуха;

$P_{\text{св}}, P_{\text{вп}}$ – парциальные давления сухого воздуха и водяного пара.

Давление насыщенного водяного пара является функцией только температуры и может быть определено по таблице или по формуле:

$$P_{\text{нп}} = 479 + (11,52 + 1,62t)^2, \quad (10.2)$$

где t – температура воздуха.

Температуры водяного пара и сухого воздуха одинаковы и равны температуре влажного воздуха. Компоненты влажного воздуха занимают объем, равный объему всей смеси. Парциальное давление каждого компонента смеси задается уравнением Клапейрона (с достаточной для технических расчетов точностью можно считать, что влажный воздух подчиняется законам смеси идеальных газов):

$$P_i = m_i R_i T / V, \quad (10.3)$$

где m_i — масса i -того газа;

R_i — газовая постоянная i -того газа;

T — температура газа;

V — объем газа.

Влажный воздух называется ненасыщенным, если его температура больше температуры насыщенного пара, соответствующей парциальному давлению водяных паров. При этом пар во влажном воздухе перегретый.

Влажный воздух называется насыщенным, если его температура равна температуре насыщения при данном парциальном давлении водяных паров. Эта температура влажного воздуха называется температурой точки росы.

Если температура воздуха станет меньше температуры точки росы, то излишняя влага будет выделяться из воздуха (конденсироваться) в виде тумана, росы, а парциальное давление водяных паров и температура насыщения будут снижаться.

Абсолютной влажностью воздуха называется масса водяного пара содержащегося в одном кубическом метре влажного воздуха. Она численно равна плотности пара ρ_n при его парциальном давлении P_n и температуре T .

Относительной влажностью воздуха называется отношение его абсолютной влажности при данной температуре и парциальном давлении пара (T и P_n) к максимально возможной абсолютной влажности при той же температуре и давлении P_n .

Относительная влажность выражается в процентах:

$$\varphi = \rho_n / \rho_n 100 \% = P_n / P_n 100 \%, \quad (10.4)$$

т. К. из уравнения состояния при $T = \text{const}$ следует, что:

$$P_{\Pi} / P_H = V_H / V_{\Pi} = \rho_{\Pi} / \rho_H. \quad (10.5)$$

Влагосодержанием называется масса водяного пара, приходящаяся на 1 кг сухого воздуха:

$$d = m_n / m_{cв} = \rho_n 10^3 / \rho_{cв} = \mu_n p_n / (\mu_{cв} p_{cв}), \text{ г / кг сух. Возд.} \quad (10.6)$$

Из уравнения состояния для каждого компонента газовой смеси, получим:

$$\frac{m_n}{m_{cв}} = \frac{P_n R_{cв}}{R_n P_{cв}} = \frac{287 P_n}{482 (P_{св} - P_n)} = \frac{\mu_n \cdot P_n}{\mu_{cв} (P_{св} - P_n)}, \quad (10.7)$$

т. к. $P_{cв} = P_{св} - P_n$, то:

$$d = 622 P_n / (P_{св} - P_n). \quad (10.8)$$

Удельную теплоемкость влажного воздуха относят к единице массы сухой части воздуха:

$$c_{св} = c_{cв} + c_n d / 1000 = 1,005 + 1,8068 d 10^{-3}. \quad (10.9)$$

Энтальпию влажного воздуха относят к единице массы сухого воздуха:

$$I = c_{св} t + 2500 d 10^{-3} = 1,005 t + (2500 + 1,8068 t) d 10^{-3}. \quad (10.10)$$

Для практических расчетов процессов и состояния влажного воздуха используется $I - d$ -диаграмма влажного воздуха, предложенная Л. К. Рамзиным. Диаграмма построена в косоугольной системе координат. Угол между осями $I - d$ составляет 135° . На диаграмме нанесены следующие линии постоянных параметров: I, d, t, φ . Кроме того, на диаграмме нанесены линии постоянной температуры для мокрого термометра $t_m = \text{const}$ и парциального давления водяных паров P_n . Когда ненасыщенный воздух соприкасается с поверхностью тонкой пленки воды, то происходит тепло-массообмен, т. е. будет переноситься тепло и влага в

направлении более низкого потенциала. Если температура ненасыщенного воздуха окажется выше температуры воды, а температура воды – выше температуры точки росы, то перенос тепла будет происходить от воздуха к поверхности воды, а перенос влаги – от поверхности воды в воздух. Температура воздуха будет понижаться, а отдаваемое тепло будет затрачиваться на испарение влаги. Испарившаяся влага поступит в воздух, увеличив его влагосодержание и парциальное давление водяных паров. Поступающие в воздух водяные пары за счет своей энтальпии восстанавливают энтальпию воздуха примерно до начальной величины, поскольку отданное воде явное тепло возвращается обратно в воздух в скрытом виде (энтальпия пара). Такой процесс испарения называется адиабатическим.

Температура, которую принимает насыщенная воздушно-паровая смесь в процессе испарения при условии сохранения постоянной энтальпии воздуха, равной начальной, называется температурой мокрого термометра.

Значения величины t_m для этих линий определяют по шкале температур сухого термометра, в точке пересечения линии $t_m = \text{const}$ с линией $\varphi = 100 \%$.

В нижней, свободной части диаграммы, нанесена линия зависимости $P_n = f(d)$, позволяющая определять парциальное давление водяных паров.

10.4 АППАРАТУРА И МАТЕРИАЛЫ

1. Психрометр Ассмана.
2. Термометр манометрический ТПЖ ($-60 \div 40$ °C).
3. Термометр стеклянный ТТЖ $0 \div 100$ °C.
4. Психрометрическая диаграмма.
5. $I - d$ -диаграмма влажного воздуха.
6. Барометр.

10.4 УКАЗАНИЯ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ

Студенты обязаны выполнять общие требования безопасности согласно Инструкции по охране труда в лаборатории 11-108. Инструктаж по технике безопасности проводится преподавателем под подпись студента в специальном журнале по технике безопасности.

10.5 МЕТОДИКА И ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

10.5.1 Измерить температуру наружного воздуха при помощи термометра манометрического ТПЖ и температуру внутреннего воздуха в помещении термометром стеклянным ТТЖ.

10.5.2 Измерить температуру по «сухому» и «мокрому» термометрам наружного воздуха и внутреннего воздуха в помещении. Определить с помощью психрометрической диаграммы относительную влажность наружного воздуха и воздуха в помещении.

10.5.3 Измерить барометрическое давление.

10.5.4 Определить энтальпию наружного воздуха и воздуха в помещении, используя $I - d$ -диаграмму влажного воздуха и парциальное давление водяных паров.

10.6 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА И ЕГО ФОРМА

Данные результатов измерений и расчетов занести в таблицу 10.1.

Показать на психрометрической диаграмме процесс определения относительной влажности воздуха.

Показать на $I - d$ -диаграмме влажного воздуха процесс определения его энтальпии и парциального давления водяных паров.

Определить по СНиП «Отопление, вентиляция, кондиционирование» расчетные характеристики наружного воздуха для районов, указанных преподавателем.

Рассчитать значения параметров I , d , t , φ аналитически и сравнить с значениями, полученными по $I - d$ -диаграмме.

Таблица 10.1 – Протокол записи наблюдений и результатов обработки опытных данных

Наружный воздух				Внутренний воздух помещения				
Температура, t_n , °C		Относительная влажность φ_v , %	Энтальпия I_n , кДж/кг	Температура, t_e , °C		Относительная влажность φ_v , %	Энтальпия I_e , кДж/кг	
по сухому термометру	по мокрому термометру			по сухому термометру	по мокрому термометру			

10.7 ВОПРОСЫ ДЛЯ ЗАЩИТЫ РАБОТЫ

1. Что такое «сухой» и «влажный» воздух?
2. Теплоемкость влажного воздуха.
3. Энтальпия влажного воздуха.
4. Насыщенное состояние влажного воздуха. Температура «точки росы».
5. Температура «мокрого» термометра.
6. Расчетные характеристики наружного воздуха. Дать определение абсолютной влажности воздуха.
7. Дать определение относительной влажности воздуха.
8. Дать определение влагосодержания воздуха.
9. Характеристика $I - d$ -диаграммы влажного воздуха.

Литература: [1-6, 9]

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 18

Определение тепловой обстановки в помещении

11.1 ЦЕЛЬ И СОДЕРЖАНИЕ

Определение условий комфортности для человека в помещении и сравнение их с измеренными параметрами.

11.2 ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ

ПК-7– Способность систематизировать и обобщать информацию по использованию ресурсов предприятия

11.2 ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ

Уравнение теплового баланса организма человека:

$$Q_1 \pm Q^k \pm Q^p - Q^u - Q^m - Q^{\phi} \pm \Delta Q = 0, \quad (11.1)$$

где Q_1 – теплопродукция организма, зависящая от степени тяжести выполняемой работы и температуры окружающего воздуха;

Q^k , Q^p , Q^u – составляющие теплообмена человека: конвективная, адиационная, испарение, зависящие от тяжести выполняемой работы и температуры воздуха, и их соотношение определяет комфортность условий, а их сумма – величину ΔQ и, соответственно, перегрев или переохлаждение организма;

Q^m , Q^{ϕ} – расход тепла на механическую работу и на физиологические процессы;

ΔQ – избыток или недостаток тепла в организме.

Организм имеет систему терморегуляции, обеспечивающую отвод тепла конвекцией, излучением и испарением и позволяющую человеку приспосабливаться к изменению тепловых условий. Однако эта способность организма ограничена небольшим интервалом температуры.

Комфортные и допустимые тепловые условия в помещениях определяются категориями физической работы: легкой (категории Ia и Ib), тепловыделения до 170 Вт; средней тяжести (категории IIa и IIб), тепловыделения до 290 Вт; тяжелой (категория III), тепловыделения более 290 Вт.

В каждом помещении необходимо создавать и поддерживать тепловой режим в зависимости от его назначения и предъявляемых санитарно-гигиенических требований, установленных нормативными документами: СНИПами «Тепловая защита зданий», «Отопление, вентиляция и кондиционирование»; ГОСТом 12.1.005-88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны»; Санитарными нормами микроклимата производственных помещений (№4088-86).

Радиационная температура в помещении, являющаяся средневзвешенной температурой всех поверхностей помещения, включая и греющие, определяется относительно человека, находящегося в середине помещения по приближенной формуле как средневзвешенная температура внутренних поверхностей:

$$t_R \approx \frac{\sum F_i \tau_i}{\sum F_i} \quad (11.2)$$

где F_i – площадь элемента поверхности помещения, м²;

τ_i – температура поверхности элемента.

Температурные условия в помещениях общественных и жилых зданий, обуславливающие комфортные условия для холодного периода года, определяются уравнением:

$$t_R = 1,57t_n - 0,57t_b \pm 1,5, \quad (11.3)$$

где t_n – температура помещения, °С, нормируемая в зависимости от интенсивности работы, выполняемой человеком: при спокойном состоянии человека –

21...23 °С; при легкой работе – 19...21 °С; при работе средней тяжести – 16...19 °С; при тяжелой работе – 14...16 °С;

t_b – нормируемая СНИП температура воздуха помещения.

Радиационная температура различна в различных точках помещения, поэтому измеряют ее на постоянных рабочих местах (на высоте 1,5 м от уровня пола на удалении 1 м от наружной стены). Для определения радиационной температуры необходимо измерить температуру по шаровому термометру, температуру и скорость движения воздуха в месте нахождения шарового термометра. По результатам измерений при помощи номограммы определяют радиационную температуру. Шаровой термометр – обычный термометр, резервуар которого помещен в центре полого, зачерненного снаружи медного шара диаметром 150 мм.

Температуру помещения можно определить по приближенной формуле:

$$t_n \approx (t_b + t_R) / 2. \quad (11.4)$$

Для предупреждения радиационного перегревания или переохлаждения человека, поверхности ограждений потолка и стен (в зоне свыше 1 м) могут быть нагреты до допустимой температуры (при минимально необходимой теплоотдаче человеком излучением 11,6 Вт/ м²):

$$[\tau_{наг}] \leq 19,2 + 8,7 / \varphi, \quad (11.5)$$

или охлаждены до допустимой температуры (при максимальной теплоотдаче человеком излучением 70 Вт/ м²):

$$[\tau_{охл}] \geq 23 - 5 / \varphi, \quad (11.6)$$

где φ – коэффициент облученности с поверхности наиболее невыгодно расположенной элементарной площадки на голове в сторону нагретой или охлажденной поверхности (расчетное расстояние до стен 1 м). При $\varphi > 0,2$:

$$\varphi = 1 - 0,8y / l, \quad (11.7)$$

где y – расстояние от головы человека до потолочной отопительной панели;

l – осредненный размер панели, $l = A_n^{0,5}$;

A_n – площадь панели.

Минимально допустимая температура охлажденной поверхности окон определяется по предельно допустимой теплоотдаче излучением человека равной 93 Вт / м²:

$$[\tau_{охл. ок}] \geq 14 - 4,4 / \varphi_{ок}. \quad (11.8)$$

Относительную влажность воздуха в помещении можно определить при помощи психрометра. По психрометру определяют психрометрическую разность $(t_c - t_m)$, и по специальной психрометрической таблице определяют относительную влажность φ .

11.4 АППАРАТУРА И МАТЕРИАЛЫ

1. Психрометр Ассмана.
2. Термометр манометрический ТПЖ ($-60 \div 40$ °С).
3. Термометр стеклянный ТТЖ $0 \div 100$ °С.
4. Анемометр механический МС-13 чашечный.
5. Психрометрическая таблица.
6. Психрометрическая диаграмма.
7. $I - d$ -диаграмма влажного воздуха.

10.4 УКАЗАНИЯ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ

Студенты обязаны выполнять общие требования безопасности согласно Инструкции по охране труда в лаборатории 11-108. Инструктаж по технике безопасности проводится преподавателем под подпись студента в специальном журнале по технике безопасности.

11.5 МЕТОДИКА И ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

11.5.1 Измерить температуру и площади внутренних поверхностей ограждений в помещении.

11.5.2 Определить относительную влажность воздуха в помещении при помощи психрометра и психрометрической диаграммы.

11.6 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА И ЕГО ФОРМА

11.6.1 Определить радиационную температуру в помещении и сравнить с нормируемым значением, определенным по формуле 2.2.

11.6.2 Определить температуру поверхности окон и сравнить с нормируемым значением, определенным по формуле 11.7.

11.6.3 Показать на психрометрической диаграмме и $I - d$ -диаграмме влажного воздуха процесс определения относительной влажности воздуха. Сравнить измеренную относительную влажность с нормируемым значением, определенным по СНиП «Отопление, вентиляция, кондиционирование».

11.7 ВОПРОСЫ ДЛЯ ЗАЩИТЫ РАБОТЫ

1. Дать определение радиационной температуры помещения.
2. Охарактеризовать нормируемые параметры воздуха в помещении.
3. Характеристика первого условия комфортности.
4. Характеристика второго условия комфортности.
5. Характеристика составляющих уравнения теплового баланса человека.

Литература: [1-6, 9]

ПРИЛОЖЕНИЯ**Теплофизические характеристики сухого воздуха****при $t = -50 - 1200^{\circ}\text{C}$ и $p = 760$ мм.рт.ст.**1.1 Теплопроводность λ , Вт/(м·К):

$$\lambda = 0,02465 + 0,7336 \cdot t \cdot 10^{-4} - 1,636 \cdot t^2 \cdot 10^{-8}.$$

1.2 Коэффициент кинематической вязкости ν , м²/с:

$$\nu = (13,06 + 0,1 \cdot t + 6,342 \cdot t^2 \cdot 10^{-5}) \cdot 10^{-6}.$$

1.3 Коэффициент температуропроводности воздуха a , м²/с:

$$a = [18,55 + 0,1503 \cdot t + 7,892 \cdot t^2 \cdot 10^{-5}] \cdot 10^{-6}.$$

1.4 Критерий Прандтля Pr:

$$\text{Pr} = \frac{0,7117 - 1,938 \cdot t \cdot 10^{-3} + 6,072 \cdot t^2 \cdot 10^{-6}}{1 - 2,432 \cdot t \cdot 10^{-3} + 8,169 \cdot t^2 \cdot 10^{-6}}.$$

ЛИТЕРАТУРА

Основная литература:

1. Теплотехника: Учеб. для вузов/В.Н. Луканин, М.Г. Шатров, Г.М. Камфер и др.; Под ред В.Н. Луканина. – М. Высшая школа, 2012. – 671 с.
2. Кудинов В.А., Карташов Э.М. Техническая термодинамика.. Учеб. пособие для втузов. М.: Высш. шк., 2013. – 261 с.

Дополнительная литература:

3. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача. – Москва: Энергия, 1981. – 416 с.
4. Мурзаков В.В. Основы технической термодинамики. М., Энергия, 1973 г.
5. Вукалович М.П., Новиков И.И. Термодинамика. М., Машиностроение, 1972 г.
6. Юдаев Б.Н. Техническая термодинамика. Теплопередача. М., Высш. шк. 1988 г.
7. Теплотехнический справочник т.1, М., Энергия, 1975 г.
8. Рабинович О.М. Сборник задач по технической термодинамике. М., Машиностроение, 1973 г.
9. Ривкин С.Л., Александров А.А. Термодинамические свойства воды и водяного пара. М., Энергия, 1975 г.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к практическим занятиям по дисциплине

**«Теоретические основы теплотехники
(техническая термодинамика и тепломассообмен)»**

для студентов, обучающихся по направлению подготовки
08.03.01 – Строительство
Профиль – «Теплогазоснабжение и вентиляция»

Практическое занятие

РАСЧЕТ И АНАЛИЗ РАЗЛИЧНЫХ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

1.1 Формулировка задания и исходные данные для расчета

Смесь, состоящая из M_1 киломолей азота и M_2 киломолей кислорода с начальными параметрами $P_1=1\text{ МПа}$ и $T_1=1000\text{ К}$ расширяется до давления P_2 . Расширение может осуществляться по изотерме, адиабате и политропе с показателем n . Определить газовую постоянную смеси, ее массу и начальный объем, конечные параметры смеси, работу расширения и теплоту, участвующую в процессе.

Дать сводную таблицу результатов и ее анализ. Показать процессы на PV и TS диаграммах.

Указание: Показатель адиабаты, а следовательно и теплоемкости принять постоянными, не зависящими от температуры.

Исходные данные к задаче

$$M_1=0,3 \text{ кмоль};$$

$$M_2=0,7 \text{ кмоль};$$

$$P_2=0,43 \text{ МПа};$$

$$n=1,2.$$

1.2 Последовательность выполнения задания

1. Газовая постоянная смеси

$$R_{\text{см}} = \sum R_i \cdot g_i;$$

$$R_i = \frac{\mu R}{\mu_i} = \frac{8314}{\mu_i};$$

$$R_{N_2} = \frac{8314}{2 \cdot 14} = 296,9 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}};$$

$$R_{O_2} = \frac{8314}{2 \cdot 16} = 259,8 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}};$$

$$d_i = r_i = g_i \frac{\mu_{CM}}{\mu_i}; \quad g_i = r_i \frac{\mu_i}{\mu_{CM}};$$

$$\mu_{CM} = \sum_{i=1}^n \mu_i r_i = 28 \cdot 0,3 + 32 \cdot 0,7 = 30,8 \text{ кг/кмоль}.$$

Массовая доля азота:

$$g_{N_2} = 0,3 \cdot \frac{28}{30,8} = 0,27;$$

Массовая доля кислорода:

$$g_{O_2} = 0,7 \cdot \frac{32}{30,8} = 0,73;$$

$$R_{CM} = 296,9 \cdot 0,27 + 259,8 \cdot 0,73 = 269,79$$

2. Масса смеси:

$$m_{CM} = M \cdot \mu_{CM} = (0,3 + 0,7) \cdot 30,8 = 30,8 \text{ кг}.$$

3. Начальный объем смеси:

$$V_{CM} = v_{CM} \cdot m_{CM} = 0,27 \cdot 30,8 = 8,31 \text{ м}^3,$$

где

$$P_{CM} \cdot v_{CM} = R_{CM} \cdot T_{CM} \longrightarrow v_{CM} = \frac{R_{CM} \cdot T_{CM}}{P_{CM}} = \frac{269,79 \cdot 1000}{1 \cdot 10^6} = 0,27 \text{ м}^3/\text{кг}.$$

4. Конечные параметры смеси в зависимости от вида термодинамического процесса.

4.1. Изотермический процесс ($T = \text{const}$).

$$P_1 \cdot v_1 = P_2 \cdot v_2 \longrightarrow v_2 = \frac{P_1 \cdot v_1}{P_2} = \frac{1 \cdot 0,27}{0,43} = 0,63 \text{ м}^3/\text{кг}.$$

$$T_1 = T_2 = 1000 \text{ K}.$$

Проверка:

$$P_2 \cdot v_2 = R_{CM} \cdot T_2 \longrightarrow v_2 = \frac{R_{CM} \cdot T_2}{P_2} = \frac{269,79 \cdot 1000}{0,43 \cdot 10^6} = 0,63 \text{ м}^3/\text{кг}.$$

4.2. Адиабатный процесс (без подвода и отвода тепла).

$$dq = 0, \quad pv^k = \text{const}, \quad k = \frac{C_p}{C_v}.$$

$$C_p = \frac{\mu C_p}{\mu_{CM}} = \frac{\sum \mu C_{pi} g_i}{\mu_{CM}} = \frac{32,245 \cdot 0,73 + 30,42 \cdot 0,27}{30,8} = 1,03 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}.$$

$$C_v = \frac{\mu C_v}{\mu_{CM}} = \frac{\sum \mu C_{vi} g_i}{\mu_{CM}} = \frac{23,93 \cdot 0,73 + 22,106 \cdot 0,27}{30,8} = 0,76 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}.$$

Показатель адиабаты:

$$K = \frac{C_p}{C_v} = \frac{1,03}{0,76} = \frac{23,93 \cdot 0,73 + 22,106 \cdot 0,27}{30,8} = 1,36.$$

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^K \longrightarrow v_2 = v_1 \cdot \left(\frac{P_1}{P_2} \right)^{1/K} = 0,27 \cdot \left(\frac{1}{0,43} \right)^{1/1,36} = 0,5 \text{ м}^3/\text{кг}.$$

$$\frac{P_1 \cdot v_1}{P_2 \cdot v_2} = \frac{T_1}{T_2} \longrightarrow \frac{v_1}{v_2} \cdot \left(\frac{v_2}{v_1} \right)^K = \frac{T_1}{T_2} \longrightarrow \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^{1-K} = \frac{T_1}{T_2};$$

$$T_2 = T_1 \cdot \left(\frac{v_2}{v_1} \right)^{1-K} = 1000 \cdot \left(\frac{0,5}{0,27} \right)^{1-1,36} = 801 \text{ К};$$

Проверка:

$$P_2 \cdot v_2 = R_{CM} \cdot T_2;$$

$$0,43 \cdot 10^6 \cdot 0,5 = 269,79 \cdot 801;$$

$$215000 = 216102;$$

$$\frac{216102 - 215000}{216102} \cdot 100 = 0,5\%;$$

4.3. Политропный процесс.

$$pv = \text{const}.$$

$$v_2 = v_1 \cdot \left(\frac{P_1}{P_2} \right)^{1/n} = 0,27 \cdot \left(\frac{1}{0,43} \right)^{1/1,2} = 0,55 \text{ м}^3/\text{кг}.$$

$$T_2 = T_1 \cdot \left(\frac{v_2}{v_1} \right)^{1-n} = 1000 \cdot \left(\frac{0,55}{0,27} \right)^{1-1,2} = 869 \text{ К};$$

Проверка:

$$P_2 \cdot v_2 = R_{CM} \cdot T_2;$$

$$0,43 \cdot 10^6 \cdot 0,55 = 269,79 \cdot 869;$$

$$236500 = 234448;$$

$$\frac{236500 - 234448}{236500} \cdot 100 = 0,87\%;$$

4.5. Изменение внутренней энергии смеси:

$$\Delta U_{1-2} = C_v \cdot (T_2 - T_1);$$

- изотермический: $\Delta U_{1-2} = 0$ т.к. $T_2 = T_1$;
- адиабатный: $\Delta U_{1-2} = 0,76 \cdot (801 - 1000) = -151,24 \text{ кДж/кг}$;
- политропный: $\Delta U_{1-2} = 0,76 \cdot (869 - 1000) = -99,56 \text{ кДж/кг}$.

4.6. Изменение энтальпии смеси:

$$\Delta i_{1-2} = C_p \cdot (T_2 - T_1);$$

- изотермический: $\Delta i_{1-2} = 0$ т.к. $T_2 = T_1$;
- адиабатный: $\Delta i_{1-2} = 1,03 \cdot (801 - 1000) = -204,97 \text{ кДж/кг}$;
- политропный: $\Delta i_{1-2} = 1,03 \cdot (869 - 1000) = -134,93 \text{ кДж/кг}$.

4.7. Изменение энтропии смеси:

- изотермический: $\Delta S_{1-2} = R \cdot \ln \frac{v_2}{v_1} = 269,79 \cdot \ln \frac{0,63}{0,27} = 229 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$;
- адиабатный: $\Delta S_{1-2} = 0$ т.к. тепло не подводится и не отводится;

- политропный: $\Delta S_{1-2} = C \cdot \ln \frac{T_2}{T_1} = C_v \cdot \frac{n-k}{n-1} \cdot \ln \frac{T_2}{T_1} =$
 $= 0,76 \cdot \frac{1,2-1,36}{1,2-1} \cdot \ln \frac{869}{1000} = 0,09 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}.$

4.8. Работа расширения и теплота, участвующая в процессе:

- изотермический:

$$l_{1-2} = R \cdot T \cdot \ln \frac{P_1}{P_2} = 269,79 \cdot 1000 \cdot \ln \frac{1}{0,43} = 227695 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}};$$

$$q_{1-2} = T \cdot (S_2 - S_1) = 1000 \cdot 229 = 229000 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}};$$

- адиабатный:

$$l_{1-2} = \frac{1}{k-1} \cdot (P_1 \cdot v_1 - P_2 \cdot v_2) = \frac{R}{k-1} \cdot (T_1 - T_2) =$$

$$= \frac{269,79}{1,36-1} \cdot (1000 - 869) = 149134 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}};$$

$$q_{1-2} = 0;$$

- политропный:

$$l_{1-2} = \frac{R}{n-1} \cdot (T_1 - T_2) = \frac{269,79}{1,2-1} \cdot (1000 - 869) = 176713 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}};$$

$$q_{1-2} = C_v \cdot \frac{n-k}{n-1} \cdot (T_2 - T_1) = 0,76 \cdot \frac{1,2-1,36}{1,2-1} \cdot (869 - 1000) = 80 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}};$$

Данные расчета сведены в таблицу 1.

Для всей массы смеси $L = l_{1-2} \cdot m_{CM}$ и $Q = q_{1-2} \cdot m_{CM}$.

Таблица 1.

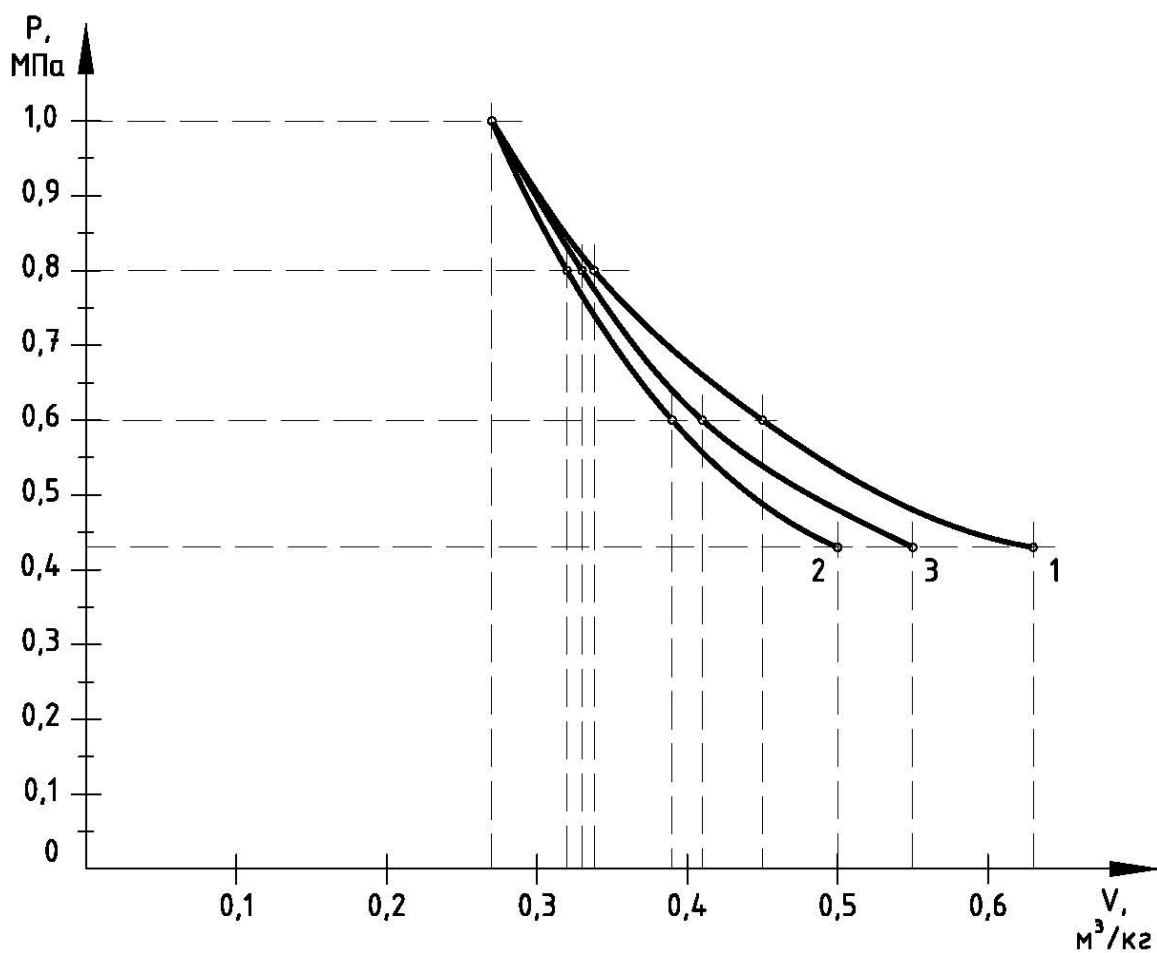
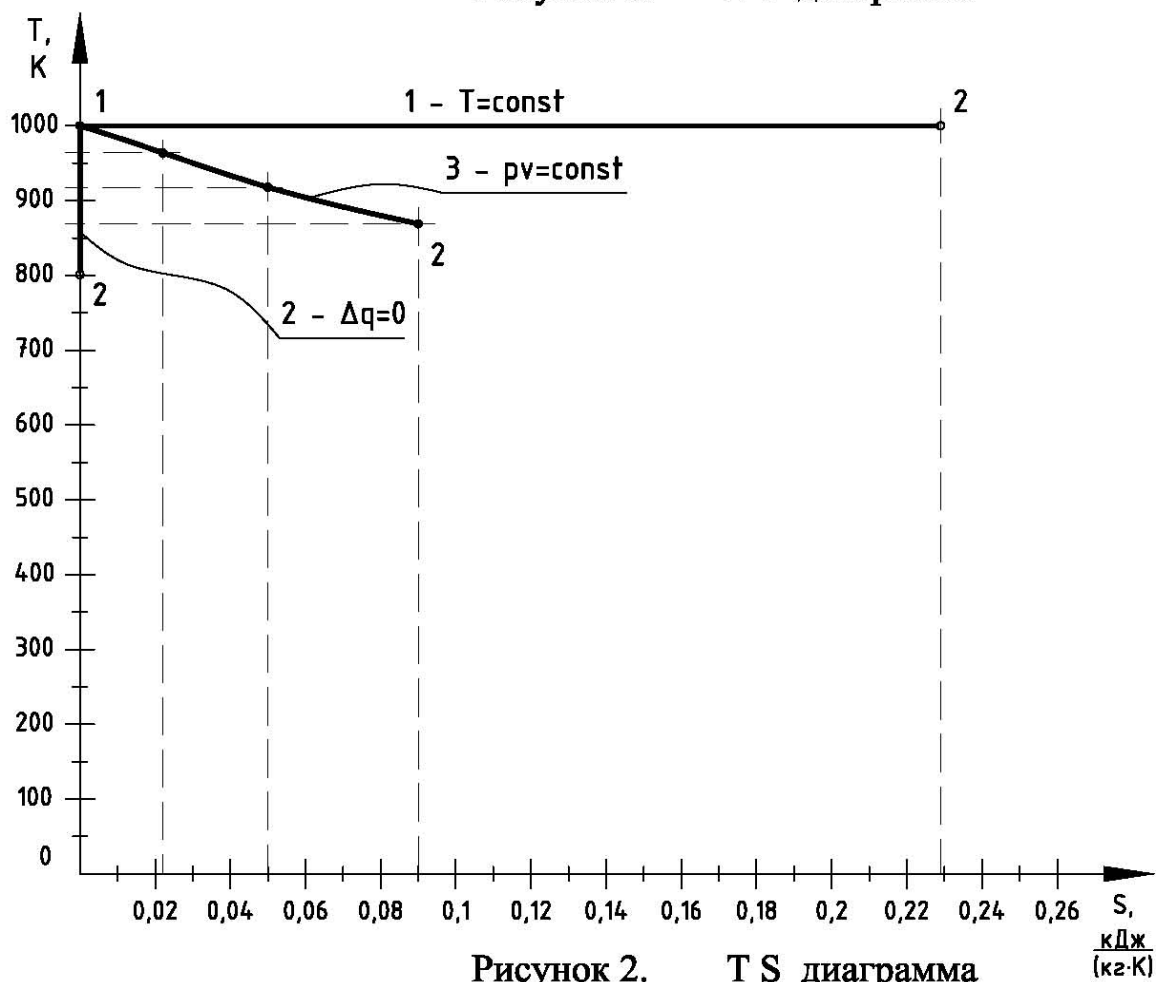
Наименование процесса	Параметры			$\Delta U_{1-2},$	$\Delta i_{1-2},$	$\Delta S_{1-2},$	$\Delta l_{1-2},$	$\Delta q_{1-2},$	$L,$	$Q,$
	$P,$ <i>МПа</i>	$V_1,$ <i>м³/кг</i>	$T_1,$ <i>К</i>	$\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$	$\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$	$\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$	$\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$	$\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$	<i>кДж</i>	<i>кДж</i>
Изотермический	1,0 0,43	0,27 0,63	1000 1000	0	0	0,229	227,7	229,0	7013	7053
Адиабатный	1,0 0,43	0,27 0,5	1000 801	-151,2	17,8	0	149,1	0	4592	0
Политропный	1,0 0,43	0,27 0,55	1000 869	-99,56	32	0,09	176,7	80,0	5442	2464

Анализ:

Проверка для каждого процесса.

$$q = \Delta Q + l.$$

По уравнениям для соответствующих процессов найдены соответствующие вспомогательные точки при $P=0,6 \text{ МПа}$ и $P=0,8 \text{ МПа}$.

Рисунок 1. $P-v$ диаграммаРисунок 2. $T-S$ диаграмма

Практическое занятие

РАСЧЕТ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ

2.1 Формулировка задания и исходные данные для расчета

Боковая плоская стенка топочной камеры выполнена из четырех слоев. Первый слой из шамотного кирпича (толщина слоя δ_1), второй - из огнеупорной изоляции диатомит (толщина слоя δ_2), третий - основной изоляционный слой - шлаковые плиты (толщина слоя δ_3), четвертый - защитная штукатурка (толщина слоя δ_4).

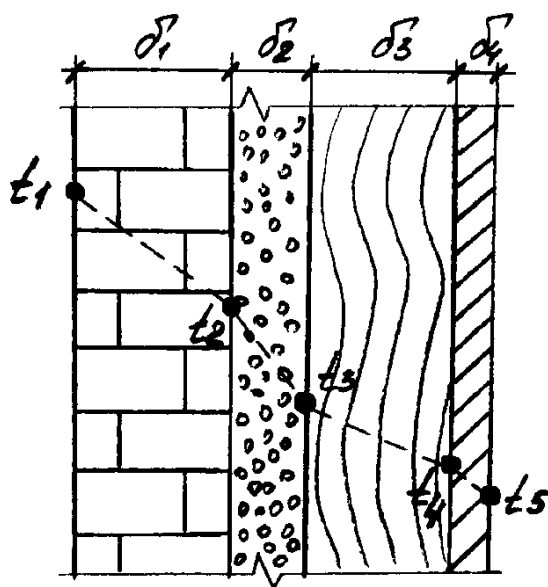
1. Определить требуемую толщину основного слоя изоляции ($\delta_3=?$), при заданной температуре на внутренней поверхности стенки t_1 , на наружной поверхности стенки t_5 и тепловом потоке через стенку q .
2. Построить график изменения температуры в этом слое изоляции.

Таблица 1 – Исходные данные

№№ <i>n/n</i>	Размеры стены, мм			q_0 , Bm/m^2	№№ <i>n/n</i>	t_1 , $^{\circ}C$	t_5 , $^{\circ}C$	q_m , Bm/m^2
	δ_1	δ_2	δ_4					
1	2	3	4	5	1	2	3	4
1	200	40	30	400	1	900	30	800
2	220	50	20	440	2	950	40	750
3	240	30	20	480	3	1000	50	850
4	180	60	30	520	4	850	30	700
5	260	30	10	560	5	800	40	870
6	280	20	10	380	6	920	50	680
7	300	20	10	420	7	980	30	650
8	250	40	20	360	8	820	40	780
9	150	60	30	460	9	880	50	830
0	320	20	10	340	0	940	40	770

Общие исходные данные: $\lambda_1=0,81(1+0,0008t)$, $\lambda_2=0,13 \text{ Bm}/(m \cdot K)$,
 $\lambda_3=0,046(1+0,0048t)$, $\lambda_4=0,38 \text{ Bm}/(m \cdot K)$

2.2 Последовательность выполнения задания



$\delta_1 =$	$\lambda_1 =$
$\delta_2 =$	$\lambda_2 =$
$\delta_3 =$	$\lambda_3 =$
$\delta_4 =$	$\lambda_4 =$
$t_1 =$	$t_5 =$
$q_0 =$	$q_m =$

Удельный тепловой поток через многослойную плоскую стенку определяется выражением:

Рисунок 1 - Эскиз боковой стенки топочной камеры

$$q_0 = \frac{t_1 - t_5}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4},$$

откуда

$$R_3 = \frac{\delta_3}{\lambda_3} = \frac{t_1 - t_5}{q_0} - (R_1 + R_2 + R_4)$$

и требуемое значение толщины изоляционного слоя:

$$\delta_3 = \lambda_3 \left[\frac{t_1 - t_5}{q_0} - (R_1 + R_2 + R_4) \right]$$

Термическое сопротивление отдельных слоев стенки топки равны:

$$R_1 = \frac{\delta_1}{\lambda_1}, \quad R_2 = \frac{\delta_2}{\lambda_2} \quad \text{и} \quad R_4 = \frac{\delta_4}{\lambda_4}$$

Коэффициенты теплопроводности 1-го и 3-го слоя определяют по средней температуре в данном слое равной:

$$t_1^{cp} = 0,5(t_1 + t_2) \quad \text{и} \quad t_3^{cp} = 0,5(t_3 + t_4)$$

Температуры t_2 , t_3 , и t_4 определяют из уравнений:

$$t_2 = \sqrt{\left(\frac{1}{b_1} + t_1\right)^2 - \frac{2q_0\delta_1}{b_1\lambda_{10}}} - \frac{1}{b_1},$$

$$t_3 = t_2 - q_0 R_2,$$

$$t_4 = t_5 + q_0 R_4,$$

где λ_{10} и b_1 - коэффициенты в уравнении переменного коэффициента теплопроводности 1-го слоя.

Найденное значение толщины слоя изоляции δ_3 округляют до ближайшего большего значения, кратного 0,01 м.

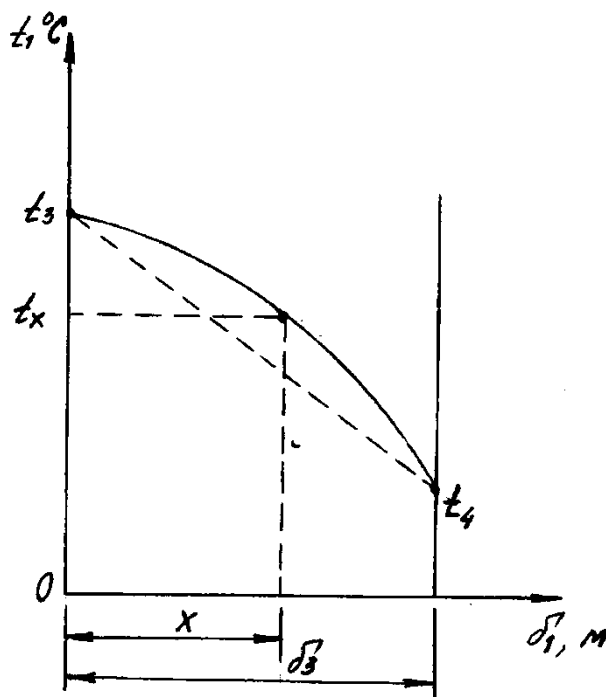


График изменения температуры в слое изоляции δ_3 (Рис. 2) строится по уравнению

$$t_x = \sqrt{\left(\frac{1}{b_3} + t_3\right)^2 - \frac{2q_0}{\lambda_{30}b_3}x} - \frac{1}{b_3},$$

где x , текущая координата в слое
от

$x=0$ до $x=\delta_3$, м;

t_x , переменная температура в слое, от $t_x=t_3$ до $t_x=t_4$;

Рисунок 2 – График изменения температуры

λ_{30} и b_3 - коэффициенты в уравнении переменного коэффициента теплопроводности изоляционного слоя:

$$\lambda_3 = \lambda_{30} (1 + b_3 t_x^{cp})$$

t_3 - температура на наружной поверхности слоя со стороны входа потока тепла q_0 , °C.

Практическое занятие

РАСЧЕТ ПРОЦЕССОВ КОНВЕКТИВНОГО ТЕПЛООБМЕНА

3.1 Формулировка задания и исходные данные для расчета

Трубопровод горячей воды проложен горизонтально по опорам над поверхностью земли. Наружный воздух с температурой t_2 и скоростью ветра w_2 обдувает трубопровод под углом атаки ψ . Температура горячей воды в трубопроводе t_1 , скорость течения w_1 .

1. Определить удельную потерю тепла от неизолированного трубопровода и снижение температуры горячей воды на длине трубопровода $l=1000$ м.

2. Определить требуемую толщину основного слоя изоляции ($\delta_1=?$) при нормативной удельной потере тепла q_0 и снижение температуры воды на длине трубопровода 1000 м. Изоляция двухслойная, основной слой - минераловатные плиты, наружный защитный слой - асбоцементная штукатурка, толщиной δ_2 .

Таблица 2 – Исходные данные

№№ n/n	Размеры трубы, мм		t_1 °C	w_1 м/с	№№ n/n	t_2 °C	w_2 м/с	ψ	q_0 Вт/м
	$d_{нар}$	$\delta_{ст}$							
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1	133	6,5	158	1,2	1	-18	6	90	180
2	159	7	160	1,1	2	-20	7	80	160
3	194	7	154	1,0	3	-22	8	70	140
4	219	8	152	0,9	4	-24	9	60	200
5	273	8	150	1,3	5	-26	10	50	210
6	325	9	148	1,4	6	-28	11	40	190
7	377	9	146	1,5	7	-30	12	55	170
8	426	10	144	1,6	8	-32	14	65	150
9	529	12	142	1,3	9	-25	15	75	220
0	273	8	160	1,0	0	-35	5	85	140

Общие исходные данные: $\lambda_1=0,06+0,00019t$, $\lambda_2=0,3$ Вт/(м·K), $\delta_2=20$ мм, $\lambda_{ст}=42$ Вт/(м·K).

3.2 Последовательность выполнения задания

Исходные данные:

$$\begin{aligned}
 d_n &= & t_2 &= \\
 \delta_{cm} &= & W_2 &= \\
 t_1 &= & \lambda_1 &= \\
 W_1 &= & \lambda_2 &= \\
 \lambda_{cm} &= & \delta_2 &= \\
 \psi &=
 \end{aligned}$$

1 часть

Удельный тепловой поток потерь теплоты на 1 погонный метр длины неизолированного трубопровода равен

$$q_{1n} = \frac{t_1 - t_2}{R_{\alpha 1} + R_{\lambda cm} + R_{\alpha 2}}, \text{ Вт/м}$$

где

$$R_{\alpha 1} = \frac{1}{\pi d_{вн} \alpha_1}, \quad R_{\lambda cm} = \frac{1}{2\pi \lambda_{cm}} \ln\left(\frac{d_{нар}}{d_{вн}}\right),$$

$$R_{\alpha 2} = \frac{1}{\pi d_{нар} \alpha_{2\psi}} \text{ и } d_{вн} = d_{нар} - 2\delta_{cm}$$

- термические сопротивления при теплопередаче от воды к наружному воздуху через стенку трубы.

Снижение температуры горячей воды на длине трубопровода l , м, определяется выражением:

$$\Delta t_1(l) = \frac{q_{1n} l}{C_1 G_1}$$

где $G_1 = \frac{W_1 \pi d_{вн}^2 \cdot \rho_1}{4}$, кг/с - расход воды в трубопроводе;

C_1 - теплоемкость воды в трубопроводе при ее начальной температуре

$t = t_1$, Дж/кг · К

ρ_1 — плотность воды при температуре $t = t_1$, кг/м³

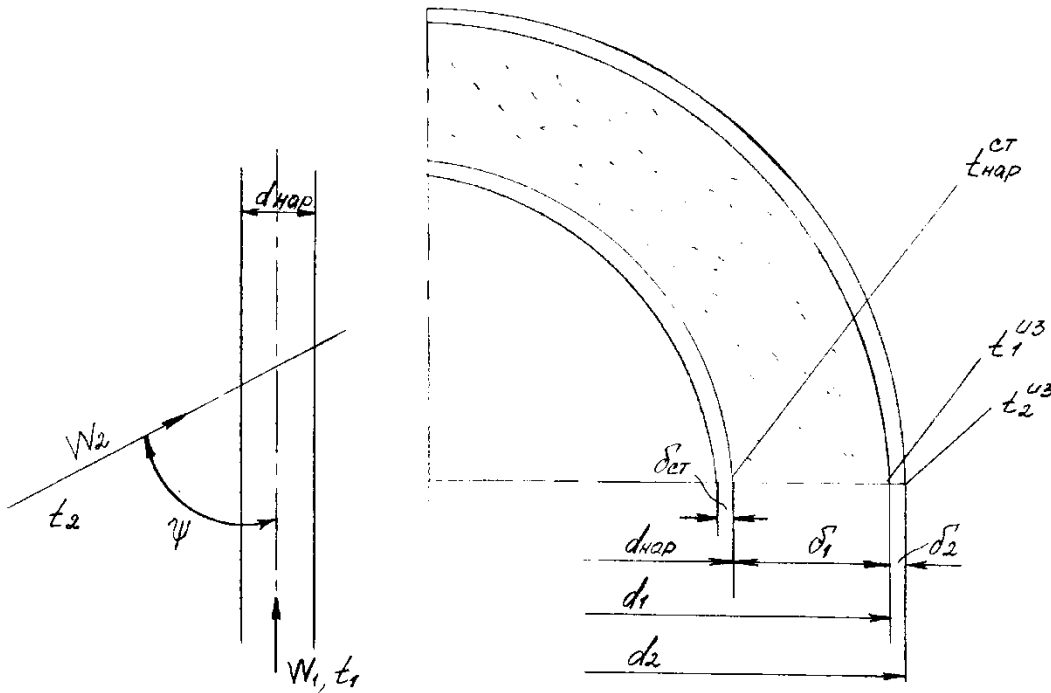


Рисунок 3 - Эскиз расположения трубопровода и тепловой изоляции на трубе

Коэффициент теплоотдачи от воды к внутренней поверхности стенки трубы α_1 определяют по критериальному уравнению для турбулентного режима течения жидкости внутри трубы (при $Re > 10^4$):

$$Nu = 0,021 Re^{0,8} Pr^{0,43}$$

где
$$Nu = \frac{\alpha_1 d_{вн}}{\lambda}, Re = \frac{W_1 d_{вн}}{\nu}, Pr = \frac{\nu}{a} -$$

критерии подобия Нуссельта, Рейнольдса и Прандтля, соответственно;

- λ, ν, a - физические параметры воды, определяемые при ее температуре

$$t = t_1$$

Средний коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности трубы к воздуху α_2 при поперечном обтекании под углом атаки ψ определяют из критериального уравнения (при $Re = 1 \cdot 10^3 - 2 \cdot 10^5$):

$$Nu = 0,25 Re^{0,6} Pr^{0,38}$$

где Re , Pr , Nu - критерии подобия для воздуха, берутся по формулам указанным выше и определяются по скорости воздуха W_2 , температуре t_2 и наружному диаметру трубы d_n .

При обтекании трубы под углом атаки ψ учитывается поправочный коэффициент ε_ψ :

$$\alpha_{2\psi} = \alpha_2 \varepsilon_\psi$$

ψ°	.	.	.	.	90	80	70	60	50	40	30
ε_ψ	.	.	.	.	1	1	0,99	0,93	0,87	0,76	0,66

2 часть

Удельный тепловой поток потерь теплоты на 1 погонный метр длины изолированного трубопровода (многослойной цилиндрической стенки) равен:

$$q_{2n} = \frac{t_1 - t_2}{R_{\alpha 1} + R_{\lambda cm} + R_{\lambda 1} + R_{\lambda 2} + R_{\alpha 2}}$$

где
$$R_{\lambda 2} = \frac{1}{2\pi\lambda_2} \ln\left(\frac{d_2}{d_1}\right)$$

- термическое сопротивление 2-го наружного слоя изоляции,

$$R_{\lambda 1} = \frac{1}{2\pi\lambda_1} \ln\left(\frac{d_1}{d_{нар}}\right)$$

- термическое сопротивление основного слоя изоляции,

$$R_{\alpha 2} = \frac{1}{\pi d_2 \alpha_2} \text{ - термическое сопротивление при теплоотдаче от}$$

наружного слоя изоляции к воздуху.

Значения $R_{\alpha 2}$ и $R_{\lambda cm}$ принимаются такими же, как и в 1 части работы.

Первоначально необходимо выбрать предварительное значение наружного диаметра трубопровода d_2 с основным слоем теплоизоляции с определяемой

толщиной δ_1 и наружным слоем с заданной толщиной δ_2 из следующего диапазона:

$$1,5 d_{\text{нар}} \leq d_2 \leq 2,5 d_{\text{нар}}$$

После этого необходимо произвести расчет значений $R_{\lambda 1}$ и $R_{\lambda 2}$, приняв $d_1 = d_2 - 2\delta_2$.

Расчет значения коэффициента теплопроводности основного слоя изоляции произвести при среднем значении температуры $t_{1cp} = 0,5(t_1 + t_2)$

Коэффициент теплоотдачи α_2 рассчитывается аналогично, как и при отсутствии теплоизоляции, в качестве основного размера принимается наружный диаметр изолированного трубопровода d_2 .

После расчета значения плотности теплового потока потерь $q_{2п}$ производится проверка соответствия полученного значения следующему диапазону:

$$0,8q_0 \leq q_{2п} \leq q_0.$$

В случае выхода рассчитанного значения за пределы данного диапазона необходимо изменить предварительное значение d_2 (не ограничиваясь предложенным диапазоном значений), после чего повторить заново расчет всех значений. Данный расчет необходимо проводить до получения искомого результата, т.е. соответствия значений $q_{2п}$ указанному диапазону.

Для облегчения всех расчетов рекомендуется воспользоваться программой Microsoft Excel.

Окончательное значение толщины слоя основной теплоизоляции определить из выражения: $\delta_1 = 0,5(d_1 - d_n)$

Практическое занятие

РАСЧЕТ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛООБМЕНА ИЗЛУЧЕНИЕМ.

4.1 Формулировка задания и исходные данные для расчета

Наружная часть боковой стенки топочной камеры из красного кирпича закрыта обшивкой из стального листа с зазором 30 мм, что позволят считать эти поверхности плоско-параллельными и пренебречь конвективным теплообменом между ними. Температуры кирпичной стенки t_1 , степень черноты ε_1 . Температура стальной обшивки t_2 , степень черноты ε_2 .

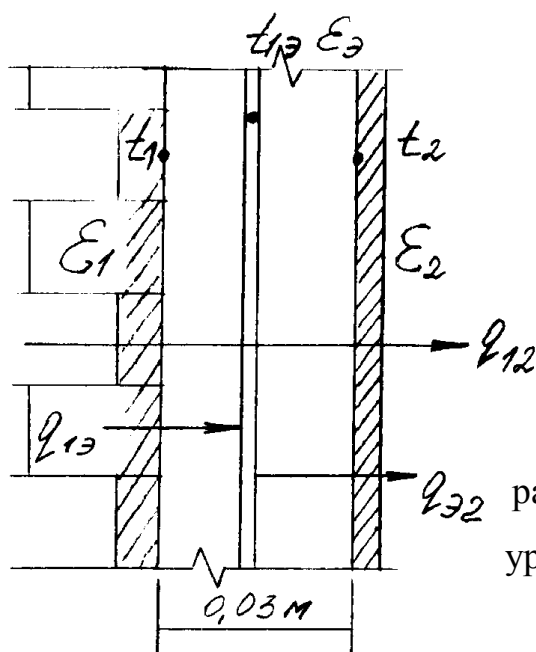
1. Определить удельный тепловой поток в окружающую среду за счет лучистого теплообмена между этими поверхностями, а также значение собственного, эффективного и отраженного излучения от обеих поверхностей.

2. Определить изменение указанных величин, если между указанными поверхностями разместить экран из алюминиевого листа со степенью черноты ε_3 .

Таблица 3 – Исходные данные

$N_2 N_2$ n/n	t_1 °C	ε_1	ε_3	$N_2 N_2$ n/n	t_2 °C	ε_2
1	2	3	4	1	2	3
1	110	0,88	0,11	1	36	0,70
2	120	0,82	0,12	2	32	0,72
3	130	0,84	0,13	3	34	0,74
4	140	0,86	0,14	4	36	0,76
5	150	0,90	0,15	5	38	0,78
6	115	0,92	0,16	6	40	0,80
7	125	0,91	0,17	7	42	0,73
8	135	0,89	0,18	8	44	0,75
9	145	0,87	0,19	9	46	0,77
0	155	0,85	0,15	0	48	0,79

4.2 Последовательность выполнения задания



Исходные данные

$t_1 =$

$t_2 =$

$\varepsilon_1 =$

$\varepsilon_2 =$

$\varepsilon_3 =$

Результирующий тепловой поток при теплообмене излучением между двумя параллельными поверхностями определяется из уравнения

$$q_{12} = E_{p1} = \varepsilon_{np12} C_0 \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right], \text{ Вт/м}^2$$

Рисунок 4 - Эскиз разреза боковой стенки топочной камеры с обшивкой и экраном

где $T_1 = t_1 + 273$, $T_2 = t_2 + 273$ - абсолютные температуры первой и второй поверхности, К;

$C_0 = 5,67$ - коэффициент лучеиспускания для абсолютно черного тела, Вт/(м² К);

$$\varepsilon_{np12} = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1}, \text{ приведенная степень черноты системы 1-ой и 2-ой}$$

поверхностей.

Собственное излучение каждой поверхности, их эффективное и отраженное излучение определяют из уравнений

$$\begin{aligned}
E_{co\delta 1} &= \varepsilon_1 C_0 \left(\frac{T_1}{100} \right)^4, & E_{\varepsilon\phi 1} &= \frac{E_{co\delta 1} + (1 - \varepsilon_1) E_{co\delta 2}}{1 - (1 - \varepsilon_1)(1 - \varepsilon_2)} \\
E_{co\delta 2} &= \varepsilon_2 C_0 \left(\frac{T_2}{100} \right)^4, & E_{\varepsilon\phi 2} &= \frac{E_{co\delta 2} + (1 - \varepsilon_2) E_{co\delta 1}}{1 - (1 - \varepsilon_1)(1 - \varepsilon_2)} \\
E_{omp1} &= (1 - \varepsilon_1) E_{\varepsilon\phi 2}, & E_{omp2} &= (1 - \varepsilon_2) E_{\varepsilon\phi 1}
\end{aligned}$$

При наличии между поверхностями одного плоского экрана результирующий тепловой поток будет равен

$$q_{12}^{\varepsilon} = q_{1\varepsilon} = q_{\varepsilon 2} = \frac{\varepsilon_{np1} \cdot \varepsilon_{np2}}{\varepsilon_{np1} + \varepsilon_{np2}} C_0 \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right]$$

где $\varepsilon_{np1} = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_{\varepsilon}} - 1}$, приведенная степень черноты системы 1-ая

поверхность - экран;

$\varepsilon_{np2} = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_{\varepsilon}} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1}$, приведенная степень черноты системы экран - 2-ая по-

верхность.

Литература

Основная литература

1. Теплотехника: Учеб. для вузов/В.Н. Луканин, М.Г. Шатров, Г.М. Камфер и др.; Под ред В.Н. Луканина. – М. Высшая школа, 2012. – 671 с.
2. Кудинов В.А., Карташов Э.М. Техническая термодинамика.. Учеб. пособие для втузов. М.: Высш. шк., 2011. – 261 с.

Дополнительная литература

1. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача. – Москва: Энергия, 1981. – 416 с.
2. Мурзаков В.В. Основы технической термодинамики. М., Энергия, 1973 г.
3. Вукалович М.П., Новиков И.И. Термодинамика. М., Машиностроение, 1972 г.
4. Юдаев Б.Н. Техническая термодинамика. Теплопередача. М., Высш. шк. 1988 г.
5. Теплотехнический справочник т.1, М., Энергия, 1975 г.
6. Рабинович О.М. Сборник задач по технической термодинамике. М., Машиностроение, 1973 г.
7. Ривкин С.Л., Александров А.А. Термодинамические свойства воды и водяного пара. М., Энергия, 1975 г.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОЙ РАБОТЕ

по дисциплине

«Теоретические основы теплотехники
(техническая термодинамика и тепломассообмен)»

для студентов, обучающихся по направлению подготовки
08.03.01 – Строительство
Профиль – «Теплогазоснабжение и вентиляция»

1. ЗАДАНИЕ НА РГР.

Произвести расчет процессов теплообмена по следующим разделам:

- 1.1. Расчет процессов теплопроводности - 2 задания.
- 1.2. Расчет процессов конвективного теплообмена и теплопередачи - 2 задания.
- 1.3. Расчет процессов теплообмена излучением - 2 задания.

Результаты расчетов представить в пояснительной записке и графических зависимостях.

2. ОБЪЕМ РГР.

РГР состоит из пояснительной записки и графической части.

2.1. Пояснительная записка включает следующие разделы:

1. Расчет процессов теплопроводности (2 задания);
2. Расчет процессов конвективного теплообмена (2 задания);
3. Расчет теплообмена излучением (2 задания).

По каждому разделу и заданию в начале излагаются условия задания и индивидуальные исходные данные, а затем подробный ход расчета по заданию и в конце, отдельно, приводятся полученные результаты расчета.

В конце пояснительной записки приводится список использованной литературы.

2.2. Графическая часть включает графические зависимости, построенные по данным расчетов в разделах 1, 2 и 3, выполненные на листах формата А4.

3. ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ НА ВЫПОЛНЕНИЕ РАСЧЕТОВ И ВЫБОР ИСХОДНЫХ ДАННЫХ.

Индивидуальные исходные данные принимаются в соответствии с индивидуальным шифром задания на РГР для каждого студента. Шифр задания двузначный. Исходные данные выбираются из таблиц 1 и 2 каждого задания, соответственно по первой и второй цифре шифра задания данного студента.

Раздел 1. Расчет процессов теплопроводности.

Задание 1.1.

Боковая плоская стенка топочной камеры выполнена из четырех слоев. Первый слой из шамотного кирпича (толщина слоя δ_1), второй - из огнеупорной изоляции диатомит (толщина слоя δ_2), третий - основной изоляционный слой - шлаковые плиты (толщина слоя δ_3), четвертый - защитная

штукатурка (толщина слоя δ_4).

1. Определить требуемую толщину основного слоя изоляции ($\delta_3=?$), при заданной температуре на внутренней поверхности стенки t_1 , на наружной поверхности стенки t_5 и тепловом потоке через стенку q . Построить график изменения температуры в этом слое изоляции.
2. Построить зависимость изменения температуры t_1 , t_2 , t_3 , и t_4 при изменении величины теплового потока от q_0 до q_m , при том же значении δ_3 и температуре t_5 .

Таблица 1.

№№ n/n	Размеры стены, мм			q_0 , Bm/m^2
	δ_1	δ_2	δ_4	
1	2	3	4	5
1	200	40	30	400
2	220	50	20	440
3	240	30	20	480
4	180	60	30	520
5	260	30	10	560
6	280	20	10	380
7	300	20	10	420
8	250	40	20	360
9	150	60	30	460
0	320	20	10	340

Таблица 2.

№№ n/n	t_1 , $^{\circ}C$	t_5 , $^{\circ}C$	q_m , Bm/m^2
1	2	3	4
1	900	30	800
2	950	40	750
3	1000	50	850
4	850	30	700
5	800	40	870
6	920	50	680
7	980	30	650
8	820	40	780
9	880	50	830
0	940	40	770

Общие исходные данные: $\lambda_1=0,81(1+0,0008t)$, $\lambda_2=0,13$,
 $\lambda_3=0,046(1+0,0048t)$, $\lambda_4=0,38 Bm/(m K)$

Задание 1.2.

Вертикальная парогенерирующая труба находится в потоке дымовых газов с температурой t_1 . Температура кипения воды внутри трубы t_2 . На внутренней поверхности трубы имеется слой накипи толщиной δ_n . Коэффициент теплоотдачи от газов к стенке трубы α_1 , от накипи к кипящей воде α_2 .

1. Определить допустимую толщину накипи при условии, что температура наружной поверхности стенки трубы $t_{cm1} \leq t_{cm}^{don}$
2. Построить зависимость изменения температуры t_{cm1} , при уменьшении величины коэффициента теплоотдачи от накипи к воде за счет плохой циркуляции воды от α_2 до α_2^{min} при той же толщине накипи.

Общие исходные данные: $\lambda_{cm}=46 Bm/(m K)$

Раздел 2. Расчет процессов конвективного теплообмена.

Задание 2.1.

Таблица 1.

№№ n/n	Размеры трубы, мм		t_1 °C	α_2 Вт/(м ² К)	α_2^{min} Вт/м ² К	№№ n/n	α_1 Вт/м ² К	λ_n Вт/(м К)	t_{cm}^{don} °C	t_2 °C
	$d_{нар}$	$\delta_{ст}$								
1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5
1	42	2	960	4800	600	1	200	0,2	460	190
2	45	2,5	920	4600	700	2	190	0,22	420	200
3	51	2,5	980	4400	500	3	180	0,25	380	210
4	57	3	940	4200	400	4	170	0,27	340	220
5	60	3	1000	4100	650	5	160	0,29	300	215
6	76	3	1050	4300	550	6	150	0,31	350	205
7	83	3,5	900	4500	450	7	210	0,21	400	195
8	89	3,5	1020	4700	520	8	140	0,23	320	185
9	76	3,5	950	4900	620	9	165	0,32	450	225
0	57	3,5	880	5000	420	0	175	0,35	480	230

Таблица 2.

Трубопровод горячей воды проложен горизонтально по опорам над поверхностью земли. Наружный воздух с температурой t_2 и скоростью ветра w_2 обдувает трубопровод под углом атаки ψ . Температура горячей воды в трубопроводе t_1 , скорость течения w_1 .

- Определить удельную потерю тепла от неизолированного трубопровода и снижение температуры горячей воды на длине трубопровода $l=1000$ м.
- Определить требуемую толщину основного слоя изоляции ($\delta_1=?$) при нормативной удельной потере тепла q_0 и снижение температуры воды на длине трубопровода 1000 м. Изоляция двухслойная, основной слой - минераловатные плиты, наружный защитный слой - асбоцементная штукатурка, толщиной δ_2 .

Таблица 1.

№№ n/n	Размеры трубы, мм		t_1 °C	w_1 м/с	№№ n/n	t_2 °C	w_2 м/с	ψ	q_0 Вт/м
	$d_{кар}$	$\delta_{ст}$							
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1	133	6,5	158	1,2	1	-18	6	90	180
2	159	7	160	1,1	2	-20	7	80	160
3	194	7	154	1,0	3	-22	8	70	140
4	219	8	152	0,9	4	-24	9	60	200
5	273	8	150	1,3	5	-26	10	50	210
6	325	9	148	1,4	6	-28	11	40	190
7	377	9	146	1,5	7	-30	12	55	170
8	426	10	144	1,6	8	-32	14	65	150

Таблица 2.

9	529	12	142	1,3	9	-25	15	75	220
0	273	8	160	1,0	0	-35	5	85	140

Общие исходные данные: $\lambda_1=0,06+0,00019t$, $\lambda_2=0,3 \text{ Вт/(м К)}$,
 $\delta_2=20\text{мм}$, $\lambda_{cm}=42 \text{ Вт/(м К)}$.

Задание 2.2.

Неизолированный маслопровод, проложенный горизонтально на длине l_2 в закрытом помещении имеет n вертикальных участков высотой l_b каждый. Температура текущего масла марки МК равна t_1 , скорость течения w_1 . Температура воздуха в помещении равна t_2 .

1. Определить удельные потери тепла на горизонтальном и вертикальном участке маслопровода.
2. Определить снижение температуры масла на суммарной длине всего маслопровода.

Таблица 1.

№№ n/n	Размер трубы, мм		l_2 , м	l_b , м	t_2 , °C	№№ n/n	t_1 , °C	w_1 , м/с	n
	$d_{нар}$	δ_{cm}							
1	2	3	4	5	6	1	2	3	4
1	28	2	16	1,9	14	1	80	0,3	2
2	32	2	18	2,0	16	2	90	0,4	4
3	36	2,5	20	2,1	18	3	100	0,5	6
4	42	2,5	22	2,2	20	4	110	0,6	8
5	45	2,5	24	2,4	22	5	120	0,7	3
6	51	3	26	2,6	21	6	85	0,8	5
7	57	3,5	17	2,8	19	7	95	0,35	7
8	60	3,5	19	3,0	17	8	105	0,45	4
9	76	4	21	2,5	15	9	115	0,55	6
0	89	4,5	23	2,3	13	0	75	0,65	2

Таблица 2.

Общие исходные данные: $\lambda_{cm}=40 \text{ Вт/(м}^2 \text{ К)}$

Раздел 3. Расчет теплообмена излучением.

Задание 3.1.

Наружная часть боковой стенки топочной камеры из красного кирпича закрыта обшивкой из стального листа с зазором 30 мм, что позволят считать эти поверхности плоско-параллельными и пренебречь конвективным теплообменом между ними. Температуры кирпичной стенки t_1 , степень черноты ε_1 . Температура стальной обшивки t_2 , степень черноты ε_2 .

3. Определить удельный тепловой поток в окружающую среду за счет лучистого теплообмена между этими поверхностями, а также значение собственного, эффективного и отраженного излучения от обеих поверхностей.
4. Определить изменение указанных величин, если между указанными поверхностями разместить экран из алюминиевого листа со степенью черноты ε_3 .

Таблица 1.

N_2/N_2 n/n	t_1 °C	ε_1	ε_3
1	2	3	4
1	110	0,88	0,11
2	120	0,82	0,12
3	130	0,84	0,13
4	140	0,86	0,14
5	150	0,90	0,15
6	115	0,92	0,16
7	125	0,91	0,17
8	135	0,89	0,18
9	145	0,87	0,19
0	155	0,85	0,15

Таблица 2.

N_2/N_2 n/n	t_2 °C	ε_2
1	2	3
1	36	0,70
2	32	0,72
3	34	0,74
4	36	0,76
5	38	0,78
6	40	0,80
7	42	0,73
8	44	0,75
9	46	0,77
0	48	0,79

Задание 3.2.

В муфельную печь вводится стальная цилиндрическая деталь для нагрева. Площадь внутренней поверхности муфельной печи F_1 , температура t_1 , степень черноты ε_1 . Диаметр детали – d , длина – l , степень черноты поверхности ε_2 , температура поверхности детали в начале нагрева t'_2 , в конце – t''_2 .

1. Вычислить значение удельного теплового потока q_l при нагреве детали за счет лучистого теплообмена, а также коэффициента теплоотдачи при излучении α_l и построить график зависимости этих величин от температуры поверхности детали при ее изменении от t'_2 до t''_2 .
2. Построить график зависимости температуры поверхности детали от времени нагрева, используя средние значения удельного теплового потока при излучении и среднюю температуру массы детали. Теплоемкость стали принять равной $C=340+0,4t$ Дж/(кг·К), коэффициент теплопроводности $\lambda=54-0,04t$ Вт/(м·К), плотность $\rho=7800$ кг/см³.

Таблица 1.

N_2/N_2 n/n	F_1 m^2	ε_1	t_1 °C	t''_2 °C
1	2	3	4	5
1	5,8	0,76	900	800
2	5,4	0,78	1000	700
3	5,0	0,80	1100	900
4	4,6	0,82	1060	880
5	4,2	0,84	1040	920

Таблица 2.

N_2/N_2 n/n	d m	ε_2	t'_2	l $кг$
1	2	3	4	5
1	0,1	0,52	20	1,0
2	0,08	0,54	30	1,2
3	0,06	0,56	40	1,4
4	0,05	0,58	50	1,6
5	0,056	0,60	60	1,5

6	3,8	0,86	980	860	6	0,066	0,62	25	1,3
7	3,4	0,88	940	780	7	0,076	0,64	35	1,1
8	4,0	0,90	880	680	8	0,086	0,66	45	1,05
9	4,4	0,75	920	840	9	0,106	0,68	55	0,95
0	5,2	0,85	1080	940	0	0,11	0,70	65	0,8

4. РАСЧЕТ ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ.

Задание 4.1.

Выполнить поверочный тепловой расчет горизонтального кожухотрубного подогревателя по заданным его размерам:

Общее число трубок подогревателя – n ; число ходов по воде – z ; наружный диаметр трубок, выполненных из латуни – $d_{нар}$; толщина стенки трубок – $\delta_{ст}$; длина трубок – l .

Параметры теплоносителей: греющий пар – сухой насыщенный пар с давлением – p_n , температура конденсата на выходе из подогревателя – t_k , нагреваемая вода – начальная температура воды t'_2 , конечная температура подогрева воды t''_2 .

По заданным исходным данным определить тепловую производительность подогревателя – Q , расход греющего пара – m и нагреваемой воды – m_2 .

Принять толщину загрязнений накипи со стороны нагреваемой воды δ_3 и коэффициент теплопроводности загрязнений λ_3 .

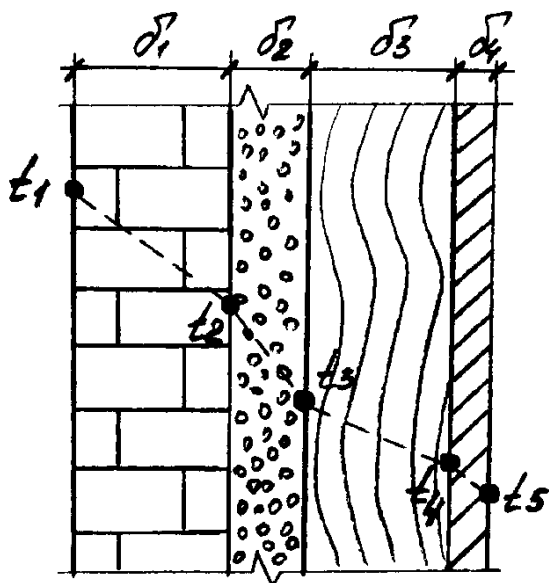
Таблица 1

№ п.п.	Размеры трубок, мм		n , <i>шт.</i>	P_n , <i>бар</i>	t'_2 , $^{\circ}\text{C}$	δ_3 , <i>мм</i>	l , <i>м</i>	z , <i>шт.</i>	t''_2 , $^{\circ}\text{C}$	t_k , $^{\circ}\text{C}$	λ_3 , $\text{Вт}/(\text{м К})$
	$d_{нар}$	$\delta_{ст}$									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	14	1	288	6,4	10	0,1	1,2	2	80	80	1,2
2	14	0,75	216	6,0	15	0,15	1,6	4	85	90	1,4
3	16	1	176	5,6	20	0,2	2,0	1	90	100	1,6
4	16	0,75	144	5,2	25	0,25	2,4	2	95	110	1,8
5	19	1	116	4,8	12	0,1	3,0	4	100	80	2,0
6	19	0,75	96	4,4	17	0,15	3,5	1	70	90	1,3
7	21	1	84	4,0	22	0,2	4,0	2	75	100	1,5
8	21	1	64	3,6	16	0,25	1,0	4	65	110	1,7
9	25	1	56	6,8	19	0,1	1,5	2	90	80	1,9
0	25	1	48	5,0	24	0,15	2,5	4	95	100	1,1

Таблица 2

5. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ РАЗДЕЛА 1 "РАСЧЕТ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ".

5.1. Последовательность выполнения задания 1.1.



$$\begin{array}{ll} \delta_1 = & \lambda_1 = \\ \delta_2 = & \lambda_2 = \\ \delta_3 = & \lambda_3 = \\ \delta_4 = & \lambda_4 = \\ t_1 = & t_5 = \\ q_0 = & q_m = \end{array}$$

5.1.1. Удельный тепловой поток через многослойную плоскую стенку.

$$q_0 = \frac{t_1 - t_5}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4},$$

Рис. 1. Эскиз боковой стенки
топочной камеры

$$R_3 = \frac{\delta_3}{\lambda_3} = \frac{t_1 - t_5}{q_0} - (R_1 + R_2 + R_4),$$

и требуемое значение толщины изоляционного слоя

$$\delta_3 = \lambda_3 \left[\frac{t_1 - t_5}{q_0} - (R_1 + R_2 + R_4) \right].$$

Термическое сопротивление отдельных слоев стенки топки равны

$$R_1 = \frac{\delta_1}{\lambda_1}, \quad R_2 = \frac{\delta_2}{\lambda_2} \quad \text{и} \quad R_4 = \frac{\delta_4}{\lambda_4}.$$

Коэффициенты теплопроводности 1-го и 3-го слоя определяют по средней температуре в данном слое равной

$$t_1^{cp} = 0,5(t_1 + t_2) \quad \text{и} \quad t_3^{cp} = 0,5(t_3 + t_4)$$

Температуры t_2 , t_3 , и t_4 определяют из уравнений

$$t_2 = \sqrt{\left(\frac{1}{b_1} + t_1 \right)^2 - \frac{2q_0\delta_1}{b_1\lambda_{10}}} - \frac{1}{b_1},$$

$$t_3 = t_2 - q_0 R_2,$$

$$t_4 = t_5 + q_0 R_4,$$

где λ_{10} и b_1 - коэффициенты в уравнении (перем.)
теплопроводности 1-го слоя

Найденное значение толщины слоя изоляции δ_3 округляют до ближайшего большего значения, кратного 0,01 м, после чего уточняют фактическое

значение величин q_0 , R_1 , R_3 и температур t_2 , t_3 и t_4 .

График изменения температуры в слое изоляции δ_3 (Рис. 2) строится по уравнению

$$t_x = \sqrt{\left(\frac{1}{b_3} + t_3\right)^2 - \frac{2q_0}{\lambda_{30}b_3}x} - \frac{1}{b_3},$$

где x , текущая координата в слое от

$x=0$ до $x=\delta_3$, м;

t_x , переменная температура в слое, от $t_x=t_3$ до $t_x=t_4$;

λ_{30} и b_3 - коэффициенты в уравнении переменного коэффициента

$$\lambda_3 = \lambda_{30}(1 + b_3 t_x^{cp})$$

теплопроводности изоляции, $Bm/(m \cdot K)$

t_3 - температура на наружной поверхности

Рис.2.

слоя со стороны входа потока тепла q_0 , °C.

5.1.2. График изменения температур t_1 , t_2 , t_3 и t_4 (Рис. 3) в зависимости от изменения величины теплового потока от $q=q_0$ до $q=q_m$, строится в следующей последовательности.

Задаются несколько промежуточных значений величин теплового потока q_i от $q_i=q_0$ до $q_i=q_m$.

Для этих величин теплового потока вычисляются промежуточные значения температур t_{4i} , t_{3i} , t_{2i} и t_{1i} в указанной последовательности.

По найденным значениям температур строятся графики $t_i=f(q_i)$, как показано на Рис. 3. Температуры t_1 , t_2 , t_3 и t_4 при значении $q_i=q_0$, берутся из предыдущего расчета.

В расчетах используются следующие уравнения:

$$t_{4i} = t_5 + q_i R_4 \quad ;$$

$$t_{3i} = t_{4i} + q_i R_{3i} = \sqrt{\left(\frac{1}{b_3} + t_{4i}\right)^2 + \frac{2q_i \delta_3}{b_3 \lambda_{30}}} - \frac{1}{b_3};$$

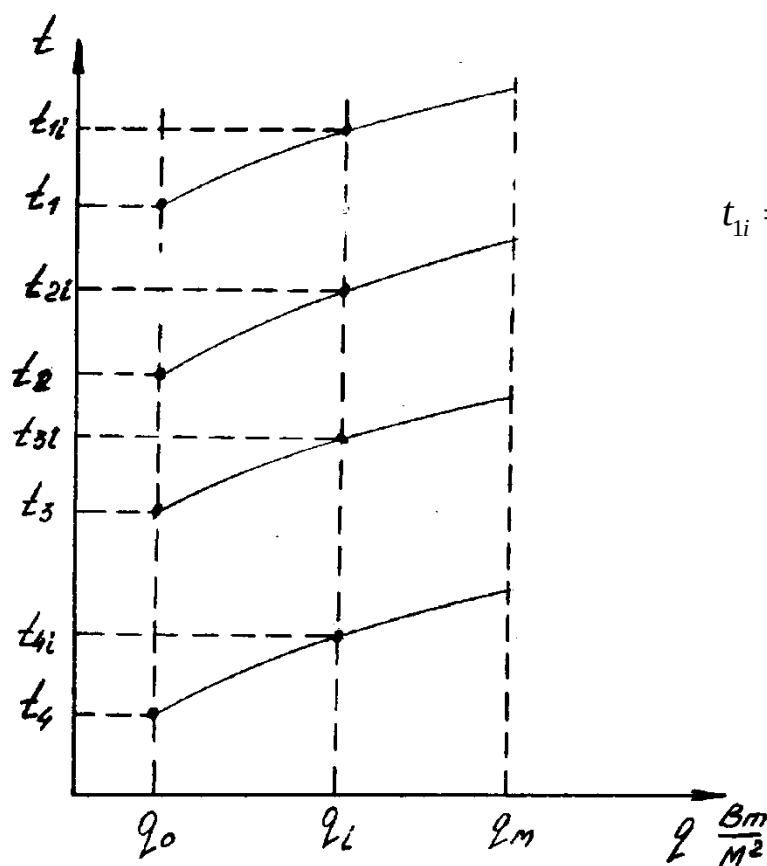


Рис. 3

5.2. Последовательность выполнения задания 1.2.

Исходные данные

$$\begin{array}{ll}
 d_{нар}^{cm} = & t_1 = \\
 \delta_{cm} = & t_2 = \\
 \lambda_n = & t_{cm}^{don} = \\
 \alpha_1 = & \alpha_2 = \\
 & \alpha_2^{min} =
 \end{array}$$

5.2.1. Удельный тепловой поток через многослойную цилиндрическую стенку

$$q_i = \frac{t_1 - t_2}{R_{\alpha 1} + R_{\lambda cm} + R_{\lambda n} + R_{\alpha 2}}, \quad \frac{Bm}{M},$$

где

$$t_{2i} = t_{3i} + q_i R_2$$

$$t_{1i} = t_{2i} + q_i R_{1i} = \sqrt{\left(\frac{1}{b_1} + t_{2i}\right)^2 + \frac{2q_i \delta_1}{b_1 \lambda_{10}}} - \frac{1}{b_1}$$

Для построения плавных кривых изменения температур необходимо принимать не менее 3-4 промежуточных значения q_i .

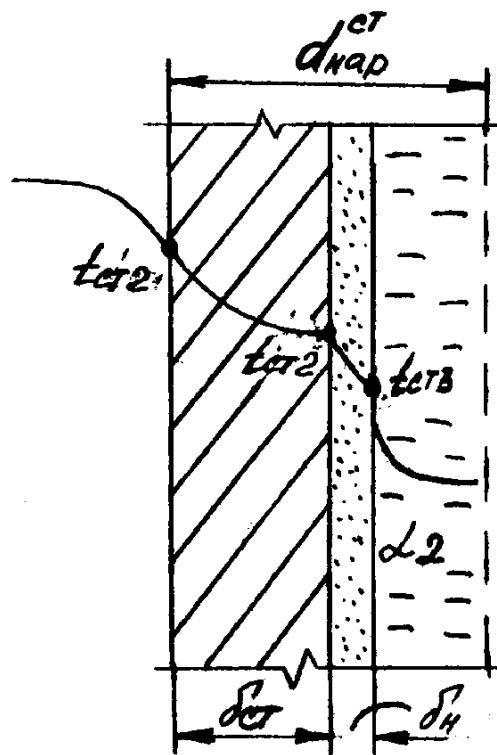


Рис. 4. Эскиз разреза стенки парогенерирующей трубы и график изменения температуры в ней

$$R_{\alpha 1} = \frac{1}{\pi d_{нар}^{cm} \alpha_1}, \quad R_{\lambda cm} = \frac{1}{2\pi \lambda_{cm}} \ln \frac{d_{нар}^{cm}}{d_{вн}^{cm}}, \quad R_{\lambda н} = \frac{1}{2\pi \lambda_{н}} \ln \frac{d_{нар}^{н}}{d_{вн}^{н}},$$

$$R_{\alpha 2} = \frac{1}{\pi d_{вн}^{н} \alpha_2}, \quad \frac{M \cdot K}{B} \quad \text{че,} \quad - \text{термические сопротивления при теплопереда-}$$

соответственно, от газов к наружной стенке трубы, через стенку трубы, через слой накипи и от внутренней поверхности накипи к воде, кипящей внутри трубы.

При этом $d_{вн}^{cm} = d_{нар}^{cm} - 2\delta_{cm}$, $d_{нар}^{н} = d_{вн}^{cm}$ и $d_{вн}^{н} = d_{нар}^{н} - 2\delta_{н}$.

При вычислении $R_{\alpha 2}$ предварительно можно принять $d_{вн}^{н} \approx d_{нар}^{н} = d_{вн}^{cm}$

По условию $t_{cm1} = t_{см}^{до}$

$$\text{Тогда } q_{ц} = \frac{t_1 - t_{cm1}}{R_{\alpha 1}}, \quad t_{cm2} = t_{cm1} - q_{ц} R_{\lambda cm} \quad \text{и} \quad t_{cm3} = t_2 + q_{ц} R_{\alpha 2}$$

$$R_{\lambda н} = \frac{t_{cm2} - t_{cm3}}{q_{ц}} = \frac{t_{cm2} - t_2}{q_{ц}} - R_{\alpha 2},$$

$$\delta_{н} = d_{вн}^{cm} \frac{1 - e^{-2\pi \lambda_{н} R_{\lambda н}}}{2}$$

Требуемое термическое сопротивление слоя накипи определяется из уравнения

откуда

После чего уточняют величину $R_{\alpha 2}$, $R_{\lambda н}$ и снова $\delta_{н}$.

5.2.2. График зависимости изменения температуры t_{cm1} от величины коэффициента теплоотдачи α_2 (Рис. 5.2) строят в следующей последовательности.

Задаются несколько промежуточных значений α_2 от исходного до $\alpha_2 = \alpha_2^{min}$. Для этих величин вычисляют значения $R_{\alpha 2i} = \frac{1}{\pi d_{вн}^{н} \alpha_{2i}}$, при найденном выше значении толщины слоя накипи $\delta_{н}$ и $d_{вн}^{н}$, после чего вычисляют соответствующие значения $q_{цi}$ и t_{cm1i} по уравнениям

$$q_{цi} = \frac{t_1 - t_2}{R_{\alpha 1} + R_{\lambda cm} + R_{\lambda н} + R_{\alpha 2i}} \quad \text{и} \quad t_{cm1i} = t_1 - q_{цi} R_{\alpha 1}$$

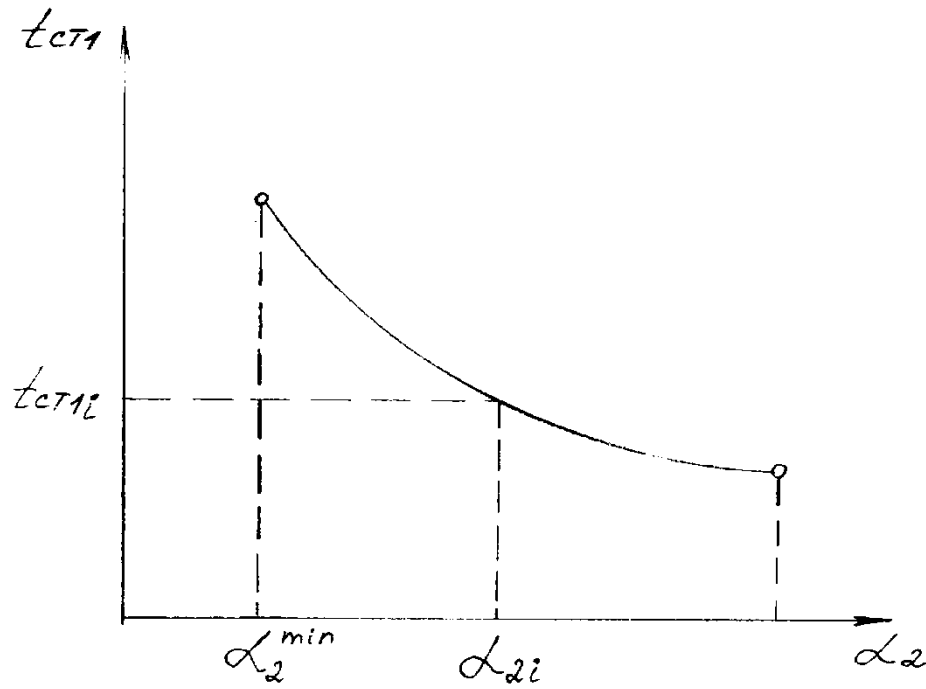


Рис. 5.

6. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ РАЗДЕЛА 2 "РАСЧЕТ ПРОЦЕССОВ КОНВЕКТИВНОГО ТЕПЛООБМЕНА".

6.1. Последовательность выполнения задания 2.1.

Исходные данные:

$$\begin{array}{ll}
 d_{нар} = & t_z = \\
 \delta_{ст} = & W_2 = \\
 t_1 = & \lambda_1 = \\
 W_1 = & \lambda_2 = \\
 \lambda_{ст} = & \delta_2 = \\
 & \psi =
 \end{array}$$

6.1.1. Удельный тепловой поток (потеря тепла) на 1 пог. м. длины неизолированного трубопровода равен

$$q_u = \frac{t_1 - t_2}{R_{\alpha 1} + R_{\lambda ст} + R_{\alpha 2}}, \quad \text{Вт/м}$$

где

$$R_{\alpha 1} = \frac{1}{\pi d_{вн} \alpha_1}, \quad R_{\lambda ст} = \frac{1}{2\pi \lambda_{ст}} \ln \frac{d_{нар}}{d_{вн}},$$

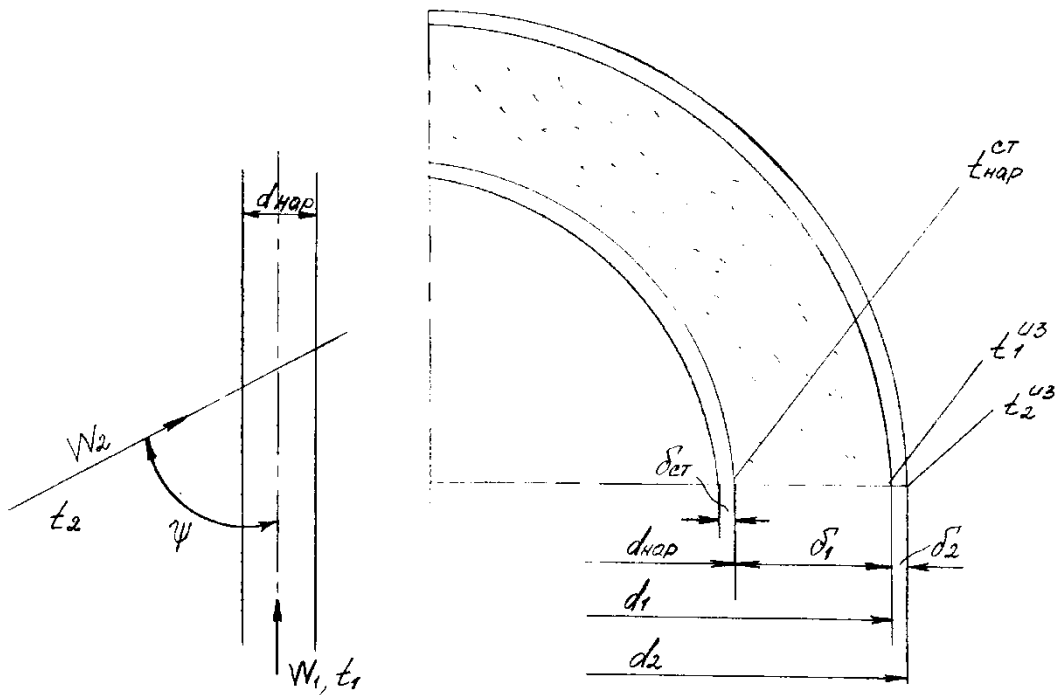


Рис.6 Эскиз расположения трубопровода и тепловой изоляции на трубе

$$R_{\alpha 2} = \frac{1}{\pi d_{\text{нар}} \alpha_2} \text{ и } d_{\text{вн}} = d_{\text{нар}} - 2\delta_{\text{св}}$$

термические сопротивления при теплопередаче от воды к наружному воздуху через стенку трубы. Снижение температуры горячей воды на длине трубопровода l , м, равно

$$t_1^{\text{вх}} = t_1 - \frac{q_u l}{C_6 G_6},$$

где $G_6 = \frac{W_1 \pi d_{\text{вн}}^2}{4} \rho_6$, кг/с, расход воды в трубопроводе;

C_6 - теплоемкость воды в трубопроводе при средней температуре воды, Дж/кг К

Коэффициент теплоотдачи от воды к внутренней поверхности стенки трубы α_1 определяют по критериальному уравнению для турбулентного режима течения жидкости внутри трубы (при $Re > 10^4$)

$$Nu = 0,021 Re^{0,8} Pr^{0,43} (Pr_{\text{жс}} / Pr_{\text{см}})^{0,25} \varepsilon_l$$

где $Nu = \frac{\alpha_1 d_{\text{вн}}}{\lambda}$, $Re = \frac{W_1 d_{\text{вн}}}{\nu}$, $Pr = \frac{\nu}{a} = \frac{\nu \cdot C \cdot \rho}{\lambda}$, критерии подобия Нуссельта, Рейнольдса и Прандтля, соответственно ;

- λ, ν, a, c, ρ - физические параметры воды, определяемые при ее средней температуре $t_{cp} = 0,5(t_1 + t_1^{6bx})$;

- "ж" и "ст", индексы означающие что величины критерия Pr определяют при средней температуре воды и стенки, соответственно;

- ε_l - поправочный коэффициент на длине трубы, при $l/d_{вн} \geq 50$ $\varepsilon_l = 1,0$

Средний коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности трубы к воздуху ($\overline{\alpha_2}$) при поперечном обтекании под углом атаки ψ определяют из критериального уравнения (при $Re = 1 \cdot 10^3 - 2 \cdot 10^5$)

$$Nu = 0,25 Re^{0,6} Pr^{0,38} \left(\frac{Pr_{ж}}{Pr_{ст}} \right)^{0,25}$$

где Re, Pr, Nu критерии подобия для воздуха, берутся по формулам указанным выше и определяются по скорости воздуха W_2 , температуре t_2 и наружному диаметру трубы $d_{нар}$.

При обтекании трубы под углом атаки ψ учитывается поправочный коэффициент ε_ψ $\alpha_{2\psi} = \overline{\alpha_2} \varepsilon_\psi$

Перед расчетом коэффициента α_1 предварительно задают $t_{cp} = t_1 = t_1^{6bx}$ и $t_{cp} = t_{ст}$. После вычисления величин $\alpha_1, \alpha_{2\psi}$ и q_ψ , уточняют значения t_1^{6bx} , t_{cp} и $t_{ст} = t_{cp} - q_\psi \cdot R_{\alpha 1}$, после чего расчет повторяют.

6.1.2. Требуемая толщина основного слоя изоляции δ_l определяется из уравнения удельного теплового потока для многослойной цилиндрической стенки.

$$q_\psi = q_0 = \frac{t_1 - t_2}{R_{\alpha 1} + R_{\lambda ст} + R_{\lambda 1} + R_{\lambda 2} + R_{\alpha 2}},$$

откуда

$$R_{\lambda 1} = \frac{t_1 - t_2}{q_0} - (R_{\alpha 1} + R_{\lambda ст} + R_{\lambda 2} + R_{\alpha 2})$$

где $R_{\alpha 1}$ и $R_{\lambda ст}$, - термические сопротивления определяемые по данным п. 5.1.1.;

$$R_{\lambda 2} = \frac{1}{2\pi\lambda_2} \ln \frac{d_2}{d_1} - \text{термическое сопротивление 2-го наружного слоя изо-}$$

ляции, при

$$d_1 = d_{нар} + 2\delta_1 \text{ и } d_2 = d_1 + 2\delta_2;$$

$R_{\alpha 2} = \frac{1}{\pi d_2 \alpha_2}$ - термическое сопротивление при теплоотдаче от наружного слоя изоляции к воздуху.

По значению термического сопротивления основного слоя изоляции $R_{\lambda 1}$ находим требуемую толщину основного слоя изоляции

$$\delta_1^{mp} \geq d_{нар} \frac{e^{2\pi\lambda_1 R_{\lambda 1}} - 1}{2},$$

где $\lambda_1 = 0,06 + 00019t_{cp}$ - теплопроводность изоляции, определяемая при ее средней температуре равной $t_{cp} = 0,5(t_{нар}^{cm} + t_1^{uz})$ и $t_{нар}^{cm} = t_1 - q_0(R_{\alpha 1} + R_{\lambda cm})$, $t_1^{uz} = t_2 + (R_{\lambda 2} + R_{\alpha 2})$.

Полученное значение δ_1^{mp} округляют до ближайшего целого, кратного 0,01 м (δ_1^{cp}) и уточняют фактическое значение величин $R_{\lambda 1}^{\phi}$, $R_{\lambda 2}^{\phi}$, α_2^{ϕ} , $R_{\alpha 2}^{\phi}$, q_0^{ϕ} и вычисляют действительное значение температуры t_1^{6yx} . Коэффициенты α_1 и α_2 вычисляют как указано выше, принимая для α_2 диаметр - d_2^{ϕ} .

6.2. Последовательность выполнения задания 2.2.

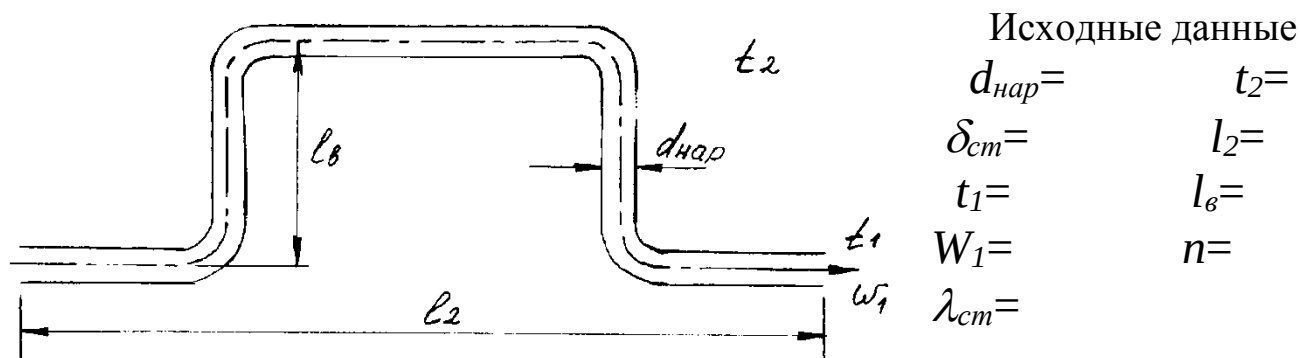


Рис7. Эскиз расположения участка маслопровода

6.2.1. Удельные потери тепла на 1 пог. м длины маслопровода равны для горизонтальных участков

$$q_2 = \frac{t_1 - t_2}{R_{\alpha 1} + R_{\lambda cm} + R_{\alpha 2}} \text{ Вт/м},$$

для вертикального участков

$$q_8 = \frac{t_1 - t_2}{R_{\alpha 1} + R_{\lambda cm} + R_{\alpha 2}} \text{ Вт/м}.$$

Величины $R_{\alpha 1}$, $R_{\lambda cm}$ и $R_{\alpha 2}$ определяются как указано выше п. 6.1.1.

Коэффициент теплоотдачи от масла к стенке трубы (α_1) определяется по уравнению (при $Re \leq 2 \cdot 10^3$)

$$Nu = 0,15 Re^{0,33} Pr^{0,43} Gr^{0,1} \left(\frac{Pr_{жс}}{Pr_{cm}} \right)^{0,25} \varepsilon_l$$

где Nu , Re , Pr - критерии подобия, определяемые, как указано выше в п. 6.1.1. при температуре масла t_1 , скорости W_1 и внутреннем диаметре трубопровода $d_{вн} = d_{нар} - 2\delta_{cm}$;

$Pr_{жс}$ и Pr_{cm} , критерий Прандтля определяемый при температуре масла t_1 и температуре стенки t_{cm} , которая предварительно принимается

$$t_{cm} \cong t_1 - 8 \div 12 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$Gr = \frac{g \cdot d_{вн}^3}{\nu^2} \beta(t_1 - t_{cm})$ критерий Грасгофа для масла текущего внутри трубы;

β - коэффициент объемного расширения масла при температуре t_1 .

Коэффициент теплоотдачи от трубы к воздуху определяется по критери-

$$Nu = C(Gr \cdot Pr)^n$$

альным уравнениям для свободной конвекции

где Gr - критерий Грасгофа для воздуха при темпера-

$$Gr = \frac{g \cdot l^3}{\nu^2} \beta(t_{cm} - t_2)$$

Nu , Pr критерии подобия для воздуха, определяемые по уравнениям из п. 6.1.1. при температуре воздуха t_2 ;

$$\beta_2 = \frac{1}{t_2 + 273} \text{ , коэффициент объемного расширения воздуха, } 1/K;$$

l - размер, принимаемый для горизонтальных участков $l = d_{нар}$, для вертикальных $l = l_v$, м;

C и n - эмпирические коэффициенты принимаемые в зависимости от величины комплекса $Gr \cdot Pr$

при $Gr \cdot Pr = 1 \cdot 10^{-3} \div 5 \cdot 10^2$ $C = 1,18$, $n = 0,125$,

при $Gr \cdot Pr = 5 \cdot 10^2 \div 2 \cdot 10^7$ $C = 0,54$, $n = 0,25$,

при $Gr \cdot Pr = 2 \cdot 10^7 \div 1 \cdot 10^{13}$ $C = 0,135$, $n = 0,333$.

Коэффициент теплоотдачи определяется отдельно для горизонтальных участков α_2^z и для вертикальных α_2^6 .

После вычисления q_z и q_6 уточняют температуру стенки $t_{cm}^z = t_1 - q_z R_{\alpha 1}$ и $t_{cm}^6 = t_1 - q_6 R_6$. Если полученное значение t_{cm} не отличается от принятого более чем на $\pm 2^\circ\text{C}$, то расчет повторяют с новым значением t_{cm} .

6.2.2. Снижение температуры масла на суммарной длине всего маслопровода равно

$$t_1^{6bx} = t_1 - \frac{Q_{nom}}{C_m G_m},$$

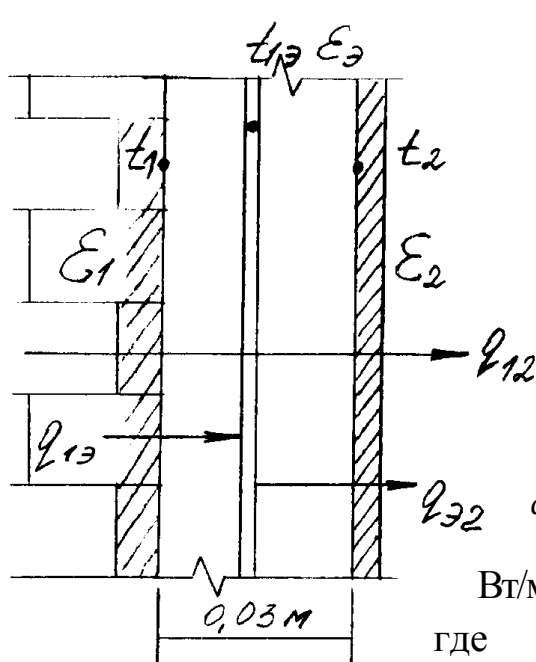
где $Q_{nom} = q_z \cdot l_z + q_6 \cdot l_6 \cdot n$ - суммарные потери тепла по длине всего маслопровода, Вт;

$$G_m = \frac{W_1 \cdot \pi d_{вн}^2}{4} \rho_m - \text{расход масла по маслопроводу, кг/с;}$$

ρ_m и C_m , плотность и теплоемкость масла при температуре t_1 , Дж/кг·К

7. Методические указания по выполнению раздела 3. "Расчет теплообмена излучением".

7.1. Последовательность выполнения задания 3.1.



Исходные данные

$$\begin{aligned} t_1 &= & t_2 &= \\ \varepsilon_1 &= & \varepsilon_2 &= \\ \varepsilon_3 &= \end{aligned}$$

6.1.1. Результирующий тепловой поток при теплообмене излучением между двумя параллельными поверхностями определяется из уравнения

$$q_{12} = E_{p1} = \varepsilon_{np12} C_0 \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right],$$

Вт/м²

где $T_1 = t_1 + 273$, $T_2 = t_2 + 273$ - абсолютные

Рис. 8. Эскиз разреза боковой стенки топочной камеры с обшивкой и экраном

температуры первой и второй поверхности, К;

$C_0 = 5,67$ - коэффициент лучеиспускания для абсолютно черного тела, Вт/(м² К);

$$\varepsilon_{np12} = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1}, \text{ приведенная степень черноты системы 1-ой и 2-ой поверхностей.}$$

Собственное излучение каждой поверхности, их эффективное и отраженное излучение определяют из уравнений

$$E_{cob1} = \varepsilon_1 C_0 \left(\frac{T_1}{100} \right)^4, \quad E_{\phi1} = \frac{E_{cob1} + (1 - \varepsilon_1) E_{cob2}}{1 - (1 - \varepsilon_1)(1 - \varepsilon_2)}$$

$$E_{cob2} = \varepsilon_2 C_0 \left(\frac{T_2}{100} \right)^4, \quad E_{\phi2} = \frac{E_{cob2} + (1 - \varepsilon_2) E_{cob1}}{1 - (1 - \varepsilon_1)(1 - \varepsilon_2)}$$

$$E_{omp1} = (1 - \varepsilon_1) E_{\phi2}, \quad E_{omp2} = (1 - \varepsilon_2) E_{\phi1}$$

6.1.2. При наличии между поверхностями одного плоского экрана результирующий тепловой поток будет равен

$$q_{12}^{\circ} = q_{1\phi} = q_{\phi2} = \frac{\varepsilon_{np1} \cdot \varepsilon_{np2}}{\varepsilon_{np1} + \varepsilon_{np2}} C_0 \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right]$$

где $\varepsilon_{np1} = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_{\phi}} - 1}$, приведенная степень черноты системы 1-ая поверхность - экран;

$$\varepsilon_{np2} = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_{\phi}} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1}, \text{ приведенная степень черноты системы экран - 2-ая поверхность.}$$

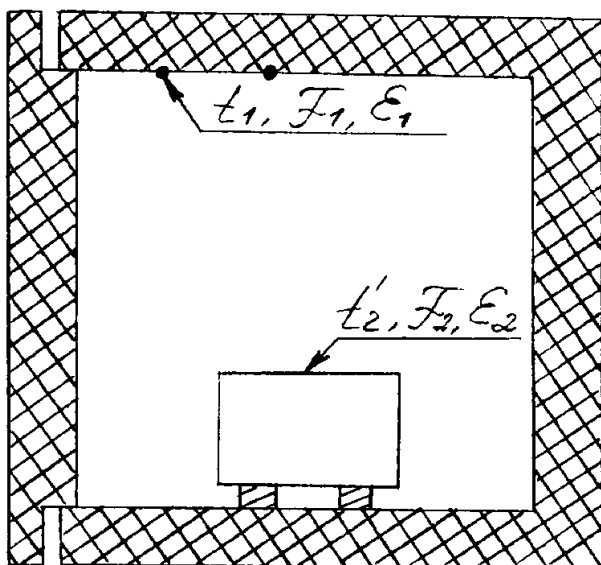


Рис. 9. Эскиз разреза муфельной печи с деталью

х

2-ая поверхность.

7.2. Последовательность выполнения задания 3.2.

Исходные данные

$t_1 =$	$t_2 =$
$F_1 =$	$t_2'' =$
$\varepsilon_1 =$	$d =$
	$\varepsilon_2 =$
	$l =$

7.2.1. Удельный тепловой поток при теплообмене излучением в системе 2-

тел, из которых одно находится внутри другого отнесенный к поверхности внутреннего тела, F_2 , определяется из уравнения

$$q_{\lambda}' = \frac{Q_{\lambda}}{F_2} = \varepsilon_{np} C_0 \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] \text{ Bm/м}^2$$

где $Q_{\lambda} = q_{\lambda} \cdot F_2$ - полный тепловой поток при теплообмене излучением для данной системы двух тел;

$F_2 = \pi d l + 0,5 \pi d^2$ - площадь поверхности второго тела, м²;

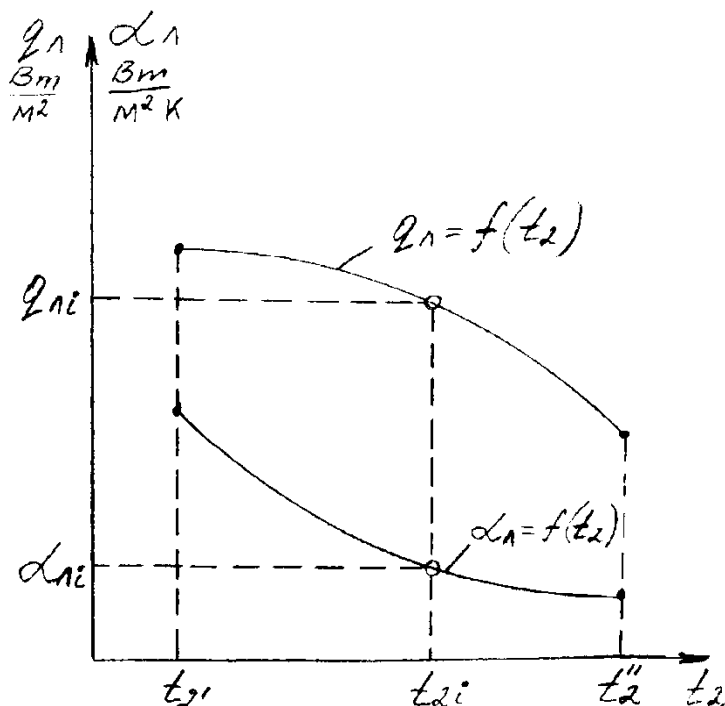
$F_2 = \pi d l + 0,5 \pi d^2$ - площадь поверхности второго тела, м²;

$$\varepsilon_{np} = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{F_2}{F_1} \left(\frac{1}{\varepsilon_2} - 1 \right)} \quad \text{- приведенная степень черноты данной системы двух тел.}$$

Коэффициент теплоотдачи при излучении равен

$$\alpha_{\lambda} = \frac{q_{\lambda}}{t_1 - t_2} \text{ Bm/м}^2 \text{ K}$$

График зависимости этих величин от температуры t_2 (Рис. 10) при изменении ее в пределах от t_2' до t_2'' строится в следующей последовательности.



Задаются промежуточные значения t_{2i} , начиная от t_2' и кончая t_2'' , желательно через 100 °C.

По приведенным выше формулам вычисляют $q_{\lambda i}$ и $\alpha_{\lambda i}$, при $T_{2i} = t_{2i} + 273$, строят требуемый график.

7.2.2. График зависимости температуры поверхности детали от времени ее нагрева (Рис. 11) строят используя значения $q_{\lambda i}$, полученные при построении графиков в п.

7.2.1. при задании температуры t_{2i} от $t_{2i}=t_2'$ при $i=1$ и $\tau_1=0$ и до $t_{2i}=t_2''$.

Рис. 10

Задача решается методами теории нестационарной теплопроводности.

Безразмерная температура на поверхности детали определяется по уравнению нестационарной теплопроводности при нагревании бесконечно длинного цилиндра, которое с достаточной точностью справедливо при $\frac{l}{d} \leq$
 $\theta_{r=r_0} = F(B_i, F_0)$

где - $B_i = \frac{\alpha \cdot r_0}{\lambda}$, критерий Био;

- $r_0 = 0,5d$, радиус цилиндра;

- $F_0 = \frac{a \cdot \tau}{r_0^2}$, критерий Фурье;

- $a = \frac{\lambda}{c \cdot \rho}$, коэффициент температуропроводности стали, м²/с

- τ , время нагрева поверхности детали от t_2' до $t_{r=r_0}$, сек;

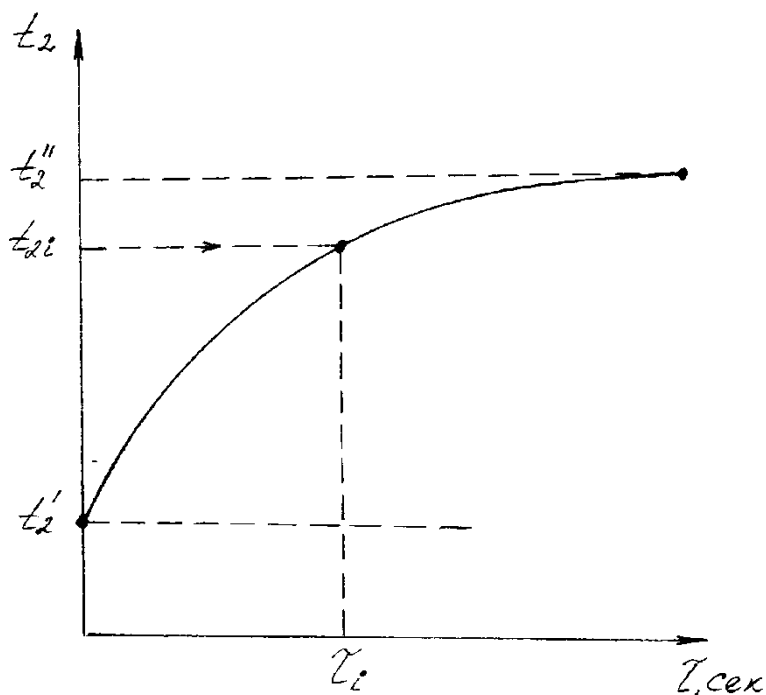
- $\theta = \frac{t_1 - t_{r=r_0}}{t_1 - t_2'}$, безразмерная температура на поверхности детали при ее нагреве до $t_{r=r_0}$

График зависимости $t_{2i}=f(\tau_i)$ по Рис.11 строится в следующей последовательности.

Задаются промежуточные значения t_{2i} от $t_{2i}=t_2'(i=1)$ до $t_{2i}=t_2''$, желательно через 200 °С.

По приведенным выше формулам вычисляют критерий (B_i), средний коэффициент температуропроводности a^{cp}_i , и средний коэффициент теплопередачи α^{cp}_i для средней температуры поверхности детали в данном интервале

$$t_{2i}^{cp} = 0,5(t_{2i} + t_{2i+1})$$



Вычисляют безразмерную температуру нагрева θ_i в данном интервале температур от t_{2i} до $t_{2(i+1)}$

$$\theta_i = \frac{t_1 - t_{2(i+1)}}{t_1 - t_{2i}}$$

По данным графической зависимости $\theta_i = f(Bi, F_0)$ находим значение критерия $(F_0)_i$ при заданных $(Bi)_i$ и θ_i .

Из условия

$$(F_0)_i = \frac{a_i^{cp} \cdot \Delta \tau_i}{r_0^2}, \text{ находим}$$

Рис. 11

$$\Delta \tau_i = \frac{(F_0)_i \cdot r_0^2}{a_i^{cp}}$$

Время для нагрева детали от t'_2 до $t_{2(i+1)}$ равно $\tau_{2(i+1)} = \tau_{2i} + \Delta \tau_i$.

8. Методические указания по выполнению раздела 4 "Расчет теплообменных аппаратов"

8.1. Последовательность выполнения задания 4.1.

Исходные данные:

Характеристики подогревателя	Характеристики теплоносителя
$d_{\text{нар}} =$	$P_n =$
$\delta_{\text{ст}} =$	$t'_2 =$
$n =$	$t''_2 =$
$l =$	$t_k =$
$z =$	
$\delta_3 =$	
$\lambda_3 =$	

Для решения задачи студент должен изучить теоретический материал по разделам: теплоотдача при вынужденном движении жидкости и при фазовом переходе; теплопередача; конструкций теплообменных аппаратов и методика их расчета.

Ход решения следующий:

1. Теплопроизводительность подогревателя равна

$$Q = k \cdot H \cdot \Delta t_{cp}, \text{ Вт}$$

Расход греющего пара

$$m_1 = \frac{Q \cdot 10^{-3}}{i_n - i_k}, \text{ кг/с}$$

Расход подогреваемой воды

$$m_2 = \frac{Q \cdot 10^{-3}}{i_2'' - i_2'}$$

2. H – поверхность теплообмена подогревателя, m^2 ; определяется по среднему диаметру трубок

$$H = \pi \cdot d_{mp}^{cp} \cdot n \cdot i$$

$$\text{где } d_{mp}^{cp} = 0,5(d_{нар} + d_{вн}) \text{ и } d_{вн} = d_{нар} - 2\delta_{ст} - 2\delta_3$$

3. Δt_{cp} – средняя разность температур между теплоносителями в подогревателе равная

$$\Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_{\delta} - \Delta t_m}{\ln \frac{\Delta t_{\delta}}{\Delta t_m}} = \frac{(t_n - t_2') - (t_n - t_2'')}{\ln \frac{t_n - t_2'}{t_n - t_2''}}$$

где t_n – температура насыщения греющего пара, соответствующая давлению насыщенного пара – P_n .

i_n, i_k – теплосодержание насыщенного водяного пара и конденсата, определяется по значению температуры насыщения пара t_n и температуре конденсата t_k из таблиц, кДж/кг.

i_2'', i_2' – теплосодержание нагреваемой воды на выходе и на входе подогревателя, определяются по температурам воды t_2'' и t_2' , соответственно, из таблиц, кДж/кг.

4. K – средний коэффициент теплопередачи для подогревателя, Вт/($m^2 K$), определяется с незначительной погрешностью из уравнения для плоской стенки

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{нар}} + \frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{1}{\alpha_{вн}}}$$

где $\alpha_{нар}$ – коэффициент теплоотдачи от греющего пара у наружной стенке трубок при конденсации пара, Вт/($m^2 K$);

$\alpha_{вн}$ – коэффициент теплоотдачи от внутренней поверхности загрязнений к нагреваемой воде, Вт/($m^2 K$);

$\lambda_{ст} = 90$ Вт/(м К) – коэффициент теплопроводности латуни.

Так как, для определения величин $\alpha_{нар}$ и $\alpha_{вн}$ необходимо знать расход теплоносителей и удельный тепловой поток через поверхность теплообмена, дальнейший расчет ведется методом последовательного приближения.

5. Принимается предварительно значение $K=1900 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{ К})$. По принятому значению K определяются величины: Q , m_1 и m_2 а также удельный тепловой поток через поверхность теплообмена $q=K \cdot \Delta t_{cp} \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{ К})$.
6. Средний коэффициент теплоотдачи $\alpha_{вн}$ при вынужденном движении воды внутри трубы определяется из критериального уравнения, действительного при $Re > 10^4$

$$Nu = 0,021 Re^{0,8} \cdot Pr^{0,43} \left(\frac{Pr_{жс}}{Pr_{см}} \right)^{0,25} \cdot \varepsilon_1$$

где

$$Nu = \frac{\alpha_{вн} \cdot d_{вн}}{\lambda_{г}} \text{ - критерий Нуссельта}$$

откуда
$$\alpha_{вн} = \frac{Nu \cdot \lambda_{г}}{d_{вн}}$$

8. Список рекомендуемой литературы.

8.1. Основная учебная литература.

1. Чечешкин А.В., Занемонез Н.А. Теплотехника: Учеб. для ВУЗов. - М.: Высш.школа., 1986. - 344 с.: ил.
2. Драганов Б.Х. и др. Теплотехника и применение теплоты в сельском хозяйстве. - М.: Агропромиздат, 1990. - 463 с.: ил.
3. Юдаев Б.Н. Техническая термодинамика. Теплопередача: Учеб. для ВУЗов. - М.: Высш. шк., 1988. - 479 с.: ил.
4. Нащокин В.В. Техническая термодинамика и теплопередача: Учебн. пособие для ВУЗов. М. - Высш. шк., 1975. - 496 с.: ил.
5. Краснощеков Е.А., Сухомол А.С. Задачник по теплопередаче: М. - "Энергия", 1975.

7.2. Дополнительная литература.

1. Кутателадзе С.С. Теплопередача и гидродинамическое сопротивление: Справочное пособие. - М.: Энергоатомиздат, 1990. - 367 с.: ил.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к **САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЕ**

ПО ДИСЦИПЛИНЕ

**Теоретические основы теплотехники (техническая
термодинамика и тепломассообмен)**

для студентов, обучающихся по направлению подготовки
08.03.01 – Строительство
Профиль – «Теплогазоснабжение и вентиляция»

Содержание

Введение

1. Самостоятельная работа как важнейшая форма учебного процесса
2. Цели и основные задачи самостоятельной работы
3. Виды самостоятельной работы
4. Организация самостоятельной работы
5. Общие рекомендации по организации самостоятельной работы
6. Методические рекомендации для студентов по отдельным формам самостоятельной работы
7. Критерии оценки самостоятельной работы

Введение

Основная задача высшего образования заключается в формировании творческой личности профессионала, способного к саморазвитию, самообразованию и инновационной деятельности.

Успешное усвоение дисциплин по различным образовательным программам предполагает активное, творческое участие обучающегося на всех этапах ее освоения путем планомерной, повседневной не только аудиторной, но и самостоятельной работы.

Самостоятельная работа студентов является одной из важнейших составляющих образовательного процесса. Самостоятельная работа – это процесс активного, целенаправленного приобретения обучающимися новых знаний, умений без непосредственного участия преподавателя, характеризующийся предметной направленностью, эффективным контролем и оценкой результатов деятельности обучающегося.

Объем самостоятельной работы (в часах) определен учебным планом.

Методические указания по организации самостоятельной работы студентов (далее – СРС) являются обязательной частью учебно-методических комплексов учебных дисциплин, реализуемых на кафедре теплогазоснабжения и экспертизы недвижимости по направлению подготовки 08.03.01 Строительство, направленность (профиль) Теплогазоснабжение и вентиляция.

Методические указания по организации самостоятельной работы для студентов, наряду с методическими указаниями по выполнению лабораторных работ, практических занятий и работе с лекционным материалом; по формам текущего, промежуточного и итогового контроля; по выполнению курсовых работ/проектов, расчетно-графических работ, контрольных работ; по подготовке и защите выпускных квалификационных работ, составляют единый комплекс методического обеспечения УМК каждой учебной дисциплины.

Цель методических указаний СРС – определить роль и место самостоятельной работы студентов в учебном процессе; конкретизировать ее уровни, формы и виды; обобщить методы и приемы выполнения определенных типов учебных заданий; объяснить критерии оценивания.

1. Самостоятельная работа как важнейшая форма учебного процесса

Самостоятельная работа - планируемая учебная, учебно-исследовательская, научно-исследовательская работа обучающихся, выполняемая во внеаудиторное время по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия (при частичном непосредственном участии преподавателя, оставляющем ведущую роль за работой обучающихся).

Самостоятельная работа обучающихся является важным видом учебной и научной деятельности. В связи с этим, обучение включает в себя две, практически одинаковые по объему и взаимовлиянию части – процесса обучения и процесса самообучения. Поэтому СРО должна стать эффективной и целенаправленной работой.

Концепцией модернизации российского образования определены основные задачи высшего образования – «подготовка квалифицированного работника соответствующего уровня и профиля, конкурентоспособного на рынке труда, компетентного, ответственного, свободно владеющего своей профессией и ориентированного в смежных областях деятельности, способного к эффективной работе по специальности на уровне мировых стандартов, готового к постоянному профессиональному росту, социальной и профессиональной мобильности».

Решение этих задач невозможно без повышения роли самостоятельной работы обучающихся над учебным материалом, усиления ответственности преподавателей за развитие навыков самостоятельной работы, за стимулирование профессионального роста обучающихся, воспитание творческой активности и инициативы.

К современному специалисту общество предъявляет достаточно широкий перечень требований, среди которых немаловажное значение имеет наличие у выпускников определенных способностей и умения самостоятельно добывать знания из различных источников, системати-

зировать полученную информацию, давать оценку конкретной финансовой ситуации. Формирование такого умения происходит в течение всего периода обучения через участие обучающихся в практических занятиях, лабораторных работах, выполнение контрольных и расчетно-графических работ, написание курсовых работ (проектов) и выпускных квалификационных работ. При этом самостоятельная работа обучающихся играет решающую роль в ходе всего учебного процесса.

Формы самостоятельной работы студентов разнообразны. Они включают в себя:

- изучение и систематизацию официальных государственных документов - законов, постановлений, указов, нормативно-инструкционных и справочных материалов с использованием информационно-поисковых систем «Консультант-плюс», «Гарант», глобальной сети «Интернет»;
- изучение учебной, научной и методической литературы, материалов периодических изданий с привлечением электронных средств официальной, статистической, периодической и научной информации;
- подготовку докладов и рефератов, написание выпускных квалификационных работ;
- участие в работе студенческих конференций, комплексных научных исследованиях.

Самостоятельная работа приобщает студентов к научному творчеству, поиску и решению актуальных современных проблем.

2. Цели и основные задачи самостоятельной работы

Ведущая цель организации и осуществления СРМ должна совпадать с целью обучения студента – подготовкой бакалавра. При организации СРМ важным и необходимым условием становятся формирование умения самостоятельной работы для деятельности.

Цели самостоятельной работы:

- систематизация и закрепление полученных теоретических знаний и практических умений;
- углубление и расширение теоретических знаний;
- формирование умений использовать нормативную, правовую, справочную документацию и специальную литературу;
- развитие познавательных способностей, активности обучающихся, творческой инициативы, самостоятельности, ответственности и организованности;
- формирование самостоятельности мышления, способностей к саморазвитию, самосовершенствованию и самореализации;
- развитие исследовательских умений.

Основными задачами СРМ являются:

- систематизация и закрепление полученных теоретических знаний и практических умений магистров;
- углубление и расширение теоретических знаний;
- формирование умений использовать нормативную, правовую, справочную документацию и специальную литературу;
- развитие познавательных способностей и активности студентов: творческой инициативы, самостоятельности, ответственности и организованности;
- формирование самостоятельности мышления, способностей к саморазвитию, самосовершенствованию и самореализации;
- развитие исследовательских умений;
- использование материала, собранного и полученного в ходе самостоятельных занятий на семинарах, на практических и лабораторных занятиях, при написании курсовых и выпускной квалификационной работ, для эффективной подготовки к промежуточной аттестации - зачетам и экзаменам.

3. Виды самостоятельной работы

Самостоятельная работа магистрантов включает:

- самостоятельное изучение основной и дополнительной литературы;
- подготовка к лекциям;
- подготовка к практическим занятиям;
- подготовка к лабораторным работам;
- написание рефератов;
- выполнение контрольной работы;
- выполнение курсовой работы (проекта);
- выполнение расчетно-графической работы;
- подготовка исследовательской работы (написание статьи, доклада);
- подготовка выпускной квалификационной работы;
- подготовка к текущей и промежуточной аттестации;
- подготовка к государственной итоговой аттестации.

Для выполнения самостоятельной работы студентам необходимо ознакомиться с содержанием рабочей программы дисциплины, с целями и задачами дисциплины, ее связями с другими дисциплинами образовательной программы, методическими разработками по данной дисциплине, с графиком консультаций преподавателей кафедры, с перечнем ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.

4. Организация самостоятельной работы

Самостоятельная работа студента – способ активного, целенаправленного приобретения новых знаний и умений без непосредственного участия в этом процессе преподавателей.

Организационные мероприятия, обеспечивающие развитие навыков самостоятельной работы студентов, воспитание их творческой активности и инициативы, а также, в целом, обеспечивающие нормальное функционирование самостоятельной работы студентов, должны основываться на следующих предпосылках:

- самостоятельная работа должна быть конкретной по своей предметной направленности;
- самостоятельная работа должна сопровождаться эффективным, непрерывным контролем и оценкой ее результатов.

Предметно и содержательно самостоятельная работа определяется федеральным государственным образовательным стандартом по направлению подготовки 08.03.01 Строительство (уровень бакалавриата), основной образовательной программой, учебным планом, рабочими программами дисциплин.

Контроль самостоятельной работы и оценка ее результатов организуются как единство двух форм:

- самоконтроль и самооценка;
- внешний контроль и оценка со стороны преподавателей, государственных экзаменационных комиссий и др.

5. Общие рекомендации по организации самостоятельной работы

Организация самостоятельной работы магистрантов направлена на решение следующих задач:

- а) закрепление, обобщение и повторение пройденного учебного материала; применение полученных знаний в традиционных педагогических ситуациях и при решении задач высокого уровня неопределенности;
- б) совершенствование умений и навыков по изучаемой дисциплине; формирование межпредметных, общеучебных, исследовательских умений;

в) активизация учебной и научно-исследовательской деятельности обучающихся, ее максимальная индивидуализация с учетом индивидуальных особенностей и академической успеваемости студентов;

г) формирование готовности студентов к самообразованию в течение всей жизни.

Видами занятий для самостоятельной работы могут быть:

Для овладения знаниями:

- чтение текста (учебника, первоисточника, дополнительной литературы, конспектов лекций);
- составление плана текста, графическое изображение структуры текста;
- конспектирование текста; выписки из текста, работа со словарями и справочниками, ознакомление с нормативными документами;
- учебно-исследовательская работа, использование аудио и видеозаписей, компьютерной техники, интернета и др.

Для закрепления и систематизации знаний:

- работа с конспектом лекций, повторная работа над материалом;
- составление плана и тезисов ответа;
- составление таблиц для систематизации учебного материала;
- ответы на контрольные вопросы;
- аналитическая обработка текста (аннотирование, рецензирование, реферирование, контент-анализ);
- подготовка сообщения для выступления на конференции;
- подготовка рефератов, докладов;
- составление библиографии.

Для формирования умений:

- выполнение контрольных работ;
- выполнение чертежей, схем, расчетно-графических работ;
- проектирование и моделирование разных видов и компонентов профессиональной деятельности.
- подготовка курсовых и дипломных работ (проектов);

Для формирования компетенций:

- принятие решений по конкретной ситуации;
- грамотная формулировка задания для исполнения;
- организация контроля по сферам деятельности.

6. Методические рекомендации для студентов по отдельным формам самостоятельной работы

Система вузовского обучения подразумевает значительную самостоятельность студентов в планировании и организации своей деятельности.

6.1 Самостоятельное изучение основной и дополнительной литературы

Работа с литературой является основным методом самостоятельного овладения знаниями. Это сложный процесс, требующий выработки определенных навыков, поэтому студенту нужно обязательно научиться работать с книгой.

Осмысление литературы требует системного подхода к освоению материала. В работе с литературой системный подход предусматривает не только тщательное (иногда многократное) чтение текста и изучение специальной литературы, но и обращение к дополнительным источникам – справочникам, энциклопедиям, словарям. Эти источники – важное подспорье в самостоятельной работе студента, поскольку глубокое изучение именно их материалов позволит студенту уверенно «распознавать», а затем самостоятельно оперировать теоретическими категориями и понятиями, следовательно – освоить новейшую научную терминологию. Такого рода работа с литературой обеспечивает решение студентом поставленной перед ним задачи (подготовка к практическому занятию, выполнение контрольной работы и т.д.).

Выбор литературы для изучения делается обычно по предварительному списку литературы, который выдал преподаватель, либо путем самостоятельного отбора материалов. После этого непосредственно начинается изучение материала, изложенного в книге.

Наиболее надежный способ собрать нужный материал – составить план или конспект. *Конспект, план-конспект* – это последовательная фиксация отобранной и обдуманной в процессе чтения информации.

Цель – зафиксировать, переработать тот или иной научный текст. Они позволяют восстановить в памяти ранее прочитанное без дополнительного обращения к самой книге.

План – это «скелет» текста, он компактно отражает последовательность изложения материала. План как форма записи обычно более подробно передает содержание частей текста, чем оглавление книги или подзаголовки статей. Самые важные места в книге отмечайте, используя для этого легко стирающийся карандаш или вкладные листки. Запись любых планов следует делать так, чтобы ее легко можно было охватить одним взглядом.

Вся рекомендуемая для изучения курса литература подразделяется на основную и дополнительную. К основной литературе относятся источники, необходимые для полного и твердого усвоения учебного материала (учебники и учебные пособия). Необходимость изучения дополнительной литературы диктуется прежде всего тем, что в учебной литературе (учебниках) зачастую остаются неосвещенными современные проблемы, а также не находят отражение новые документы, события, явления, научные открытия последних лет. Поэтому дополнительная литература рекомендуется для более углубленного изучения программного материала.

6.2 Подготовка к лекциям и работа с конспектом лекций

При подготовке к лекции студенты должны предварительно ознакомиться с учебным материалом по данной теме и при конспектировании лекции акцентировать внимание на новых теоретических положениях, правовых и иных данных, не нашедших отражения в учебной литературе.

Лекция имеет цель – систематизация основы научных знаний по дисциплине, сконцентрировать внимание обучающихся на наиболее актуальных проблемах.

В ходе лекций преподаватель излагает и разъясняет основные, наиболее сложные понятия темы, а также связанные с ней теоретические и практические проблемы. Дает рекомендации на практические занятия и указания на самостоятельную работу.

Предварительное не углубленное знакомство с материалом очередной лекции дает многое. Студенты получают общее представление о ее содержании и структуре, о главных и второстепенных вопросах, о терминах и определениях. Все это облегчает работу на лекции и делает ее целеустремленной.

Основные моменты лекционных занятий конспектируются. Отдельные темы предлагаются для самостоятельного изучения с обязательным составлением конспекта.

Краткие записи лекций, их конспектирование помогает усвоить учебный материал. Конспект является полезным тогда, когда записано самое существенное, основное и сделано это самим обучающимся.

Запись лекций рекомендуется вести по возможности собственными формулировками. Желательно запись осуществлять на одной странице, а следующую оставлять для проработки учебного материала самостоятельно в домашних условиях.

Самостоятельную работу следует начинать с доработки конспекта, желательно в тот же день, пока время не стерло содержание лекции из памяти. С целью доработки необходимо в первую очередь прочитать записи, восстановить текст в памяти, а также исправить опiski, расшифровать не принятые ранее сокращения, заполнить пропущенные места, понять текст, вникнуть в его смысл. Далее прочитать материал по рекомендуемой литературе, разрешая в ходе чтения, возникшие ранее затруднения, вопросы, а также дополнения и исправляя свои записи. Записи должны быть наглядными, для чего следует применять различные способы выделения. В ходе доработки конспекта углубляются, расширяются и закрепляются знания, а также дополняется, исправляется и совершенствуется конспект.

Работая над конспектом лекций, всегда необходимо использовать не только учебник, но и ту литературу, которую дополнительно рекомендовал лектор. Именно такая серьезная, кропотливая работа с лекционным материалом позволит глубоко овладеть знаниями.

6.3 Подготовка к практическим занятиям

Целью практических занятий является получение базовых навыков по применению теоретических знаний. Это необходимо при решении всевозможных задач на различных этапах практической деятельности.

Задачи подготовки и проведения практических занятий:

- закрепление и углубление знаний;
- создание практических навыков и умений в практической деятельности и повседневной жизни для: поиска, первичного анализа и использования информации;
- анализа конкретных ситуаций и условий их реализации;
- изложения и аргументации собственных суждений по практической ситуации;
- развитие стремления и способности к самостоятельному исследованию изучаемых реальностей, их критической оценки.

Подготовка к практическим занятиям включает: изучение нормативных актов, учебной литературы, лекционного материала; подготовка рефератов.

Практические занятия по дисциплине проводятся в форме различных дискуссий (семинарских занятий) и (или) анализа конкретных ситуаций (выполнение практических заданий).

6.4 Подготовка к лабораторным работам

Лабораторные работы составляют важную часть теоретической и профессиональной практической подготовки магистрантов. Они направлены на формирование учебных и профессиональных практических умений.

На лабораторных занятиях задания выполняются по материалам согласно плану.

До начала лабораторных занятий обучающиеся должны пройти инструктаж по технике безопасности.

Перед выполнением лабораторной работы обучающийся должен изучить теоретический материал по теме лабораторной работы по основной и дополнительной литературе, ознакомиться с ресурсами информационно - телекоммуникационной сети «Интернет». При этом обучающийся должен учесть рекомендации преподавателя и требования учебной программы.

В ходе подготовки к лабораторным занятиям необходимо ознакомиться с методическими указаниями; с порядком ее выполнения; освоить основные понятия; изучить алгоритмы; методы и технологии, необходимые для реализации этих алгоритмов; ответить на контрольные вопросы.

После выполнения работы производится обработка полученных результатов, составляется и защищается отчет. Без защиты отчета студент, как правило, не допускается к очередной работе.

6.5 Написание рефератов

Реферат представляет собой краткое изложение в письменной форме содержания научного труда по определенной теме, возможно выходящего за рамки учебной программы, а также изложение книги, статьи, исследования. Иными словами, реферат – это индивидуальная научная работа, раскрывающая содержание исследуемой проблемы с различных позиций и точек зрения, с формированием самостоятельных выводов.

Целью написания реферата является сообщение определенной информации для развития навыков научно-исследовательской работы.

В процессе подготовки реферата, обучающиеся, глубже постигают вопросы изучаемого предмета, поскольку:

- анализируются различные точки зрения, факты и события;
- ведется научно обоснованная полемика;
- обобщается материал;
- лаконично излагаются мысли;

- правильно оформляется работа с составлением плана, библиографии и систематизацией информации.

Подготовка реферата включает в себя:

- выбор и формулирование темы, которая должна обладать новизной, актуальностью и оригинальностью;
- подбор литературы и изучение основных источников;
- составление содержания, раскрывающего название работы;
- выписки из литературных источников с целью накопления теоретического и практического материала;
- написание реферата и его оформление;
- составление списка использованной литературы.

6.6 Выполнение контрольной работы

Контрольная работа является одной из составляющих учебной деятельности студента по овладению знаниями в области теплогазоснабжения и вентиляции. К ее выполнению необходимо приступить только после изучения тем дисциплины.

Целью контрольной работы является определения качества усвоения лекционного материала и части дисциплины, предназначенной для самостоятельного изучения.

Задачи, стоящие перед студентом при подготовке и написании контрольной работы:

1. закрепление полученных ранее теоретических знаний;
2. выработка навыков самостоятельной работы;
3. выяснение подготовленности студента к будущей практической работе.

Преподаватель готовит задания либо по вариантам, либо индивидуально для каждого студента. По содержанию работа может включать теоретический материал, задачи, тесты, расчеты и т.п. выполнению контрольной работы предшествует инструктаж преподавателя.

Ключевым требованием при подготовке контрольной работы выступает творческий подход, умение обрабатывать и анализировать информацию, делать самостоятельные выводы, обосновывать целесообразность и эффективность предлагаемых рекомендаций и решений проблем, четко и логично излагать свои мысли. Подготовка контрольной работы следует начинать с повторения соответствующего раздела учебника, учебных пособий по данной теме и конспектов лекций.

6.7 Выполнение курсовой работы (проекта)

Курсовая работа (проект) - это самостоятельное исследование обучающимся определенной проблемы, комплекса взаимосвязанных вопросов, касающихся конкретной профессиональной ситуации.

Курсовая работа (проект) не должна состояться из фрагментов статей, монографий, пособий. Кроме простого изложения фактов и цитат, в курсовой работе (проекте) должно проявляться авторское видение проблемы и ее решения.

Рассмотрим основные этапы подготовки курсовой работы (проекта).

Выполнение курсовой работы (проекта) начинается с выбора темы.

Затем студент приходит на первую консультацию к руководителю, которая предусматривает:

- обсуждение цели и задач работы, основных моментов избранной темы;
- консультирование по вопросам подбора литературы;
- составление предварительного плана;
- составление графика выполнения курсовой работы (проекта).

Следующим этапом является работа с литературой. Необходимая литература подбирается студентом самостоятельно.

После подбора литературы целесообразно сделать рабочий вариант плана работы. В нем нужно выделить основные вопросы темы и параграфы, раскрывающие их содержание.

Составленный список литературы и предварительный вариант плана уточняются, согласуются на очередной консультации с руководителем.

Затем начинается следующий этап работы - изучение литературы. Только внимательно читая и конспектируя литературу, можно разобраться в основных вопросах темы и подготовиться к самостоятельному (авторскому) изложению содержания курсовой работы (проекта). Конспектируя первоисточники, необходимо отразить основную идею автора и его позицию по исследуемому вопросу, выявить проблемы и наметить задачи для дальнейшего изучения данных проблем.

Систематизация и анализ изученной литературы по проблеме исследования позволяют написать первую (теоретическую) главу.

Выполнение курсовой работы (проекта) предполагает проведение определенного исследования. На основе разработанного плана обучающийся осуществляет сбор фактического материала, необходимых цифровых данных. Затем полученные результаты подвергаются анализу, статистической, математической обработке и представляются в виде текстового описания, таблиц, графиков, диаграмм. Программа исследования и анализ полученных результатов составляют содержание второй (аналитической) главы.

В третьей (рекомендательной) части должны быть отражены мероприятия, рекомендации по рассматриваемым проблемам.

Рабочий вариант текста курсовой работы (проекта) предоставляется руководителю на проверку. На основе рабочего варианта текста руководитель вместе со студентом обсуждает возможности доработки текста, его оформление. После доработки курсовая работа (проект) сдается на кафедру для ее оценивания руководителем.

Защита курсовой работы (проекта) обучающихся проходит в сроки, установленные графиком учебного процесса.

При подготовке к защите курсовой работы (проекта) обучающийся должен знать основные положения работы, выявленные проблемы и мероприятия по их устранению, перспективы развития рассматриваемой экономической ситуации.

Защита курсовой работы (проекта) проводится на кафедре при наличии у обучающегося курсовой работы (проекта). Оценка - дифференцирована. Преподаватель оценивает защиту курсовой работы (проекта) и заполняет графу "оценка" в ведомости и в зачетной книжке.

Не допускаются к защите варианты курсовых работ (проектов), найденные в Интернет, сканированные варианты учебников и учебных пособий, а также копии ранее написанных работ.

6.8 Выполнение расчетно-графической работы

Расчетно-графическая работа является важным элементом учебного процесса, предусмотрена учебным планом.

Цель расчетно-графической работы – систематизация и закрепление теоретических знаний, и развитие практических навыков по решению задач в области теплогазоснабжения и вентиляции, выработка навыков анализа данных и формулирования выводов по полученным результатам.

Задачами расчетно-графической работы являются:

- развитие навыков самостоятельной работы в области решения практических задач;
- подбор и систематизация теоретического материала, являющегося основой для решения практической задачи, развитие навыков самостоятельной работы с учебной и методической литературой;
- проведение расчетов показателей по исходным данным и анализ полученных значений;
- формулирование выводов по полученным результатам.

Выполнение расчетно-графической работы проводится студентом по конкретному варианту задания, который необходимо уточнить у преподавателя.

Содержанием расчетно-графической работы является краткое изложение теоретического материала к каждой задаче, решение задачи по индивидуальному варианту, включающее в себя расчет основных показателей, анализ полученных результатов, формулирование выводов.

Расчетно-графическая работа должна содержать:

1. Титульный лист.
2. Условие задачи.
3. Теоретическая часть по каждой задаче (1-3 страницы).
4. Практическая часть и выводы по каждой задаче.
5. Библиографический список (не менее 5 источников).

Условие задачи оформляется по центру заголовком «Задача №».

Текст условия задачи должен совпадать с текстом в методических указаниях, включая таблицы, при их наличии.

Далее излагается теоретический материал, лежащий в основе решения задачи, включающий в себя основные определения, формулы расчетов показателей и др.

В практической части излагается подробное решение задачи. При необходимости результаты оформляются в виде сводной таблицы.

К каждой задаче необходимо сформулировать выводы, проанализировав полученные результаты.

Расчетно-графическая работа должна выполняться в соответствии с установленным графиком. В процессе выполнения расчетно-графической работы допускаются консультации у преподавателя на практических занятиях.

Выполнение основных этапов контролируется преподавателем и учитывается при проведении текущего контроля по дисциплине и при оценке расчетно-графической работы.

6.9 Подготовка исследовательской работы (написание статьи, научного доклада)

Научный доклад представляет собой исследование по конкретной проблеме, изложенное перед аудиторией слушателей. Работа по подготовке научного доклада включает не только знакомство с литературой по избранной тематике, но и самостоятельное изучение определенных вопросов.

Научный доклад может быть подготовлен для выступления на семинарском занятии, конференции научного общества, или в рамках круглого стола. В любом случае успешное выступление во многом зависит от правильной организации самого процесса подготовки научного доклада.

Подготовка научного доклада включает несколько этапов работы:

- выбор темы доклада;
- подготовка материалов;
- работа над текстом доклада;
- подготовка к выступлению.

Подготовка к научному докладу начинается с выбора темы Вашего будущего выступления.

Не следует выбирать слишком широкую тему научного доклада. Это связано с ограниченностью докладчика во времени. Доклад должен быть рассчитан на 7-15 минут.

Работа по подбору материалов для доклада связана с изучением соответствующей тематике литературы.

В процессе работы над текстом доклада обучающиеся глубже постигают вопросы изучаемого предмета, поскольку:

- анализируются различные точки зрения, факты и события; ведется научно обоснованная полемика;
- обобщается материал; лаконично излагаются мысли;
- правильно оформляется работа с составлением плана, библиографии и систематизацией информации.

Текст научного доклада должен включать три основные части:

- введение – краткое знакомство слушателей с обсуждаемой в докладе проблемой;
- основную часть – логическое продолжение вопросов, обозначенных автором во введении. В этой части доклада раскрывается тема выступления, приводятся необходимые доказательства (аргументы);

- заключение – обобщение основной мысли и идеи выступления. В заключении можно кратко повторить основные выводы и утверждения, прозвучавшие в основной части доклада.

Научный доклад представляет собой устное произведение и чтение вслух подготовленного текста недопустимо.

К секретам хорошего выступления можно отнести следующие моменты:

- до и после важных мыслей следует делать паузу;
- для большего акцента сказанного необходимо менять тон голоса и тембр речи. Это делает Вашу речь более выразительной;
- необходимо иметь контакт с аудиторией.

6.10 Подготовка выпускной квалификационной работы

ВКР представляет собой самостоятельное логически завершенное исследование, связанное с решением научной или научно-практической задачи. При его выполнении студент должен показать способности и умения, опираясь на полученные знания, решать на современном уровне задачи профессиональной деятельности, грамотно излагать специальную информацию, докладывать и отстаивать свою точку зрения перед аудиторией.

Цель защиты ВКР – установление уровня подготовленности выпускника к выполнению профессиональных задач в соответствии с требованиями ФГОС ВО к квалификационной характеристике и уровню подготовки выпускника по направлению подготовки 08.03.01 Строительство (уровень бакалавриата), направленность (профиль) Теплогазоснабжение и вентиляция.

Студенту предоставляется право самостоятельного выбора темы ВКР. Для подготовки ВКР назначается научный руководитель и, при необходимости, консультанты.

ВКР состоит из текста (рукописи) и графических материалов, отражающих решение профессиональных задач в соответствии с избранной тематикой. Структура ВКР включает:

- титульный лист;
- задание, включая календарный план;
- содержание;
- введение;
- основной текст;
- заключение;
- список использованных источников;
- приложения.

Руководитель выпускной работы выдает задание; оказывает помощь в организации и выполнении работы; проводит систематические консультации обучающегося; проверяет выполнение работы; дает письменный отзыв о работе.

Представление иллюстративного материала к публичной защите возможно в виде:

- плакатов и чертежей;
- раздаточного материала с иллюстрациями; с использованием:
- проекционной техники;
- компьютерной презентации.

Конкретные требования к содержанию, структуре, формам представления и объемам устанавливаются в соответствующих Положениях о выпускных квалификационных работах и методических указаниях по их подготовке и оформлению.

6.11 Подготовка к текущей и промежуточной аттестации

Система контроля включает в себя текущий и промежуточный контроль. Текущий контроль должен быть непрерывным. Формы текущего контроля устанавливаются по усмотрению преподавателя. Промежуточный контроль – это итог работы студента за семестр с учетом всех видов учебной работы.

Текущий контроль. Текущий контроль успеваемости обучающихся – это систематическая проверка учебных достижений обучающихся, проводимая в целях оценивания хода освоения дисциплин в соответствии с рабочей программой.

Текущий контроль успеваемости студентов очной формы обучения проводится по всем дисциплинам учебного плана в течение семестра:

- на лабораторных, семинарских, практических занятиях, по которым рабочими программами дисциплин предусмотрены отчетности;

- по всем формам самостоятельной работы студентов в заранее установленное время.

Текущий контроль успеваемости студентов осуществляется преподавателями кафедр, за которыми закреплены дисциплины учебного плана, и может проводиться в следующих формах:

- собеседование,
- контрольная работа,
- защита лабораторной работы,
- реферата,
- расчетно-графическая работа, и др.

Виды и сроки проведения текущего контроля успеваемости студентов устанавливаются рабочей программой дисциплины.

Текущий контроль успеваемости является элементом внутривузовской системы контроля качества подготовки обучающихся и способствует активизации познавательной деятельности студентов в ходе аудиторных занятий, при выполнении программ самостоятельной и индивидуальной работы.

Текущий контроль успеваемости должен учитывать выполнение обучающимися всех видов учебных занятий, предусмотренных учебным планом и рабочей программой дисциплины, самостоятельную, исследовательскую работу и посещаемость учебных занятий.

Анализ результатов текущего контроля студентов, обучающихся на основе рейтинговой оценки знаний, проводится 2 раза в семестр:

- в первом полугодии - на 1 ноября, на 10 декабря;
- во втором полугодии - на 1 апреля, на 20 мая.

Анализ результатов текущего контроля студентов, не участвующих в рейтинговой системе оценки знаний, проводится в институтах: к указанным выше датам итоги текущего контроля и количество пропущенных занятий (в часах) преподаватели, ведущие занятия, проставляют в листы текущего контроля успеваемости, которые анализируются и хранятся в институтах.

Промежуточная аттестация. Промежуточная аттестация призвана оценить уровень сформированности компетенций, полученных студентами в процессе изучения дисциплины, курсового проектирования и обеспечить контроль качества освоения образовательных программ.

Промежуточная аттестация проводится по завершении изучения какой - либо дисциплины.

Формами промежуточной аттестации являются зачет и экзамен.

При явке на промежуточную аттестацию обучающийся обязан предъявить зачетную книжку. Фамилия обучающегося должна значиться в зачетно-экзаменационной ведомости.

Зачеты студентам по изучаемым дисциплинам выставляются преподавателем, проводившим практические, семинарские или лабораторные занятия группы (подгруппы), на последнем занятии по результатам работы в семестре. Для студентов, обучающихся на основе рейтинговой системы оценки знаний, зачет выставляется автоматически при условии сдачи всех контрольных мероприятий, предусмотренных текущим контролем успеваемости.

6.12 Подготовка к государственной итоговой аттестации

В соответствии с образовательным стандартом по направлению подготовки 08.03.01 Строительство (уровень бакалавриата) и образовательной программой по направлению подготовки 08.03.01 Строительство, в состав государственной итоговой аттестации входят:

- государственный экзамен;
- защита выпускной квалификационной работы.

Подготовка к государственному экзамену

Цель государственного экзамена – оценить глубину полученных знаний, практические навыки применения этих знаний при решении профессиональных задач (компетентность).

В связи с необходимостью объективной оценки степени сформированности компетенций выпускника, тематика экзаменационных вопросов и заданий должна быть комплексной и соответствовать избранным разделам из различных учебных дисциплин, формирующих конкретные компетенции.

Например, в экзаменационное задание (вопрос) могут входить элементы нескольких дисциплин (модулей) общенаучного, и профессионального циклов.

На государственном экзамене могут контролироваться как отдельные компетенции, так и элементы различных компетенций.

Государственный экзамен может проводиться в письменной, устной и смешанной форме. Экзаменационные билеты включают несколько вопросов из представленного перечня дисциплин. Один из вопросов рекомендуется делать комплексным, ситуационным или представляющим задание практического характера. Перед итоговым экзаменом предполагается предэкзаменационная консультация и выделение времени на подготовку к экзамену не менее 7 дней. Для подготовки студентов к государственному экзамену разрабатывается программа, где должна быть отражена процедура подготовки и проведения государственного экзамена, критерии оценки.

В содержание программы включается перечень вопросов и заданий, выносимых на экзамен, и позволяющих оценить результаты обучения.

Подготовка к защите ВКР

Выпускная квалификационная работа (ВКР) представляет собой самостоятельную и логически завершенную выпускную квалификационную работу, связанную с решением задач того вида (видов) деятельности, к которым готовится студент (научно-исследовательской, научно-педагогической, проектной, технологической, исполнительской, творческой, организаторской и другим).

Выпускник должен не только подготовить ВКР, но и уметь защитить ее на итоговой государственной аттестации.

При подготовке к защите необходимо:

- повторить основные требования руководящих документов на текущий год по теме ВКР;
- подготовить все графические иллюстрации; составить доклад для устного изложения;
- изучить отзыв и рецензию на ВКР, подготовить ответы на замечания рецензента и окончательно уточнить свой доклад;
- ознакомиться с новыми руководящими документами и литературой по вопросам ВКР, а также с последними изменениями по вопросам теплогазоснабжения и вентиляции;
- провести предварительную защиту.

Демонстрационные материалы представляются по согласованию с руководителем.

Подготовка выпускником доклада по выполненной ВКР является важным этапом подготовки к защите. К подготовке доклада приступают после оформления пояснительной записки (текстуальной части) ВКР, запланированных в задании графических документов и разработки иллюстративного материала.

По времени доклад должен занимать 10...12 минут. За это время можно изложить 5...8 страниц машинописного текста доклада.

В докладе отражается: актуальность темы работы; теоретические положения, на которых базируется ВКР; результаты проведенного анализа изучаемой проблемы; конкретные предложения по деятельности соответствующих органов; дается разъяснение и убедительное обоснование положений и выводов по этим вопросам, исходя из полученных результатов. Особое внимание необходимо сосредоточить на собственных разработках и предложениях.

Доклад при защите ВКР может быть построен по следующей схеме: вначале излагается наименование темы, актуальность, раскрывается цель и задачи исследования, затем в необходимой логической последовательности докладывается содержание важнейших узловых вопросов темы и делается заключение. При изложении основного содержания ВКР следует показать постановку задач на исследование заданных вопросов, методику решения поставленных задач,

основные результаты и выводы, к которым пришел выпускник в ходе выполнения выпускной квалификационной работы.

Основные выводы и предложения обосновываются необходимыми расчетами и примерами из практики.

В заключительной части доклада указывается, как достигнуты цели ВКР, что сделано и разработано, что нового выпускник предложил в результате выполнения ВКР, основные результаты работы и где они могут быть использованы.

Доклад строят с учетом графического материала (Чертежи, схемы, диаграммы и т.д.). Текст доклада согласовывается с руководителем.

Написанный доклад представляется руководителю для просмотра.

Текст доклада отрабатывают таким образом, чтобы его можно было излагать на память. Чтение доклада нежелательно, оно может привести к снижению оценки выпускной квалификационной работы.

7. Критерии оценки самостоятельной работы

Компетенции (знания, умения и навыки) студентов оцениваются оценками:

- «отлично»;
- «хорошо»;
- «удовлетворительно»;
- «неудовлетворительно»;
- «зачтено»;
- «не зачтено».

Зачеты оцениваются отметкой: «зачтено», «не зачтено».

Зачеты с оценкой оцениваются по пятибалльной системе: «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» и «неудовлетворительно».

По курсовым работам (проектам) в обязательном порядке выставляется зачет с оценкой.

Экзамены оцениваются по пятибалльной системе: «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» и «неудовлетворительно».

Основные критерии оценивания компетенций:

Отметка «зачтено» ставится студентам, успешно обучающимся по данной дисциплине в семестре и не имеющим задолженностей по результатам текущего контроля успеваемости.

Отметка «не зачтено» ставится студенту, имеющему задолженности по результатам текущего контроля успеваемости по данной дисциплине.

Оценка «отлично» выставляется студенту, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, свободно справляется с задачами, вопросами и другими видами применения знаний, причем не затрудняется с ответом при видоизменении заданий, использует в ответе материал монографической литературы, правильно обосновывает принятое решение, владеет разносторонними навыками и приемами выполнения практических задач.

Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос, правильно применяет теоретические положения при решении практических вопросов и задач, владеет необходимыми навыками и приемами их выполнения.

Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, испытывает затруднения при выполнении практических работ.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки, неуверенно, с большими затруднениями выполняет практические работы. Отметка «неудовлетворительно» выставляется также, если обучающийся после начала экзамена отказался его сдавать.

Оценка «неудовлетворительно» проставляется только в экзаменационную ведомость, в зачетную книжку студента проставлять отметку «неудовлетворительно» не разрешается.

Критерии оценки уровня обученности и уровня сформированности компетенций по дисциплине устанавливает кафедра и отражает их в рабочей программе и фондах оценочных средств дисциплины.

Ответственность за единообразие требований, предъявляемых на экзаменах, несет заведующий кафедрой. По дисциплинам, изучаемым в течение двух и более семестров, итоговой оценкой является оценка, полученная на последнем экзамене.

Заключение

Самостоятельная работа всегда завершается какими-либо результатами. Таким образом, широкое использование методов самостоятельной работы, побуждающих к мыслительной и практической деятельности, развивает столь важные интеллектуальные качества человека, обеспечивающие в дальнейшем его стремление к постоянному овладению знаниями и применению их на практике.