Мулдашев М.А., доцент

Сарсенов А.Е., ст. преп.

Окас К.К., ст. преп.

Рецензент: Джаналиев Е.М., канд.техн. наук, и.о. доцент

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

к выполнению лабораторных работ

по дисциплине «*Термодинамика и теплотехника*»

для студентов специальности 5В070800-«Нефтегазовое дело», очного и заочного обучения

Обсуждены на заседании кафедры «Механизированные технологии и землеустройство» «12» декабря 2012 г., протокол № 5

Рекомендованы учебно-методическим бюро политехнического

факультета « » \_\_\_\_\_\_\_ 2012 г., протокол № \_\_

Одобрены УМС университета « » \_\_\_\_\_\_\_ 2012 г., протокол № \_\_

Рассмотрены основные разделы термодинамики и теплотехники. Приведены метод определение объёмной изобарной теплоёмкости воздуха, а также коэффициентов: теплопередачи, теплопроводности, излучения, теплоотдачи различных материалов. Устройство, работа и порядок исследования холодильной машины.

Методическое указание позволить обучающимся расширить, углубить и закрепить знания студентов по наиболее важным разделам курса, прививают умение самостоятельно работать над литературой и справочными материалами, дают возможность к пониманию всех особенностей основных законов термодинамики и теплотехники.

**© РГП «Западно-Казахстанский аграрно-технический**

**университет им. Жангир хана», 2013**

**Содержание**

|  |  |
| --- | --- |
|  | стр. |
| Введение | 3 |
| Лабораторная работа 1. «Определение объёмной изобарной теплоёмкости воздуха» | 4 |
| Лабораторная работа 2. «Изучение устройства, работы и исследование холодильной машины» | 9 |
| Лабораторная работа 3. «Определение коэффициента теплопередачи водо- водяного подогревателя» | 21 |
| Лабораторная работа 4. «Определение коэффициента теплопроводности сыпучих материалов» | 29 |
| Лабораторная работа 5. «Определение коэффициента излучения твёрдого тела» | 35 |
| Лабораторная работа 6. «Определение коэффициента теплоотдачи при свободном движении воздуха» | 42 |
| Заключение | 47 |
| Литература | 47 |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |

**Введение**

Методические указания составлены в соответствии с программой курса для специальности 5В070800- «Нефтегазовое дело» (очная и заочная формы обучения).

В настоящее время тепловые установки получили широкое рапространение в различных отраслях народного хозяйства, что знакомство с их работой и знание основных законов термодинамики и теплотехники обязательны для обучающихся по данной специальности.

Эти установки составляют основную часть технического, технологического оборудования используемые при добыче, переработке и транспортировке углеводородов, и от их надежной, безотказной работы в значительной мере зависят производительность и качество производимой продукции.

К тепловым установкам относятся: все тепловые двигатели, паровых и газовых турбин, реактивные и ракетные двигатели, двигатели внутреннего сгорания, а также всевозможные технологические оборудования, компрессорных машин, сушильных и холодильных установок и т.д.

Широкое применение и эксплуатация тепловых установок во всех отраслях промышленности, в том числе и в области нефти и газа требует от будущего специалиста знаний не только по устройству и работе, но и законов движения газа и пара, а также их свойств в процессах получения, преобразования и передачи теплоты.

Лабораторные занятия по термодинамике и теплотехнике позволяют расширить, углубить и закрепить знания студентов по наиболее важным разделам курса, прививают умение самостоятельно работать над литературой и справочными материалами, дают возможность к пониманию всех особенностей основных законов термодинамики и теплотехники.

**Лабораторная работа №1.** Определение объёмной изобарной теплоёмкости воздуха (2 час.)

**Цель работы:** Экспериментальное определение объёмной изобарной теплоёмкости воздуха С/p [кДж(м3∙К)] и сравнение полученного результата с табличными значениями объёмной изобарных теплоёмкостей, а также определений показателя адиабаты, изменения энтальпии и внутренней энергии воздуха.

**1.1 Общие сведения**

Теплоёмкость – количество тепла, необходимое для нагревания вещества на один градус.

 (1.1)

Удельная теплоёмкость – количества тепла, необходимого для нагревания единицы количества вещества на один градус.

В зависимости от способа задания количества вещества различают следующие удельные теплоёмкости: c – массовую [Дж/кг∙К], с/ - объёмную [Дж/м3∙К] и µc- мольную [Дж/моль∙К].

Теплоемкость газов зависит от его температуры. По этому признаку различают истинную и среднюю теплоёмкость. Одному значению истинной теплоёмкости соответствует только единственное значение температуры, средняя теплоёмкость соответствует интервалу температур. Если говорят, что для нагревания вещества от 99 до 100 градусов необходимо 200 кДж. Эта величина характеризует истинную теплоёмкость. В технических расчётах чаще всего используют среднюю теплоёмкость. Например, практически во всех расчётах теплоёмкость воды в интервале 273…373К или 0….1000С принимают равной 4,19 кДж/кг∙К.

 (1.2)

Удельная теплоёмкость зависит от процесса изменения состояния газа и температуры, поэтому признаку различают изобарную-Ср и изохорную- Сv теплоёмкость. Разность их в том, что по сравнению с изохорным в изобарном процессе тепло расходуется не только на изменение внутренней энергии, но и на совершение внешней работы. Разность изобарной и изохорной теплоемкостей получило название которое называется уравнение Майера:

Ср – Сv = R; [Дж/кг∙К] (1.3)

Газовая постоянная - R, численно равна работе расширения 1кг, газа в изобарном процессе при повышении ее температуры на один градус.

В расчетах газовых процессов часто используется показатель адиабаты - k. Это отношение изобарной теплоёмкости к изохорной

 (1.4)

Из уравнения Майера можно получить соотношение для теплоёмкостей:

СV= ; (1.5)

CP =  (1.6)

Теплоёмкость газов зависит от температуры, давления, атомности и других физических свойств газа. Она характеризует изменение энтальпии и внутренней энергии газов.

dh = CP·dT; (1.7)

du = CV∙dT; (1.8)

**1.2 Описание экспериментальной установки**

Схема экспериментальной установки представлена на (рис. 1.1). Вентилятор 1 нагнетает воздух в металлическую трубу 2, в которой установлен электронагреватель 7. Мощность нагревателя изменяют реостатом 4 и определяют с учетом показаний амперметра 6 и вольтметра 5. Термометры 3 и 8 показывают температуру воздуха до и после нагрева. Для замера расхода воздуха использовано устройство состоящее из дроссельной шайбы 9 тягонапораметра 10, которым замеряют динамический напор расхода воздуха.

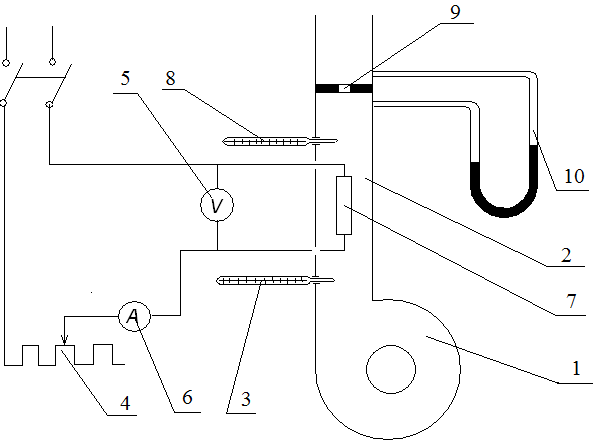


Рисунок 1.1 Схема экспериментальной установки:

вентилятор; 2- направляющая труба; 3- термометр; 4- реостат;

5-вольтметр; 6- амперметр; 7- электронагреватель; 8- термометр;

9- дроссельная шайба; 10- тягонапоромер.

**1.3 Порядок выполнения работы**

Включают вентилятор, а затем нагреватель, установив реостатом минимальный ток в цепи нагревателя. После достижения стационарного режима, о котором свидетельствуют установившиеся показания термометра 7, фиксируя показания измеряющих устройств и приборов и заносят в табл. 1.1.

Таблица 1.1-Экспериментальные значения

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| №  п/п | U; B. | I; A. | Hт. | T1; K. | T2; K. |
| 1 |  |  |  |  |  |
| 2 |  |  |  |  |  |
| 3 |  |  |  |  |  |

Показание приборов контролируют несколько раз и через равные промежутки времени. Проводят три опыта при трёх различных состояния реостата, обеспечивающих минимальным, средним и максимальными токами в цепи нагревателя.

**1.4 Обработка экспериментальных данных**

Определение объёмной изобарной теплоёмкости воздуха осуществляется методом его нагрева при движении в канале постоянного сечения и неменяющемся давлении.

Мощность теплового потока от нагревателя определяется по следующей формуле:

N= I ∙U; [Вт] (1.9)

Количества тепла, аккумулированного воздухом, в секунду, находят из выражения:

N' = Vнор·С'р (Т2 – Т1); [Вт] (1.10)

где Vнор– нормальный объёмный расход воздуха, приведенный к нормальным условиям [м3/с]

Т1 и Т2 – абсолютная температура воздуха до и после нагрева, [К]. Поскольку в 1м3 воздуха в зависимости от температуры и давления может содержаться различное по массе количество газа, объёмную теплоёмкость определяют для 1 м3 воздуха при нормальных условиях т.е. Рн = 760 мм.рт.ст., и Тн = 273К

Секундный расход воздуха, приведенный к нормальным условиям, определяют по формуле:

Vнор = 0.25Пd2∙ (1.11)

где d = 4∙10-2 м – диаметр шайбы;

= 0,67 – опытный коэффициент;

 = 1,293  - плотность воздуха;

Н – динамический напор, мм.вод.ст.

Если в тягонапорометре в количестве рабочей жидкости используется вода, а не спирт, то H-определяют по формуле

Η =  (1.12)

где НТ– показания тягонапорометра.

Решая совместно уравнения (1.9), (1.10), и (1.11) получим



или

 (1.13)

Полученные данные сравнить с табличными (смотреть приложение).

Определение показателя адиабаты для воздуха в идеально газовом состоянии проводят по формуле

 (1.14)

где R=287 [Дж/кг∙К] для воздуха, и сравнить полученное значение с табличными. Для задаваемого интервала температур, значение равняется k=1,4.

Массовую теплоёмкость Ср находят из выражения

 (1.15)

где для воздуха  =28,97 

Для определения энтальпии воздуха при температуре Т2 допускают, что найденное значение СР – среднего для интервала температур 273…Т2 ,к энтальпии при абсолютной температуре 273 К

h= CР∙T2; [кДж/кг] (1.16)

Полученное значение энтальпии сравнить с табличными данными. В интервале абсолютных температур 273…373К энтальпия воздуха изменяется от 0 …1000 кДж/кг.

Необходимое сравнение значения находят интерполяцией.

Внутреннюю энергию воздуха при заданных условиях находят по выражению:

u= Сv∙∆T =(CP – R)T; [кДж/кг] (1.17)

и сравнивают с табличным, которая в интервале абсолютных температур 273…373 К изменяется от 0 до 71.9 кДж/кг.

Все расчетные данные ввести в табл.1.2.

Таблица 1.2- Расчетные и табличные значения

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | | k | | h; | | εСр | |
| Расчёт | Табл. | Расчёт | Табл. | Расчет | Табл. | Расчёт | Табл. |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |

**1.5 Оценка погрешности эксперимента**

Определяемую относительную погрешность находят из

выражения:

 (1.18)

где ΔI, ΔU, ΔT, ΔH-абсолютные погрешности измеряемых величин.

У приборов, имеющих шкалу, абсолютная погрешность равна половине цене деления.

**1.6 Требования к отчёту по лабораторной работе**

Отчёт оформляется на листах формата А4 с титульным листом, в отчёт входит:

1.6.1 Название лабораторной работы

1.6.2 Цель работы

1.6.3 Схема экспериментальнойустановки и её описания

1.6.4 Порядок проведения работы

1.6.5 Обработка экспериментальных данных

1.6.6 Таблица экспериментальных расчётных значений

1.6.7 Выводы

Все промежуточные расчёты в отчёт не заносятся.

**1.7 Основные требования техники безопасности.**

Основные требования техники безопасности при выполнении лабораторной работы заключается в следующем:

1.7.1 Перед началом работы:

- проверить изоляцию и надёжность креплений токоведущих проводников;

- убедиться в отсутствии посторонних предметов в крыльчатке вентилятора;

- проверить надёжность крепления термометров в отверстиях трубы

1.7.2 В период работы:

-нельзя нажимать кнопку пускового устройства случайными предметами;

- не допускать попадания с воздухом в заборное окно вентилятора посторонних предметов и частей одежды;

1.7.3 При обнаружении неисправности установки прекратить работу и доложить преподавателю.

1.7.4 После работы:

- отключить все токоведущие установки:

- установить реостат на положение, обеспечивающее при последующем пуске минимальный ток в нагревателе.

**Контрольные вопросы:**

1. Дать определение удельной теплоемкости?

2. Определение обьемной и молярной теплоемкости?

3. Чем различаются теплоемкости идеальных и реальных газов?

4. Что такое теплоемкость при постоянном обьеме и теплоемкость при постоянном давлении?

5. Почему теплоемкость газа при постоянном давлении всегда больше теплоемкости при постоянном обьеме?

**Литература:**

1. Баскаков А.П. Теплотехника / А.П. Баскаков, Б.В. Берг, О.К. Витт.- М.: Энергоатомиздат, 1992.- 224 с.

2. Драганов Б.Х. Теплотехника и применение теплоты в сельском хозяйстве / Б.Х. Драганов, А.В.Кузнецов, С.П. Рудобашта – М.: Агропромиздат, 1990.-463 с.

3. Лариков Н.Н. Общая теплотехника / Н.Н. Лариков. – М.: Стройиздат, 1975.-559 с.

4. Нащокин В.В. Техническая термодинамика и теплопередача / В.В. Нащокин. - М.: Высшая школа, 1975.- 496 с.

**Лабораторная работа №2.** Изучение устройства, работы и исследование холодильной машины (1 час)

**Цель работы:** Проведения испытания фреоновой холодильной машины. Исследование цикла этой машины. Определения её холодопроизводительности и холодильного коэффициента. Изучение устройства и работы.

**2.1 Общие сведения**

2.1.1 Холодильные машины

Холодильные машины служат для понижения температуры охлаждающего тела ниже температуры окружающей среды и поддержание данной температуры в течении необходимого времени.

Тепло, отводимое от тела при его охлаждении, не может само переходить в окружающую среду, имеющую более высокую температуру. Для отвода тепла необходимо затратить энергию извне, которая расходуется на работу холодильных машин.

В процессе работы холодильных машин тепло, отводимое от охлаждаемого тела, воспринимается рабочим веществом холодильного агрегата (хладагентом), находящийся в холодильной установке. Низкая температура хладагента получается за счёт его испарения (кипения) при давлении и температуре окружающей среды.

Теплота от вещества, хранящего в холодильной камере, передаётся к испарителю и с помощью хладагента отводится от него.

Для осуществления такой передачи тепла в системе холодильной машины, должно быть обеспечена соответствующая циркуляция хладагента, изменяющего своё агрегатное состояние в процессе кругового цикла.

Холодильные машины изготавливаются различной холодопроизводительности. Холодопроизводительность машин, т.е. охлаждающая способность, определяется количеством тепла которое она в состоянии отнять от охлаждающей среды в течении часа и измеряется [кДж/час].

Холодопроизводительность машин в зависимости от температурных условий работы может изменятся в больших пределах. Особенно большое влияние оказывает температура испарения и конденсация хладагента. Так с понижением температуры испарения и повышением температуры конденсации холодопроизводительность машин резко уменьшается.

Для сравнительной оценки холодопроизводительности холодильных машин, приняты определенные стандартные условия их работы, определяемые заданными температурами испарения и конденсации хладагента: температура испарения (- 15 0С), температура конденсации 30 0С.

Холодильные машины, применяемых в качестве домашних холодильников, в зависимости от типа и ёмкости холодильной камеры шкафа имеют холодопроизводительность до 840 кДж/час.

Современные холодильные установки, как правило, снабжается холодильными машинами компрессионного типа.

Компрессионные холодильные машины в зависимости от расположения электродвигателя и компрессора бывают открытого и закрытого типа.

В холодильной машине открытого типа электродвигатель и компрессор установлены радиально. Коленчатый вал компрессора приводится во вращение через ременную передачу. Такие машины в настоящее время применяются в промышленных установках. В домашних холодильниках применяется преимущественно герметические агрегаты закрытого типа, имеющие ряд преимуществ по сравнению с холодильными машинами открытого типа.

Принципиальным отличием герметического агрегата является совместное расположение двигателя и компрессора в общем герметическом закрытом кожухе. В целях надежности герметизации системы, холодильные агрегаты закрытого типа не имеют разборных соединений.

Все сопряжения трубопроводов и отдельных узлов выполнены сваркой или пайкой, отсутствуют сальники, через которые возможна утечка хладагента в процессе эксплуатации. Герметические агрегаты более компактны.

Расположение компрессора и электродвигателя в заднем кожухе и отсутствии между ними промежуточной передачи способствует значительному уменьшению шума при работе. В герметических агрегатах хладагент, а также масло, необходимое для смазки трущихся частей компрессора надежно сохраняются в течении всего многолетнего срока службы холодильника.

2.1.2 Холодильные агенты

В качестве холодильных агентов применяют жидкости, кипящие при низких (минусовых) температурах и удовлетворяющие определенным физическим и термическим требованиям.

При выборе холодильного агента учитывается его воздействие на организм человека, воспламеняемость, взрывоопасность, и другие физико-химические факторы.

Предпочтительно иметь холодильный агент, обладающий небольшими давлениями испарения и конденсации, низкую температуру замерзания, малой теплоёмкости и высоким коэффициентом теплопередачи.

В холодильных машинах компрессорного типа, широкое распространение получил «фреон-12»; представляющий собой холодный бесцветный газ с очень слабым специфическим запахом. Удельный вес жидкости «фреон-12» при 0 0С равен 1.39 кг/л.

Температура кипения жидкости фреон при атмосферном давлении равна (– 29.8 0С). Температура замерзания (– 155 0С) .

По своим свойствам «фреон-12» является одним из наиболее безвредных для организма человека хладагентов, однако в случае попадания фреона на кожу, он может вызвать обморожение, а на глаза – повредит зрение.

Присутствии влаги в «фреоне-12» вызывает коррозию метала. Вода во «фреоне» почти не растворяется, в следствии чего наличие самого незначительного количества воды во фреоне приводит к серьезным нарушениям работы холодильной машины. В герметических холодильниках применяется «фреон-12» с содержанием влаги не более 0.0006% по весу.

В целях полного удаления влаги из системы холодильного агрегата все узлы его в процессе изготовлении тщательно высушиваются, а во внутрь системы вводятся специальные поглотители влаги.

Фреон легко проникает через маленькие неплотности и даже поры отлитых чугунных отливок, поэтому к герметичности агрегата предъявляются особые требования.

**2.2 Описание экспериментальной установки (холодильный**

**агрегат)**

Общее устройство и принцип действия экспериментальной установки приведено на (рис.2.1).

Холодильный агрегат герметичный, компрессионный. Система холодильного агрегата заполнена хладагентом «фреон– 12».

Холодильный агрегат работает следующим образом: компрессор 1 засасывает пары фреона из кожуха компрессора, сжимает их по адиабате 1–2 (рис.2.2) и нагнетает в конденсатор 4 (рис.2.1). В конденсаторе пары фреона охлаждаются и превращаются в жидкий фреон процесс 2–3-4 (рис.2.2), который проходит через капиллярную трубку 7 (рис.2.1) расширяется процесс 4–5 (рис.2.2). При этом его температура и давление падают до давления и температуры окружающей среды и он кипит в испарителе 5 процесс 5–1 (рис.2.2). Затем пары фреона вновь поступают в компрессор и цикл повторяется.

Температурный режим в камере регулируется датчиком – реле температуры. Привод компрессора осуществляется электродвигателем, который находится в одном корпусе с компрессором.

Электродвигатель включается пусковым реле, в одном корпусе с которым смонтировано тепловое реле, предназначенное для защиты электродвигателя от перегрузок.

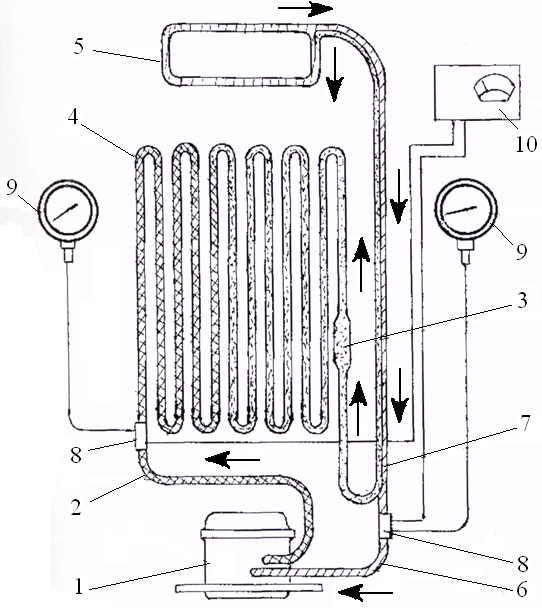


Рисунок 2.1 Схема работы холодильного агрегата:

1-компрессор; 2- змеевик нагнетания;3-фильтр осушения; 4-конденсатор; 5-испаритель; 6- отсасывающая трубка; 7-капиллярная трубка;8- термопара;9-манометр; 10-потенциометр.

Условные обозначения:

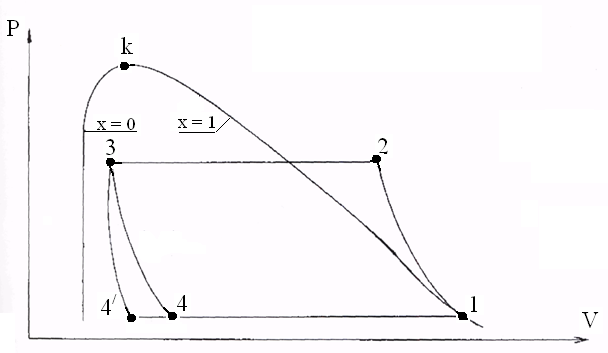
- Парожидкостная смесь низкого давления;

- Пары фреона низкого давления;

- Пары фреона высокого давления;

- Жидкий фреон.





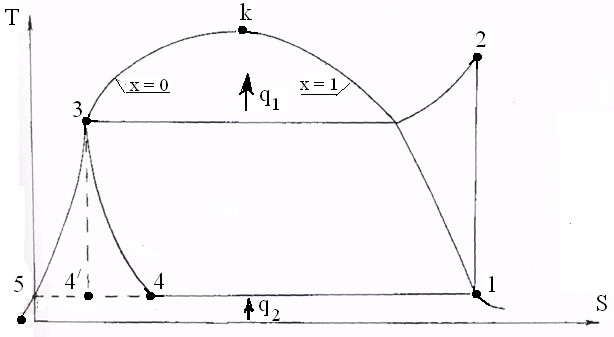


Рисунок 2.2 Pv и Ts диаграммы цикла холодильной машины компрессионного типа

2.2.1 Бытовая холодильная установка «Памир – 4»

Техническая характеристика холодильника:

Замораживатель (испаритель) – 15,5 л.

Терморегулятор плавной регулировки десятирежимный.

Гарантируемые температуры при плюс 200 ºС окружающей среды из режима «Нормально» в камере не выше – 1,5 ºС в замораживателе не выше – 10 ºС .

Холодильный агрегат герметичный компрессионного типа.

Холодопроизводительность не менее 419 кДж/час.

Холодильный агент «Фреон-12» в количестве 300 грамм.

Компрессор поршневой одноцилиндровый.

Конденсатор воздушного охлаждения общей поверхностью конвективного теплообменника 1,4 м2 .

Испаритель штампованный, сварной.

Дросселирующее устройство в агрегате капилярная трубка.

Электродвигатель переменного тока 50 Гц, синхронный, однофазный, тип двигателя ДСМ - 127 В и тип двигателя ДХМ –5 –220 В.

Средний расход электроэнергии при нормальной эксплуатации при 20 ºС окружающей среды не более 1,2 кВт/час в сутки.

Номинальная мощность двигателя - 93 Вт;

Число оборотов вала двигателя 1430 об/мин.

Вес холодильника – 54 кг.

**2.3 Порядок выполнения работы**

Ознакомившись с расположением приборов на стенде, включить электродвигатель компрессора и по показаниям приборов наблюдать достижение установившегося режима работы машины.

Опыт можно начинать после того, как давление и температура холодильного агента после компрессора будут в течении 8–10 мин оставаться постоянными.

В течении опыта через равные промежутки времени 3–4 мин вести запись показаний всех приборов, измеряющих температуру и давление холодильного агента и заметить показание счетчика, по которому определяется мощность электродвигателя.

По результатам опыта построить цикл холодильной машины в Рv и Тs координатах (см. рис.2.2), используя при этом показания приборов в частности давления фреона в нагнетательной и всасывающей магистралях и данные табл.2.1.

**2.4 Обработка экспериментальных данных**

Для определения удельных объемов и энтропии в зависимости от давления фреона-12.Эти данные необходимы для построения нижней и верхней пограничной кривой паров фреона-12 и построения цикла холодильной машины.

При этом необходимо помнить, что значения v,s',h' принадлежат нижней пограничной кривой, а значения v,s",h, принадлежат верхней пограничной кривой.

Используя диаграмму следует рассчитать:

2.4.1 Величину удельной холодопроизводительности - q0

q0 = h1- h5  (2.1)

где h1 и h5 – энтальпия в точках 1 и 5.

2.4.2 Объемную холодопроизводительность вычисляют по зависимости

qv = h1- h5/v1 (2.2)

где v1- удельный объем холодильного агента, всасываемый компрессором, принимается по табл 1.2.

2.4.3 Теплоту отведенную в испарителе вычисляют по формуле:

q2 = h1- h4  (2.3)

2.4.4 Теплоту отведенную в конденсаторе вычисляют по формуле:

q1= h2 - h3 (2.4)

2.4.5 Работу цикла определяют по формуле:

lц = q1 - q2 (2.5)

2.4.6 Холодильный коэффициент определяют по следующей формуле:

= q2/ lц (2.6)

Таблица 2.1 Экспериментальные и расчётные значения

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № п/п | P1 | P2 | t1 | t2 | q1 | q2 | lц | q0 |  |
| 1 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 2 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 3 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

**2.5 Требования к отчёту по лабораторной работе**

Отчёт оформляется на листах формата А4 с титульным листом, в отчёт входит:

2.5.1 Название лабораторной работы

2.5.2 Цель работы

2.5.3 Схема установки, описание её работы и устройства.

2.5.4 Последовательность выполнения эксперимента, данные эксперимента. Расчётные данные.

2.5.5 Построение цикла холодильной установки в Pv и Ts координатах.

2.5.6 Таблица экспериментальных расчётных значений

2.5.7 Выводы.

Все промежуточные расчёты в отчёт не заносятся.

**2.6 Основные требования техники безопасности**

Основные требования техники безопасности при выполнении лабораторной работы заключается в следующем:

2.6.1 Перед началом работы:

- проверить изоляцию и надёжность креплений токоведущих проводников;

- убедиться в отсутствии посторонних предметов в экспериментальной установке;

2.6.2 В период работы:

-нельзя нажимать кнопку пускового устройства случайными предметами;

2.6.3 При обнаружении неисправности экспериментальной установки прекратить работу и доложить преподавателю.

2.6.4 После работы:

- отключить все токоведущие установки.

**Контрольные вопросы:**

1.Какие существуют типы холодильных установок?

2.Устройство холодильной установки.

3.Работа холодильной установки.

4.Чему равна работа цикла?

5.Чему равен холодильный коэффициент?

**Литература:**

1. Баскаков А.П. Теплотехника / А.П. Баскаков, Б.В. Берг, О.К. Витт.- М.: Энергоатомиздат, 1992.- 224 с.

2. Драганов Б.Х. Теплотехника и применение теплоты в сельском хозяйстве / Б.Х. Драганов, А.В.Кузнецов, С.П. Рудобашта – М.: Агропромиздат, 1990.-463 с.

3. Нащокин В.В. Техническая термодинамика и теплопередача / В.В. Нащокин. - М.: Высшая школа, 1975.- 496 с.

4. Холодильник бытовой электрический Памир-4 : руководство по эксплуатации.

Таблица 2.2- Параметры «фреона-12» по температуре и давлению

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| t, ºС | P1, бар | Удельный объём | | Энтальпия | | Энтальпия | |
|  |  |  |  |  |  |
| 0 | 3,0890 | 0,007163 | 0,05568 | 848,289 | 1000,830 | 0,5618 | 1,1202 |
| 2 | 3,2973 | 0,0007197 | 0,05253 | 850,148 | 1001,708 | 0,5685 | 1,1193 |
| 4 | 3,5161 | 0,0007231 | 0,04921 | 852,012 | 1002,580 | 0,5752 | 1,1185 |
| 6 | 3,7456 | 0,0007266 | 0,04632 | 853,884 | 1003,446 | 0,5819 | 1,1177 |
| 8 | 3,9863 | 0,0007302 | 0,04363 | 855,761 | 1004,304 | 0,5885 | 1,1169 |
| 10 | 4,2384 | 0,0007239 | 0,04113 | 857,645 | 1005,157 | 0,5951 | 1,1161 |
| 12 | 4,5022 | 0,0007376 | 0,03880 | 859,535 | 1006,001 | 0,6017 | 1,1154 |
| 14 | 4,7782 | 0,0007414 | 0,03663 | 861,433 | 1006,839 | 0,6083 | 1,1146 |
| 16 | 5,0667 | 0,0007452 | 0,03461 | 863,338 | 1007,669 | 0,6148 | 1,1140 |
| 18 | 5,3680 | 0,0007492 | 0,32271 | 865,251 | 1008,490 | 0,6213 | 1,1133 |
| 20 | 5,6825 | 0,0007532 | 0,03094 | 867,171 | 1009,304 | 0,6278 | 1,1127 |
| 22 | 6,0106 | 0,0007573 | 0,02929 | 869,101 | 1010,108 | 0,6343 | 1,1120 |
| 24 | 6,3425 | 0,0007615 | 0,02773 | 871,038 | 1010,904 | 0,6407 | 1,1114 |
| 26 | 6,7087 | 0,0007658 | 0,02628 | 872,985 | 1011,690 | 0,6472 | 1,1108 |
| 28 | 7,0796 | 0,0007702 | 0,02491 | 874,941 | 1012,466 | 0,6536 | 1,1103 |
| 30 | 7,4655 | 0,0007747 | 0,02363 | 876,908 | 1013,232 | 0,6600 | 1,1097 |
| 32 | 7,8668 | 0,0007793 | 0,02242 | 878,885 | 1013,988 | 0,6664 | 1,1092 |
| 34 | 8,2839 | 0,0007840 | 0,02129 | 880,873 | 1014,732 | 0,6728 | 1,1086 |

Таблица 2.3- Термодинамические свойства «фреона – 12» в состояния насыщения

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| t, ºС | P1, бар | Удельный объём | | Энтальпия | | Энтальпия | |
|  |  |  |  |  |  |
| - 40 | 0,64201 | 0,0006588 | 0,24272 | 812,137 | 982,362 | 0,4194 | 1,1495 |
| - 38 | 0,70461 | 0,0006613 | 0,22261 | 813,905 | 983,312 | 0,4270 | 1,1474 |
| - 36 | 0,77192 | 0,0006638 | 0,20450 | 815,676 | 984,261 | 0,4344 | 1,1453 |
| - 34 | 0,84419 | 0,0006663 | 0,18816 | 817,451 | 985,208 | 0,4419 | 1,1434 |
| - 32 | 0,92166 | 0,0006689 | 0,17339 | 819,230 | 986,154 | 0,4493 | 1,1415 |
| - 30 | 1,0046 | 0,0006716 | 0,16001 | 821,013 | 987,097 | 0,4566 | 1,1397 |
| - 28 | 1,0932 | 0,0006743 | 0,14788 | 822,799 | 988,037 | 0,4639 | 1,1379 |
| - 26 | 1,1878 | 0,0006770 | 0,13686 | 824,591 | 988,975 | 0,4712 | 1,1363 |
| - 24 | 1,2887 | 0,0006797 | 0,12683 | 826,386 | 989,910 | 0,4784 | 1,1347 |
| - 22 | 1,3960 | 0,0006825 | 0,11769 | 828,186 | 990,843 | 0,4855 | 1,1332 |
| - 20 | 1,5102 | 0,0006853 | 0,10934 | 829,989 | 991,771 | 0,4926 | 1,1317 |
| - 18 | 1,6314 | 0,0006882 | 0,10171 | 831,798 | 992,697 | 0,4997 | 1,1303 |
| - 16 | 1,7599 | 0,0006911 | 0,09472 | 833,611 | 993,618 | 0,5068 | 1,1290 |
| - 14 | 1,8962 | 0,0006941 | 0,08832 | 835,428 | 994,536 | 0,5138 | 1,1277 |
| - 12 | 2,0403 | 0,0006971 | 0,08244 | 837,250 | 995,450 | 0,5207 | 1,1265 |
| - 10 | 2,1927 | 0,0007002 | 0,07703 | 839,077 | 996,359 | 0,5277 | 1,1254 |
| - 8 | 2,3536 | 0,0007033 | 0,07205 | 840,909 | 997,263 | 0,5346 | 1,1242 |
| - 6 | 2,5234 | 0,0007065 | 0,06746 | 842,745 | 998,163 | 0,5414 | 1,1232 |
| - 4 | 2,7024 | 0,0007097 | 0,06322 | 844,588 | 999,058 | 0,5482 | 1,1222 |
| - 2 | 2,8908 | 0,0007130 | 0,05930 | 846,436 | 999,947 | 0,5550 | 1,1212 |

Таблица 2.4- Термодинамические свойства фреона – 12 в однородной области

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| t, ºС | Р = 5,691 бар,  t= 200С | | | | | P = 6,5406 бар,  t = 250С | | | | | | | P = 7,4806 бар  ts = 300С | | | | | | | | P = 8,516 бар  ts = 350С | | | | | | | | | |
| v, | | | h, | S, | | v, | | | h, | | S, | | v, | | | | h, | | S, | | v, | | | | | h, | | | S, | | |
| 20 | 0,03102 | | | 296,78 | 2,3366 | | — | | | — | | — | | — | | | | — | | — | | — | | | | | — | | | — | | |
| 25 | 0,03183 | | | 300,15 | 2,3480 | | 0,02705 | | | 298,75 | | 2,3350 | | — | | | | — | | — | | — | | | | | — | | | — | | |
| 30 | 0,03262 | | | 303,52 | 2,3592 | | 0,02778 | | | 300,20 | | 2,3465 | | 0,02367 | | | | 300,65 | | 2,3334 | | — | | | | | — | | | — | | |
| 35 | 0,03340 | | | 306,89 | 2,3703 | | 0,02849 | | | 305,64 | | 2,3577 | | 0,02433 | | | | 304,18 | | 2,3450 | | 0,02077 | | | | | 302,48 | | | 2,3319 | | |
| 40 | 0,03417 | | | 310,26 | 2,3811 | | 0,02919 | | | 309,07 | | 2,3688 | | 0,02497 | | | | 307,70 | | 2,3563 | | 0,02137 | | | | | 306,10 | | | 2,3435 | | |
|  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 45 | 0,03493 | 313,6 | | | 2,3918 | | | 0,02988 | | 312,51 | 2,3797 | | | 0,02560 | | | 311,20 | | | 2,3674 | | | | 0,02196 | | 309,69 | | | 2,3549 | | |
| 50 | 0,03568 | 317,0 | | | 2,4024 | | | 0,03056 | | 315,94 | 2,3904 | | | 0,02622 | | | 314,71 | | | 2,3783 | | | | 0,02253 | | 313,28 | | | 2,3661 | | |
| 55 | 0,03642 | 320,4 | | | 2,4128 | | | 0,03122 | | 319,38 | 2,4009 | | | 0,02683 | | | 318,20 | | | 2,3890 | | | | 0,02310 | | 316,85 | | | 2,3771 | | |
| 60 | 0,03715 | 323,8 | | | 2,4230 | | | 0,03188 | | 322,82 | 2,4113 | | | 0,02743 | | | 321,70 | | | 2,3996 | | | | 0,02365 | | 320,41 | | | 2,3878 | | |
| 65 | 0,03788 | 327,2 | | | 2,4332 | | | 0,03253 | | 326,27 | 2,4216 | | | 0,02802 | | | 325,20 | | | 2,4100 | | | | 0,02419 | | 323,97 | | | 2,3985 | | |
|  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 70 | 0,03860 | | 330,62 | | 2,4432 | | 0,03318 | | 329,72 | | 2,4317 | | | | 0,02860 | 328,70 | | | 2,4203 | | | | 0,00247 | | 327,53 | | | 2,4089 | | |
| 80 | 0,04001 | | 337,48 | | 2,4629 | | 0,03444 | | 336,65 | | 2,4517 | | | | 0,02975 | 335,71 | | | 2,4405 | | | | 0,02576 | | 334,65 | | | 2,4293 | | |
| 90 | 0,04141 | | 344,39 | | 2,4822 | | 0,03569 | | 343,62 | | 2,4711 | | | | 0,03086 | 342,75 | | | 2,4601 | | | | 0,02677 | | 341,77 | | | 2,4492 | | |
| 100 | 0,04279 | | 351,34 | | 2,5011 | | 0,03691 | | 350,62 | | 2,4901 | | | | 0,03196 | 349,82 | | | 2,4793 | | | | 0,02776 | | 348,91 | | | 2,4686 | | |
| 110 | 0,04415 | | 358,33 | | 2,5196 | | 0,03812 | | 357,66 | | 2,5087 | | | | 0,03304 | 356,91 | | | 2,4981 | | | | 0,02873 | | 356,07 | | | 2,4876 | | |

**Лабораторная работа №3.** Определение коэффициента теплопередачи водо- водяного подогревателя (2 час.)

**Цель работы:** Экспериментальное определение коэффициента теплопередачи водо–водяного подогревателя при прямотоке и противотоке и сравнению их с помощью этого коэффициента.

**3.1 Общие сведения**

Процесс переноса тепла от одного теплоносителя к другому через разделяющую их стенку или от стенки через среду, называется теплопередачей.

Этот процесс называется сложным теплообменом. В нём имеет место конвективный теплообмен, излучение и теплопроводность. Доля каждого вида теплообмена, зависит от определенных условий работы теплообменника.

Примерами теплопередачи могут служить: передача теплоты от греющей воды к воздуху помещения через стенки нагревательных приборов (радиатор) центрального отопления, передача теплоты от дымовых газов к воде через стенки кипятильных труб в паровых котлах, передача теплоты от конденсирующего пара к воде через стенки труб конденсатора, передача теплоты от нагретых газов к воде через стенку цилиндра двигателя внутреннего сгорания и.т.д.

Во всех рассматриваемых случаях стенка служит проводником теплоты и изготовляется из материала с высокой теплопроводностью.

В других случаях, когда требуется уменьшить потери теплоты, стенка должна быть изолятором и изготовляется из материала с хорошими теплоизоляционными свойствами. Стенки встречаются самой разнообразной формы: в виде плоских или ребристых листов, в виде пучка цилиндрических, ребристых или игольчатых труб, в виде шаровых поверхностей.

Теплопередача представляет сложный процесс, в котором теплота передается всеми тремя способами: теплопроводностью, конвекцией и излучением. Действительно, при наличии стенки процесс теплопередачи складывается из трех звеньев.

Первое звено-перенос теплоты конвекцией от горячего теплоносителя к стенке. Конвекция всегда сопровождается теплопроводностью и часто- лучеиспусканием.

Второе звено- перенос теплоты теплопроводностью через стенку. В пористых телах распространение теплоты теплопроводностью связана с конвекцией и излучением в порах.

Третье звено- перенос теплоты конвекцией от второй поверхности стенки к холодному теплоносителю. В этой передаче теплоты конвекция также сопровождается теплопроводностью и часто излучением.

Количество теплоты, переданной горячим теплоносителем стенке путем конвективного теплообмена, определяется по уравнению Ньютона- Рихмана:

Q= α1∙F(t1- t'ст);[Вт] (3.1)

где: α1-коэффициент теплоотдачи [Вт/м2∙К] от горячего теплоносителя с постоянной температурой t1 к поверхности стенки, учитывающий все виды теплообмена;

F-расчетная площадь поверхности плоской стенки, [м2];

t1- температура горячего теплоносителя, [ºС];

t'ст- температура стенки находящиеся в контакте с горячим теплоносителем [ºС], внутренняя поверхность стенки.

Тепловой поток переданный теплопроводностью через плоскую стенку определяется уравнением:

Q= λ/δ ∙F(tст'-tст");[Вт] (3.2)

где λ- коэффициент теплопроводности стенки, [Вт/м∙К];

δ – толщина плоской стенки, [м];

tст'- температура стенки находящиеся в контакте с горячим теплоносителем, [ºС];

tст"- температура стенки находящиеся в контакте с холодным теплоносителем[ºС], внешняя поверхность стенки.

Тепловой поток, переданный от внешней поверхности стенки к холодному теплоносителю определяется по уравнению конвективного теплообмена Ньютона- Рихмана:

Q= α2∙F(tст"- t2);[Вт] (3.3)

где α2- коэффициент теплоотдачи [Вт/м2∙К] стенки находящиеся в контакте с холодным теплоносителем с постоянной температурой t2;

t2- температура холодного теплоносителя, [ºС].

Величины Q во всех трех уравнениях одинаковы. Сколько теплоты воспринимает стенка при стационарном режиме, столько же она отдает.

Решая три уравнения переноса теплоты относительно разностей температур:

t1- t'ст= Q/α1 ∙F

+ tст'-tст" = δ∙Q/λ

tст"- t2 = Q/α2∙F

Складывая, почленно полученные равенства получим:

Q= (t1- t2)/ (1/α1+ δ/λ+1/α2),[Вт] (3.4)

или плотность теплового потока

q = Q/F= (t1- t2)/(1/α1+ δ/λ+1/α2), [Вт/м2] (3.5)

В уравнении 3.5 величина к=1/(1/α1+ δ/λ+1/α2) выражается [Вт/м2∙К] и называется коэффициентом теплопередачи.

Коэффициент теплопередачи характеризует интенсивность процесса теплопередачи от одного теплоносителя к другому через разделяющую их плоскую стенку.

Численное значение коэффициента теплопередачи выражает количество теплоты, проходящей через единицу поверхности стенки в единицу времени от горячего к холодному теплоносителю при разности температур между ними в 1º градус.

Отсюда:

Q= к∙F∙(t1- t2),[Вт] (3.6)

или

q =к∙(t1- t2),[Вт/м2] (3.7)

Полученное уравнение 3.7 называется уравнением теплопередачи.

Для определения коэффициента теплопередачи - к требуется предварительное определения α1и α2 которые в большинстве случаев являются сложными величинами, они учитывают передачи теплоты конвекцией и излучением:

α= αкон+ αизл,[Вт/м2∙К] (3.8)

Значение к всегда меньше наименьшего α.

Величина, обратная коэффициенту теплопередачи- R называется общим термическим сопротивлением через однослойную плоскую стенку.

R=1/к=1/α1+ δ/λ+1/α2, [м2∙К/Вт] (3.9)

где 1/α1 и 1/α2- внешние термические сопротивления;

δ/λ- внутренние термическое сопротивления

Теплообменными аппаратами (теплообменниками) называют устройства, предназначенные для передачи теплоты от греющего теплоносителя (с более высокой температурой) к нагреваемому теплоносителю (с низкой температурой).

В качестве теплоносителей в теплообменниках используют водяной пар, горячую воду, воздух, дымовые газы и другие тела.

Поверхность, через которое передаётся тепло, называется поверхностью теплообмена или поверхностью охлаждения, если полезным понятием является отнятие тепла.

В зависимости от способа передачи теплоты и конструктивного исполнения теплообменные аппараты делят на смесительные, рекуперативные и регенеративные.

Смесительные теплообменники наиболее просты. Теплообмен в них осуществляется при непосредственном перемешивании теплоносителей, не требующие дальнейшего разделения.Смесительные теплообменники используются для легко разделяющихся теплоносителей: газ-жидкость, газ- дисперсный твердый материал, вода-масло и.т.д.

Для увеличения поверхности контакта теплоносителей их тщательно перемешивают, жидкости разбрызгивают или разбивают на мелкие струи, твердые материалы используют в раздробленном виде.

В регенеративных теплообменниках процесс теплообмена между греющей и нагреваемой средами происходит следующим образом: поверхность нагрева (специальная насадка из кирпича, керамики, металла или другого материала) омывается греющим теплоносителем (продукты сгорания топлив, пар и.т.п.), в результате чего ее температура повышается. Затем подача греющего теплоносителя прекращается, а на нагретую поверхность направляется поток нагреваемого теплоносителя, который отнимает от нее теплоту. Далее процесс повторяется.

Регенеративные теплообменники являются аппаратами периодического действия, они незаменимы для высокотемпературного (t>1000ºС) подогрева газов, поскольку жаростойкость металлов ограничена, а насадка из огнеупорных кирпичей может работать при очень высоких температурах.

В рекуперативных теплообменниках передача теплоты от греющего теплоносителя к нагреваемому осуществляется через разделяющую их твердую стенку. Для уменьшения термического сопротивления стенка выполняется из материала с хорошей теплопроводностью: меди, латуни, сплавов алюминия и другие. Наиболее распространены трубчатые теплообменники в которых один теплоноситель движется в трубах, а другой- в межтрубном пространстве. Простейшим рекуперативным теплообменником является теплообменник «труба в трубе», где поверхностью теплообмена является боковая поверхность внутренней трубы.

В рекуперативных и регенеративных теплообменниках процесс передачи тепла всегда связан с поверхностью нагрева, поэтому такие аппараты называются поверхностными.

В теплообменных аппаратах движение жидкости осуществляется по трем основным схемам. Если направление движения горячего и холодного теплоносителей совпадают, то такое движение называется прямотоком (рис.3.1а). Если направление движения горячего теплоносителя противоположно движению холодного теплоносителя, то такое движение называется противотоком (рис.3.1б). Если же горячий теплоноситель движется перпендикулярно движению холодного теплоносителя, то такое движение называется перекрестным током (рис.3.1в).

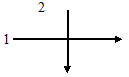
 

Рисунок 3.1а. Рисунок 3.1б. Рисунок 3.1в.

Общим уравнением при расчете теплообменника любого типа является уравнение теплового баланса- уравнение сохранения энергии.

Q1= Н'1-Н"1= М1(с'р1∙t'1-с"р1∙t"1), [Вт] (3.10)

где Q1- тепловой поток полученный в теплообменнике при охлаждении горячего теплоносителя от температуры t'1 до температуры t"1;

Н'1-энтальпия теплоносителя при входе в теплообменник;

Н"1-энтальпия теплоносителя на выходе из теплообменника;

М1- массовый расход теплоносителя;

ср- теплоемкость теплоносителя;

Несколько процентов (1-10℅) Q1 теряется в окружающую среду через стенки теплообменника, а основная часть Q2=η∙Q1 передается второму теплоносителю, где η-КПД теплообменника.

Тепловой поток получаемый холодным теплоносителем равен:

Q2= Н'2-Н"2= М2(с'р2∙t'2-с"р2∙t"2); [Вт] (3.11)

Уравнение теплового баланса позволяет найти один неизвестный параметр, либо расход одного из теплоносителей, либо одну из температур. Все остальные параметры должны быть известны.

Тепловая нагрузка поверхности теплообмена определяется произведением температурного напора (разность температуры теплоносителей)

, [Вт/м2] (3.12)

где ∆ТСР- среднеинтегральное значение температуры по длине теплообменника, а полное количество переданного тепла.

, [Вт] (3.13)

где F – площадь поверхности теплообмена, [м2].

Температурный напор Тср определяется как среднелогарифмическая разность температур (рис. 3.2а).

, [К] (3.14)

где  абсолютная разность температуры греющего и нагревающего теплоносителей на входе в теплообменник и выходе из теплообменника.

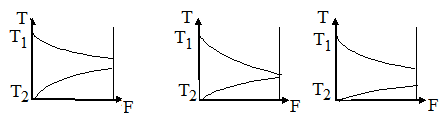
Рассмотрим некоторые особенности работы теплообменников по их температурным характеристикам (рис. 3.2).

При прямотоке (рис.3.2а) с ростом площади поверхности температурный напор ассимототически приближается к нулю. Уравнять температуру греющей и обогреваемой сред можно только при F∞, что практически невозможно. В этом отношении противоток выгодней, так как позволяет не только сравнять выходные температуры но и поднять выходную температуры обогреваемой среды выше наинизшей температуры греющей среды. Прямоточный теплообменник неэффективный и тем, что его хвостовая часть имеет относительно малую тепловую нагрузку, то есть К.П.Д. теплообменника здесь очень низкая. В противоточном (рис.3.2б) тепловая нагрузка распределяется более равномерно и в частном случае когда водяные эквиваленты, означающие произведение расхода теплоносителя на его теплоёмкость W=G∙C, равны между собой, тепловая нагрузка может оставаться постоянной.

Таким образом, эффективность прямотока и противотока практически одинакова, тогда температура одного из потоков изменяется слабо по сравнению с другим. Во всех других случаях эффективность противотока выше, причём отставание от прямотока проявляется особенно резко при сближении W1 и W2 .

а) Прямоток.

W1>W2 W1<W2 W1=W2



б) Противоток.

W1>W2 W1 <W2 W1=W2

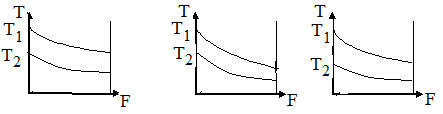


Рисунок 3.2 Измерение температуры при прямотоке и противотоке

Т1 и Т2 – температуры соответственно греющего и нагреваемого теплоносителей; W1,W2- водяные эквиваленты греющего и нагреваемого теплоносителя

**3.2 Описание экспериментальной установки**

Установка представляется собой теплообменник, выполненный из двух труб, размещенных одна в другой (рис. 3.3). По внутренней трубе подают из водонагревателя горячую воду (греющий теплоноситель), а по наружной – холодной (нагреваемый теплоноситель).

Для определения температуры теплоносителей на входе и выходе установлены термометры 4,5,6,7. Расход теплоносителя, протекающего через теплообменник, регулирует 3 и 1.2 и 8.9 Замер расхода теплоносителя производит с помощью мерного бака 10.

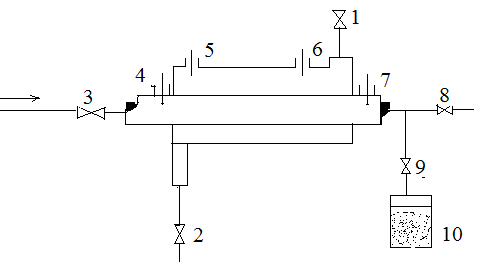


Рисунок 3.3 Схема экспериментальной установки:

1 и 2 -вентили холодной воды; 3 и 8- вентили горячей воды; 4,5,6,7- термометры; 9 – вентиль мерного бака; 10- мерный бак.

**3.3 Порядок выполнения работы**

Установку включает по схеме прямотока, открывая 3 и 8 горячей и 1 и 2 холодной воды. При достижении стационарного теплового режима о наступлении которого свидетельствует установившиеся показания всех термометров, производят замер расхода греющего теплоносителя. Одновременно с переключением горячей воды в мерный бак включается секундомер.

Результаты замера температуры по установившимся значениям термометра, длительность замера и расход теплоносителя заносят в табл. 3.1.

Переключение схемы на противоток производят с помощью специального вентиля. Замеры производят аналогично прямотоку.

Таблица 3.1-Экспериментальные и расчётные значения

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Схема | Т1,  К. | Т '1, К. | Т2,К. | Т '2, К. | Длитель  ность,сек. | Расход,кг/сек | Тср, К. | к,  м2 К/Вт | Ек |
| Прямоток |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Противоток |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

**3.4 Обработка экспериментальных данных**

Количество тепла, переданного горячим теплоносителем, вычисляют по формуле:

Q =G C(T2 - T1); [Вт] (3.15)

где G – расход холодного теплоносителя, кг/с

С – теплоёмкость воды, равная 4.19 кДж/кг∙К.

к=; [Вт/м2∙К] (3.16)

Средне логарифмический напор находят по формуле 3.14. Площадь поверхность теплообмена определяют с учётом размеров внутренней трубки:

; [м2] (3.17)

где d = 10мм диаметр трубки;

L = 1м длина трубки.

**3.5 Оценка погрешности эксперимента**

Относительная погрешность определения коэффициента теплопередачи находят из выражения

 (3.18)

где , - абсолютные погрешности при измерении температуры и расхода теплоносителя.

У приборов, имеющих шкалу, абсолютная погрешность равна половине цены деления.

**3.6 Требования к отчёту по лабораторной работе**

Отчёт оформляют на листах формата А4 с титульным листом.

В отчёт входят:

3.6.1 Название лабораторной работы

3.6.2 Цель работы

3.6.3 Схема экспериментальной установки и её описания

3.6.4 Порядок проведения работы

3.6.5 Таблица экспериментальных и расчетных значений

3.6.6 Выводы

Все промежуточные расчёты в отчёт не вносят.

**3.7 Основные требования техники безопасности**

Основные требования техники безопасности при выполнения лабораторной работы сводятся к следующим:

3.7.1 Перед началом работы:

- включить электрический водонагреватель, предварительно убедившись в том что электрические нагревательные элементы закрыты водой не менее чем на 5 – 8 см

- проверить прочность соединения установки и закрытия кранов:

-при нагреве воды в электронагревателе отключить его.

3.7.2 При работе:

- не касаться руками и другими предметами термометра,а также линии горячей воды:

-обеспечить полный отработавший сток воды в канализацию.

3.7.3 После работы:

- проверить закрытие всех кранов установки .

- убедиться в отключении электронагревателя.

3.7.4 При обнаружении каких-либо неисправности установки доложить об этом преподавателю.

**Контрольные вопросы:**

1. Что называется теплопередачей?

2. Дать характеристику уравнения Ньютона- Рихмана?

3. Что характеризует коэффициент теплопередачи?

4. Что называется теплообменным аппаратом?

5. На какие группы делятся теплообменные аппараты?

6. Основное уравнение теплопередачи и теплового баланса?

7. Как определяяется среднеарифметический температурный напор в аппарате?

**Литература:**

1. Баскаков А.П. Теплотехника / А.П. Баскаков, Б.В. Берг, О.К. Витт.- М.: Энергоатомиздат, 1992.- 224 с.

2. Драганов Б.Х. Теплотехника и применение теплоты в сельском хозяйстве / Б.Х. Драганов, А.В.Кузнецов, С.П. Рудобашта – М.: Агропромиздат, 1990.-463 с.

3. Лариков Н.Н. Общая теплотехника / Н.Н. Лариков. – М.: Стройиздат, 1975.-559 с.

4. Нащокин В.В. Техническая термодинамика и теплопередача / В.В. Нащокин. - М.: Высшая школа, 1975.- 496 с.

**Лабораторная работа №4.** Определение коэффициента теплопроводности сыпучих материалов (2 час.)

**Цель работы:** Экспериментальное определения коэффициента теплопроводности сыпучего материала методом трубы.

**4.1 Общие сведения**

Согласно второму закону термодинамики самопроизвольный процесс переноса теплоты в пространстве возникает под действием разности температур и направлен в сторону уменьшения температуры.

Теплота может распространяться в любых веществах и даже через вакуум.

Во всех веществах теплота передается теплопроводностью за счет переноса энергии микрочастицами. Молекулы, атомы, электроны и другие микрочастицы, из которых состоит вещество, движущиеся со скоростями, пропорциональными их температуре, переносят энергию из зоны с более высокими температурами в зону с более низкими температурами.

В жидкостях, наряду с движением микрочастиц, между зонами с разными температурами возможно перемещение макроскопических объемов. Перенос теплоты вместе с макроскопическими объемами вещества носит название конвективного теплопереноса или просто конвекции.

Третьим способом переноса теплоты является излучение. За счет излучения теплота передается во всех лучепрозрачных средах, в том числе и в вакууме. Тепловое излучение это распространение теплоты в пространстве посредством электромагнитных волн. При теплообмене излучением часть внутренней энергии излучателя превращается в энергию электромагнитных волн, которые распространяются в пространстве, а затем поглощается другим телом, превращаясь в тепловую.

Совокупность перечисленных выше способов теплообмена называется сложным теплообменом.

Интенсивность переноса теплоты характеризуется плотностью теплового потока, т.е количеством теплоты, передаваемой в единицу времени через единичную площадь поверхности. Эта величина обозначается q и измеряется Вт/м2.

Количество теплоты, передаваемое в единицу времени через произвольную поверхность называют мощностью теплового потока или просто тепловым потоком и обозначают Q и единица измерения [Вт].

Перенос тепла – теплопроводностью осуществляется при непосредственном контакте частиц, имеющих различную температуру. Теплопроводность наблюдается в твердых телах, а также в жидкости и газах, если последнее находятся в неподвижности по всему объёму. Теплопроводность обусловлена зависимостями от местной температуры движения микроструктурных элементов тела.

В газах – это беспорядочные молекулярные движения. В твердых металлах при средних температурах передача тепла происходит за счёт движения свободных электронов, в не металлических твердых телах теплопроводность осуществляется упругими акустическими волнами, образующимися в следствии смещения всех молекул и атомов из их равновесных состояниях.

Теплопроводность в частном виде на практике существует только металлах. В газах и жидкостях неотъемлема от конвективного теплообмена и излучения. Исключением является очень тонкие 10 – 11 мм, слои газа или жидкости, заключённые между двумя твёрдыми перегородками

В основе теории теплопроводности лежит закон Фурье, который устанавливает количественную взаимосвязь между температурным полем и интенсивностью распространения теплоты в нем посредством теплопроводности.

Согласно закону Фурье, вектор плотности теплового потока пропорционален вектору градиента температуры и противоположен по направлению:

q = -λ∙gradt,[Вт/м2] (4.1)

где знак «-» показывает, что векторы градиента температуры и плотности теплового потока направлены в противоположенные стороны.

λ - коэффициент теплопроводности, численно равен плотности теплового потока проходящего через 1 м2 поверхности при градиенте температуры 1 К/м. Коэффициент теплопроводности характеризует способность тела проводить тепло и зависит от физических свойств материала. Единица измерения λ [Вт/м∙К]. Самые высокие значения  у металлов, низкие у газов. Теплоизоляционные материалы, представляют собой смесь твердого компонента и воздуха, с повышением температуры теряют теплоизоляционные свойства.

Градиент температуры gradt – это вектор, направленный по нормали к изометрической поверхности в сторону возрастающей температуры и противоположно вектору.

Температурное поле – совокупность значение температур в данный момент времени во всех точках пространства. Если температура зависит от времени т.е t = f (x,y,z,τ) поле называется не установившимся или нестационарным, если же температура во времени не меняется т.е t = f (x,y,z) , то поле называется стационарным.

Мощность теплового потока q - это вектор, направленный по нормали к изотермической поверхности, в сторону убывания температуры и численно равной местной тепловой нагрузке.

 [Вт/м2] (4.2)

**4.2 Описание экспериментальной установки**

Испытуемый материал (рис.4.1) засыпан в пространство между двумя трубами. Во внутренней трубе расположен электрический нагреватель. Торцовые поверхности труб для исключения потерь тепла закрыты теплоизоляционным материалом. Для измерения мощности используют амперметр и вольтметр. Изменение мощности производят с помощью реостата. Для измерения температуры цилиндрических поверхностей служат термопары, концы которых выведены к показывающему прибору. Для поочерёдного включения термопар служит переключатель.

В качестве показывающего прибора использован милливольтметр, градированный в градусах Цельсия.

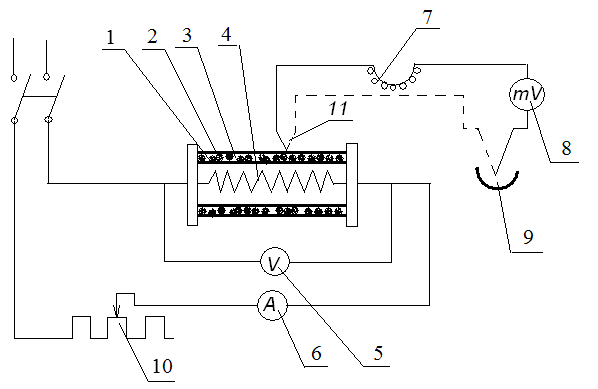


Рисунок 4.1 Схема экспериментальной установки:

1 и 2- внутренняя и наружная труба; 3-сыпучий материал; 4-электронагреватель;5-вольтметр; 6-амперметр;7-переключатель; 8-милливольтметр; 9-термостат; 10-реостат;11-термопара.

**4.3 Порядок выполнения работы**

После включения нагревателя дожидаются установления стационарного режима, о чём судят по показаниям термопар. Если они не изменяются, то режим передачи тепла от нагревателя к воздушной среде через цилиндрическую сетку можно считать стационарным через 15 минут с момента включения нагревателя.

Эксперимент проводить трижды, изменение мощности теплового потока с помощью нагревателя. Результаты измерения заносить в табл 4.1.

Таблица 4.1- Результаты эксперимента

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| I,А. | U,В. | Показание термопар | | | | | | T1,K | T2,K | ,  Вт/м∙К | E |
| T1,К. | T2,К. | T3,К. | T4,К. | T5,К. | T6,К. |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

Температуру внутренней цилиндрической поверхности Т1, определяют как среднеарифметическую трёх наибольших значений показания термопар, наружнего Т2 по трём наименьшим значениям.

**4.4 Обработка экспериментальных данных**

При стационарном режиме мощности теплового потока через цилиндрическую стенку, определяют из выражения

, [Вт] (4.3)

где l, d2, d1- длина и диаметр внешней и внутренней цилиндрической поверхности l=380мм, d2=20мм, d1= 60мм., ∆Т= Т1-Т2.

Так всё тепло, отдаваемое нагревателем, проходит в радиальном направлении, то

N = I U, [Вт] (4.4)

Решая совместное уравнение 4.3 и 4.4, получим

, [Вт/м∙К] (4.5)

Определив по этой формуле значения коэффициента тепло проводимости для трех опытов, находят значения коэффициента средней теплопроводности материала, заключенного между цилиндрами.

Затем по табл. 4.2 находят наименование исследуемого материала и дают оценку его теплоизоляционных качеств.

Таблица 4.2 -Теплофизические свойства некоторых материалов

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Наименование материала | ρ, кг/м3 | t,ºС | с, кДж/кг∙К | λ,  Вт/м∙К | а∙106 м2/с |
| Сухой песок | 1500 | 20 | 0,795 | 0,326 | 2,74 |
| Влажная почва | 1700 | 17 | 2,01 | 0,657 | 0,192 |
| Огнеупорная почва | 1850 | 450 | 1,089 | 1,035 | 0,051 |
| Кирпич красный | 1800 | 0 | 0,879 | 0,768 | - |
| Огнеупорный кирпич | 1900 | 0 | 0,837 | 0,814 | 0,514 |
| Речной песок | 1457 | 0 | 0,803 | 0,32 | 2,80 |

**4.5 Оценка погрешности опыта**

Относительная погрешность для каждого из трех опытов находят из выражения:

, (4.6)

 - абсолютные погрешности измерения необходимых величин. Для среднего значения  подсчитывают среднеарифметическую ошибку.

**4.6 Требования к отчёту по лабораторной работе**

Отчёт выполняется на листах формата А4 с титульным листом.

В отчёт входят:

4.6.1 Название лабораторной работы

4.6.2 Цель работы

4.6.3 Определение коэффициента теплопроводности

4.6.4 Описание экспериментальной установки, порядок выполнения работы и основные расчётные формулы

Таблица экспериментальных данных

Выводы

**4.7 Основные требования техники безопасности**

4.7.1 Перед включением установки убедитесь в прочности соединении токоведущих элементов.

4.7.2 В период работы установки не касаться токоведущих элементов и металлических частей установки в избегании поражения током и тепловых ожогов.

При возникновении неисправности некоем случае не устранять её, а доложить преподавателю, предварительно обесточить установку.

По окончании опыта установку от сети отключить.

**Контрольные вопросы:**

1. Что называется теплопроводностью?

2. Что называется конвекцией?

3. Что называется излучением?

4. Дать определения закона Фурье?

5. Чему равен и что характеризует коэффициент теплопроводности?

6. Что называется температурным полем?

7. Что называется градиентом температуры?

8. Что называетсямощностью теплового потока?

**Литература:**

1. Жуковский В.С. Основные теории теплопередач / В.С. Жуковский. – М.: Энергия, 1969.- 224 с.

2. Зубарев В.Н. Практикум по технической термодинамике / В.Н. Зубарев, А.А. Александров.- М.: Энергия, 1986.-303 с.

3. Лариков Н.Н. Общая теплотехника / Н.Н. Лариков. – М.: Стройиздат, 1975.-559 с.

4. Нащокин В.В. Техническая термодинамика и теплопередача / В.В. Нащокин. - М.: Высшая школа, 1975.- 496 с.

**Лабораторная работа №5.** Определение коэффициента излучения твёрдого тела (2 час.)

**Цель работы:** Экспериментальное определения коэффициента излучения твёрдого тела.

**5.1 Общие сведения**

Все тела, нагретые до высокой температуры, начинают светиться. Если, например, раскалить твердое тело, то оно будет испускать сначала красный цвет. Большинство тел при очень сильном нагревании испаряется (или изменяет свой химический состав), но продолжают светиться. Некоторые тела способны испускать при сильном нагревании белый свет.

Излучение, испускаемое нагретыми телами, называется тепловыми. Всякое нагретое тело является источником теплового излучения, но тепловое излучение возникает не только при высоких температурах. Оно происходит и при комнатной, и при более низкой температуре. Разница лишь в том, что по мере понижения температуры уменьшается интенсивность излучения и изменяется его спектральный состав. При более низкой температуре испускаются в основном красные лучи, и невидимые глазом инфракрасные лучи, длина волн которых находятся в пределах от 0,8 до 80 мкм. Попадая на какое- либо тело с более низкой температурой, такие лучи вызывают нагревание.

Каждое нагретое тело не только испускает, но и поглощает тепловое излучение.

Для измерения длины волны применяют следующие единицы измерения:

1 мкм (микрометр)= 10-6 м;

1нм (нанометр)=10-9 м;

Теплообмен излучением - процесс переноса теплоты в виде электромагнитных волн.

Это вид теплообмена осуществляется в три этапа: Внутренняя энергия тела в начале преобразуется в энергию излучения, которая на втором этапе распространяется в пространстве, а на третьем этапе энергия излучения вновь преобразуется в теплоту, то есть во внутреннюю энергию тела, которое поглощает лучистый поток. Тепловое излучение характеризуется длиной волны λ и частотой колебания ν. При этом волны распространяются со скоростью света с=3∙108 м/с, и между ними имеется зависимость:

ν = с/λ (5.1)

Излучение всех тел зависит от температуры, природы тела, состояния поверхности, а для газов также от толщины слоя и давления. Большинство твердых и жидких тел излучают энергию во всех диапазонах длин волн. Чистые металлы и газы испускают энергию только в определенных интервалах волн называемое селективное излучение.

Тепловой поток, излучаемый на всех длинах волн с единицы поверхности тела по всем направлениям, называется поверхностной плотностью потока интегрального излучения, обозначается Е и выражается в [Вт/м2].

Свет и тепловое излучение имеют одинаковую природу, между ними много общего. Часть энергии излучения падающей на тело поглощается ЕА, часть отражается ЕR, часть проникает сквозь него ЕD.

Отсюда:

ЕПАД= ЕА+ ЕR+ ЕD;[Вт/м2] (5.2)

где А= ЕА /ЕПАД;

R= ЕR / ЕПАД;

D= ЕD/ ЕПАД (5.3)

Из формулы, А + R + Д = 1, то есть сумма способностей тепла равна единице. Если: А =1 тепло называют абсолютно чёрным: R=1 тело называют абсолютно белым, а у диатермичного или абсолютно прозрачного тела Д = 1.

В природе таких тел не существует, однако понятие их употребляют для изучения тепловых процессов. Большинство твёрдых тел практически не прозрачны, и поэтому для них Д = 0 и А+R=1. Газообразные тела не отражают тепла, поэтому для них R=0 и А+Д = 1. Тела для которых коэффициент поглощения 0<А<1 и поглощательная способность не зависят от длины падающего излучения, называются серыми. Сумму собственного излучения тела и отраженного им называют эффективным излучением:

ЕЭФ= Е+ R∙ЕПАД (5.4)

Основные законы излучения.

Отношение плотности потока излучения, испускаемого в бесконечно малом интервале длин волн, к величине этого интервала, носит название спектральной плотности потока излучения:

I= dE/dλ, [Вт/м3] (5.5)

Закон Планка. Для абсолютного черного тела спектральная плотность потока излучения Iλ0, зависит от длины волны λ и абсолютной температуры тела

, [Вт/м3] (5.6)

где С1= 3,74∙10-16 [Вт/м], и С2= 1,44∙10-2 [м∙К] – постоянные излучения, е-основание натурального логарифма;

 - длина волны;

Т – абсолютная температура тела.

Закон Вина. Произведение длины волны λМАХ, при которой достигается максимальное значение Iλ0, на абсолютную температуру величина постоянная:

λТ= 2,896∙10-3 (5.7)

Закон Стефана – Больцмана. Количество энергии, излучаемое единицей поверхности абсолютно черного тела в единицу времени, пропорционально четвертой степени абсолютной температуры:

 (5.8)

где σ0= 5,67∙10-8 [Вт/м2∙К4] – постоянная Стефана – Больцмана (константа излучения абсолютно черного тела).

На рис 5.1 зависимость 2 изображена графически. Заштрихованная площадка показывает зону видимого спектра излучения. Видно, что энергия видимого излучения очень мала.

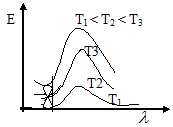


Рисунок 5.1 К закону М.Планка

Для технических расчетов закон Стефана – Больцмана принимает следующий вид:

[Вт/м2] (5.9)

где С0=5,67 [Вт/м2∙К4] – коэффициент излучения абсолютно черного тела.

Тела, с которыми мы имеем дело на практике, излучают меньше тепловой энергии, чем абсолютно черное тело при той же температуре.

Отношение поверхностной плотности потока в собственного интегрального излучения Е данного тела к поверхностной плотности потока интегрального излучения Е0 абсолютно черного тела при той же температуре называется коэффициентом теплового излучения или степенью черноты ε.

ε= Е/Е0 (5.10)

Для реального тела этот закон имеет вид:

 (5.11)

где С=ε∙С0- излучательная способность серого тела, [Вт/( м2∙К4)];

ε – степень черноты реального тела.

Для различных тел зависит от материала, состояния поверхности, температуры и изменяется в пределах 0<ε<1.

Закон Кирхгофа устанавливает связь между излучательной и поглощательной способностями тела, его формулировка: отношение излучательной способности к поглощательной способности для всех тел одинаково и равно излучательной способности абсолютно черного тела при той же температуре и зависит только от температуры.

Е/ЕА= А (5.12)

**5.2 Описание экспериментальной установки**

Установка состоит из двух коаксиальных цилиндров, в центре которых расположен электрический нагреватель (рис. 5.2). Мощность нагревателя регулируется реостатом, и определяют по показаниям вольтметра и амперметров. Торцовые поверхности цилиндров с помощью теплоизоляции закрыты заглушками.

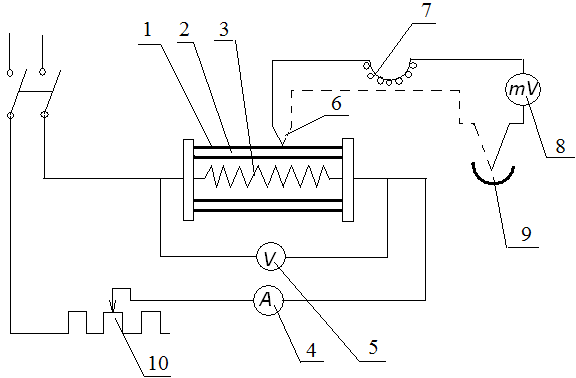


Рисунок 5.2 Схема экспериментальной установки:

1 и 2- стальные трубы; 3- электрический нагреватель; 4- амперметр; 5- вольтметр; 6- термопара; 7- переключатель; 8- милливольтметр;

9- термостат; 10- реостат.

**5.3 Порядок выполнения работы**

Включить установку в сеть, реостат устанавливают в крайнее положение, обеспечивающие максимальную мощность нагревателя. При установлении стационарного режима, о котором свидетельствует не изменяющая показания термопар делают замер всех интересующих вас величин. Опыт повторяют при среднем и противоположном крайнем положении реостата. Данные измерения заносят в табл. 5.1. Температура поверхности внутреннего цилиндра Твнут находят как средне арифметически по трём наибольшим значениям показания термометра, внешнего Твнеш - по трем наименьшим.

Таблица 5.1-Экспериментальные значения

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| U, B | I, A | Показания термопар | | | | | | Tвнеш, К | Tвнутр,  K |
| T1 | T2 | T3 | T4 | T5 | T6 |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

5.4 Обработка экспериментальных данных

Мощность теплового потока, передаваемого нагревателем, равна

N = I∙U = Nк + Nизл+ NПОТ, [Вт] (5.13)

где Nк – мощность теплового потока передаваемого конвекцией;

Nизл – мощность теплового потока передаваемого излучением;

NПОТ – потери тепла через торцевые поверхности установки.

Мощность теплового потока, передаваемого электрическим нагревателем, может быть определена по формуле:

N= U∙I= Nк + Nизл, [Вт] (5.14)

Мощность конвективного тепло потока определяют как переданную теплопроводностью через прослойку т.е.

[Вт] (5.15)

где  - эквивалентный коэффициент теплопроводности воздушной прослойки, [Вт/м∙К];

 - толщина прослойки, [м];

 - средняя поверхность теплообмена , [м2],

dСР- средний диаметр прослойки dСР= 0.5∙ (d1 +d2), [м].

l =350мм- длина цилиндра. d1= 90 мм, d2= 120 мм.

Эквивалентный коэффициент теплопроводности  определяют по выражению:

  (5.16)

где  - коэффициент конвенции

 - коэффициент теплопроводности воздушной прослойки при её средней температуре Тср = 0.5 (ТВНЕШ+ТВНУТ) – определяется из табл.5.3.

Коэффициент конвекции определяется из выражения:

 (5.17)

где  - критерия Грасгофа и Прандтля.

Критерия Грасгофа

 (5.18)

где  - коэффициент объёмного расширения (= 1/Тср)

 - средний диаметр воздушной прослойки:

ср = 0,5(d1 + d2 ), d2 = 90мм, d1 = 120 мм.

 - разность температур цилиндров.

 - кинетическая вязкость воздуха прослойки табл.5.3.

Критерии Прандтля находят по табл.5.3.

По полученным данным находят величину NК, а из выражения (5.13), NИЗЛ

По закону Стефана – Больцмана.

,[Вт] (5.19)

где Т2= ТВНУТ, Т1= ТВНЕШ

Из этого выражения величину приведённой степени черноты εПР, а затем определяют степень черноты материала из формулы.

εпр= (5.20)

При этом учитывают, что ε1 = ε2, так как оба цилиндра изготовлены из одного материала.

Тогда

 (5.21)

Коэффициент излучения твёрдого тела определяют по выражению

С = ε∙С0 (5.22)

Результаты расчетов заносят в табл.5.2.

Таблица 5.2-Экспериментальные и расчётных значения

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| N,Вт. | Gr | Pr | εК | NК | Nизл | εпр | ε | С |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |

Таблица 5.3- Физические параметры сухого воздуха при давлении 101325 Па (1 бар)

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Т, К | ρ,  кг/м3 | ср,  кДж/кг∙К | λ∙102,  Вт/м∙К | а∙102,  м2/ч | μ∙105 | ν∙106,  м2/с | Рr |
| 263 | 1,342 | 1,009 | 2,361 | 6,28 | 1,67 | 12,43 | 0,712 |
| 273 | 1,293 | 1,005 | 2,442 | 6,77 | 1,72 | 13,28 | 0,707 |
| 283 | 1,247 | 1,005 | 2,512 | 7,22 | 1,77 | 14,16 | 0,705 |
| 293 | 1,205 | 1,005 | 2,593 | 7,71 | 1,81 | 15,06 | 0,703 |
| 303 | 1,165 | 1,005 | 2,675 | 8,23 | 1,86 | 16,00 | 0,701 |
| 313 | 1,128 | 1,005 | 2,756 | 8,75 | 1,91 | 16,96 | 0,699 |
| 323 | 1,093 | 1,005 | 2,826 | 9,26 | 1,96 | 17,95 | 0,698 |
| 333 | 1,060 | 1,005 | 2,896 | 9,79 | 2,01 | 18,97 | 0,696 |
| 343 | 1,029 | 1,009 | 2,966 | 10,28 | 2,06 | 20,02 | 0,694 |
| 353 | 1,000 | 1,009 | 2,047 | 10,87 | 2,11 | 21,09 | 0,692 |
| 363 | 0,972 | 1,009 | 3,128 | 11,48 | 2,15 | 22,10 | 0,690 |
| 373 | 0,946 | 1,009 | 3,210 | 12,11 | 2,19 | 23,13 | 0,688 |
| 393 | 0,898 | 1,009 | 3,338 | 13,26 | 2,29 | 25,45 | 0,686 |
| 413 | 0,854 | 1,013 | 3,489 | 14,52 | 2,37 | 27,80 | 0,684 |
| 433 | 0,815 | 1,017 | 3,640 | 15,80 | 2,45 | 30,09 | 0,682 |
| 453 | 0,779 | 1,021 | 3,780 | 17,10 | 2,53 | 32,49 | 0,681 |
| 473 | 0,746 | 1,026 | 3,931 | 18,49 | 2,60 | 34,85 | 0,680 |
| 523 | 0,674 | 1,038 | 4,268 | 21,96 | 2,74 | 40,61 | 0,677 |
| 573 | 0,615 | 1,047 | 4,606 | 25,76 | 2,97 | 48,33 | 0,674 |

**5.5 Требования к отчёту по лабораторной работе**

Отчёт составлять на листах формата А4 с титульным листом.

В отчёте входят:

5.5.1 Название лабораторной работы

5.5.2 Цель работы

5.5.3 Основные законы и определения

5.5.4 Схему и описание экспериментальной установки

5.5.5 Расчётные формулы

5.5.6 Таблица опытных и расчётных данных

5.5.7 Выводы

Все промежуточные расчёты в отчёт не вносят.

**5.6 Основные требования техники безопасности**

5.6.1 Перед включением установки убедитесь в прочности соединении токоведущих элементов.

5.6.2 В период работы установки не касаться токоведущих элементов и металлических частей установки в избегании поражения током и тепловых ожогов.

5.6.3 При возникновении неисправности ни в коем случае не устранять её, а доложить преподавателю, предварительно обесточить установку.

5.6.4 По окончании опыта установку от сети отключить.

**Контрольные вопросы:**

1. От чего зависит излучение тела?

2. Что называется поверхностной плотностью потока интегрального излучения?

3. Что называется эффективным излучением?

4. Дать определение закона Планка?

5. Дать определение закона Вина?

6. Дать определение закона Стефана-Больцмана?

7. Коэффициент излучения абсолютного черного тела?

8. Что называется коэффициентом теплового излучения или степенью черноты?

**Литература:**

1. Баскаков А.П. Теплотехника / А.П. Баскаков, Б.В. Берг, О.К. Витт.- М.: Энергоатомиздат, 1992.- 224 с.

2. Жуковский В.С. Основные теории теплопередач / В.С. Жуковский. – М.: Энергия, 1969.- 224 с.

3. Лариков Н.Н. Общая теплотехника / Н.Н. Лариков. – М.: Стройиздат, 1975.-559 с.

4. Нащокин В.В. Техническая термодинамика и теплопередача / В.В. Нащокин. - М.: Высшая школа, 1975.- 496 с.

**Лабораторная работа №6.** Определение коэффициента теплоотдачи при свободном движении воздуха (1 час.)

**Цель работы:** Экспериментальное определение коэффициента теплоотдачи  при свободном движении воздуха в неограниченном пространстве. Расчетным путем также определяются коэффициент теплоотдачи соприкосновением  и лучеиспусканием .

**6.1 Общие сведения**

Процесс теплообмена между поверхностями твердого тела и окружающей жидкости или газообразной средой называется теплоотдачей.

В качестве жидких теплоносителей в технике применяют различные вещества: воздух, газы, масло, нефть, спирт, ртуть, расплавленные металлы и другие. В зависимости от физических свойств этих веществ процессы теплоотдачи протекают различно.

Большое влияние на теплообмен оказывает коэффициент теплопроводности-, удельная теплоёмкость- с, плотность-, коэффициент температурыпроводности- а, коэффициент динамической вязкости-.

При смывании какого-либо тела потоком жидкости в следствии сил трения вблизи поверхности скорость потока падает до нуля. Тонкий слой жидкости вблизи поверхности, в которой происходит изменение скорости невозмущенного потока до нуля у стенки называют гидродинамическим пограничным слоем. Увеличение скорости потока приводит к снижению толщины пограничного слоя вследствие сдувании его потоком. Увеличение вязкости теплоносителя вызывает увеличение толщины гидродинамического слоя 

Очень большое влияние на теплоотдачу имеет форма и размер поверхности. В зависимости от них меняются характер давление жидкости и толщина пограничного слоя.

Количество тепла, с которым обмениваются тепло с окружающей средой за секунду, или мощность теплового потока, согласно закону Ньютона пропорциональны разности температур между поверхностью тела ТП и окружающей средой ТС и величине поверхности тела F то есть

N = , [Вт] (6.1)

где F=∙d∙L;

d = 0,06м, L = 0,35м.

Коэффициент пропорциональности α называются теплоотдачи и характеризует интенсивность теплообмена между телом и окружающей средой.

Коэффициент теплоотдачи равен количеству теплоты передаваемой с 1м2 поверхности тела при разности температур между поверхностью тела и средой в один градус. Размерность коэффициента теплоотдачи [Вт/м2∙К].

Коэффициент теплоотдачи зависит от большего количества факторов, определяющих взаимодействие тела с окружающей средой (скорость и характер движения среды, теплофизические свойства, размер и конфигурация тела, температуры поверхности тела и окружающей среды и т.д.).

Количества тепла, которым обмениваются поверхности и окружающая среда, складывается из тепла, передаваемого непосредственно соприкосновением среды с поверхностью тела (конвекция, теплопроводность) и из тепла, предаваемого путем теплового излучения в соответствии с этим общий коэффициент теплоотдачи равен сумме коэффициента теплоотдачи соприкосновении  и коэффициента теплоотдачи лучеиспусканием то есть

, [Вт/м2∙С] (6.2)

**6.2 Описание экспериментальной установки**

В горизонтально расположенной алюминиевой трубе (рис.6.1) установлен электрический нагреватель 2, в цепи которого включены амперметр 3, вольтметр 4 и реостат 9. Температура поверхности трубы измеряется с помощью термопар 5, милливольтметра 7 переключателя 6. Холодные спаи термопар помещены в термостат 8.

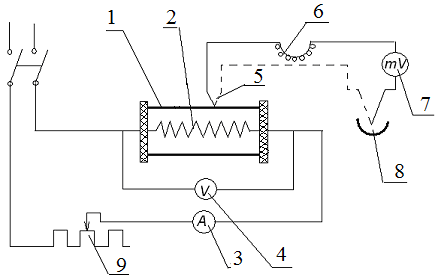


Рисунок 6.1 Схема экспериментальной установки:

1 – труба; 2- электрический нагреватель; 3- амперметр; 4- вольтметр; 5-термопара; 6- переключатель; 7- милливольтметр; 8- термостат; 9- реостат.

**6.3 Порядок выполнения работы**

Включается электрический нагреватель и установка нагревается до стационарного теплового режима, о наступлении которого свидетельствуют установившиеся показатели милливольтметра. При стационарном режиме производится несколько серий отсчетов по всем приборам с интервалом в 15 минут.

Отсчеты заносятся в следующую табл. 6.1.

Таблица 6.1- Экспериментальные и расчетные значения

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| №  п/п | ,  А | ,  В | Показание милливольтметра | | | | | | , |
| Термопары | | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | Тср |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

**6.4 Обработка экспериментальных данных**

Коэффициент теплоотдачи находят из уравнения 6.1. Количество тепла, представляемое с поверхности в окружающую среду за секунду, определяют по мощности электрического нагревателя.

; [Вт] (6.3)

где - сила тока в цепи нагревателя, [А];

 - напряжение на зажимах нагревателя, [U].

С целью определения средней температуры поверхности трубы при помощи термометра измеряется температура в нескольких точках поверхности удельный поток тепла, передаваемый путем теплового излучения определяется по уравнению Стефана – Больцмана:

Lп = C [] ; [Вт] (6.4)

 (6.5)

где С – приведенный коэффициент лучеиспускания, [Вт/м2К4]. При тепловом излучении в неограниченное пространство С применяется равным коэффициенту лучеиспускания излучающей поверхности С1 , который может быть определен из соотношения

С1 = ; [м2 ∙К4] (6.6)

где  - степень черноты поверхности тела;

 = 5,7 [Вт/ м2∙К4] коэффициент лучеиспускания абсолютно черного тела.

Коэффициент теплоотдачи излучения определяется по уравнению:

LП = ( ); [Вт/м2] (6.7)

Подсчитывают среднее значения измерительных величин. По градировочной таблицы показания милливольтметра переводят из милливольтметра в градусы.

По формуле 6.1 и 6.3 определяют суммарный коэффициент теплоотдачи N. Из выражения 6.2, 6.4 и 6.5 находят коэффициент теплоотдачи лучеиспускания.

Коэффициент теплоотдачи соприкосновением  определяют из равенства 6.6 и 6.5.

**6.5 Оценка погрешности эксперимента**

Относительная погрешность измерений при определении находится по формуле:

 (6.8)

где  - абсолютная погрешность при измерении силы тока, напряжении, поверхности и температуры,, , .

**6.6 Требования к отчёту по лабораторной работе**

Отчёт оформляется на листах формата А4 с титульным листом, в отчёт входит:

6.1 Название лабораторной работы

6.2 Основные определения и расчетные формулы

6.3 Схема экспериментальной установкии её описание

6.4 Таблица расчетных и экспериментальных значений

6.5 Выводы по работе

Все промежуточные расчеты в отчет не заносить.

**6.7 Основные требования по техники безопасности**

Основные требования по технике безопасности заключаются в следующем:

6.7.1 Перед началом работы проверить прочность крепления токоведущих частей установки.

6.7.2 Включение устройства производят при установке реостата на минимальную мощность нагревателя.

6.7.3 При включенной установки нельзя касаться руками и посторонними предметами токоведущих частей и основного цилиндра.

6.7.4 После выполнения работы следует обеспечить обесточивание установки.

6.7.5 При наличии неисправности следует отключить установку и доложить дежурному преподавателю.

**Контрольные вопросы:**

1. Что называется теплоотдачей?

2. Что характеризует коэффициент теплоотдачи?

3. Какие факторы влияют на коэффициент теплоотдачи?

4. Чему равен коэффициент теплоотдачи?

5. Как определеляется коэффициент теплоотдачи?

**Литература:**

1. Баскаков А.П. Теплотехника / А.П. Баскаков, Б.В. Берг, О.К. Витт.- М.: Энергоатомиздат, 1992.- 224 с.

2. Драганов Б.Х. Теплотехника и применение теплоты в сельском хозяйстве / Б.Х. Драганов, А.В.Кузнецов, С.П. Рудобашта – М.: Агропромиздат, 1990.-463 с.

3. Жуковский В.С. Основные теории теплопередач / В.С. Жуковский. – М.: Энергия, 1969.- 224 с.

4. Нащокин В.В. Техническая термодинамика и теплопередача / В.В. Нащокин. - М.: Высшая школа, 1975.- 496 с.

**Заключение**

Данные лабораторные работы позволят обучаемым освоить теоретические вопросы и помогут им в дальнейшей практической деятельности правильно рассчитать процессы и аппараты, при необходимости спроектировать технологический аппарат использующий энергию, определить оптимальный режим работы тепловых установок и.т.д.

**Литература**

1. Баскаков, А. П. Теплотехника / А.П. Баскаков, Б.В. Берг, О.К. Витт.- М.: Энергоатомиздат, 1992.- 224 с.

2. Драганов, Б.Х. Теплотехника и применение теплоты в сельском хозяйстве / Б.Х. Драганов, А.В.Кузнецов, С.П. Рудобашта. – М.: Агропромиздат, 1990.-463 с.

3. Жуковский, В.С. Основные теории теплопередач / В.С. Жуковский. – М.: Энергия, 1969.- 224 с.

4. Зубарев, В.Н. Практикум по технической термодинамике / В.Н. Зубарев, А.А. Александров.- М.: Энергия, 1986.-303 с.

5. Лариков, Н.Н. Общая теплотехника / Н.Н. Лариков. – М.: Стройиздат, 1975.-559 с.

6. Нащокин, В.В. Техническая термодинамика и теплопередача / В.В. Нащокин. - М.: Высшая школа, 1975.- 496 с.

7. Холодильник бытовой электрический Памир-4 : руководство по эксплуатации.