

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ АКАДЕМИКА С.П. КОРОЛЁВА»

**Изучение тепловых процессов в теплообменном
аппарате**

Методические указания к лабораторным работам

Самара 2017

Авторы:
Горшкалев Алексей Александрович,
Корнеев Сергей Сергеевич,
Угланов Дмитрий Александрович,
Урлапкин Виктор Викторович,
Шиманов Артём Андреевич

Рецензент: д-р техн. наук, проф. каф. автоматических систем энергетических установок, А.А. Иголкин

Изучение тепловых процессов в теплообменном аппарате: Методические указания к лабораторным работам / А.А. Горшкалев, С.С. Корнеев, Д.А. Угланов, В.В. Урлапкин, А.А. Шиманов; Самар. ун-т– Самара, 2017. – 18 с.: ил.

Настоящие методические указания к лабораторным работам предназначены для студентов «Института двигателей энергетических установок» Самарского университета.

В методических указаниях приведены подробные теоретические сведения о теплообменных аппаратах. Описаны основные термодинамические процессы, протекающие в теплообменных аппаратах. Приведена методика определения коэффициента теплопередачи радиатора. Подробно описана последовательность действий при выполнении лабораторных работ.

Методические указания предназначены для студентов, обучающихся по следующим направлениям подготовки бакалавра: 13.03.03 – Энергетическое машиностроение, 15.03.04 - Автоматизация технологических процессов и производств. 15.03.05 - Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств, 24.03.05 – Двигатели летательных аппаратов; по специальности 24.05.02 – Проектирование авиационных двигателей и энергетических установок, по направлению подготовки магистров 24.04.05 - Двигатели летательных аппаратов, а также может быть полезно слушателям курсов, аспирантам и специалистам. Разработано на кафедре теплотехники и тепловых двигателей.

Подготовлено на кафедре теплотехники и тепловых двигателей Самарского университета.

© Самарский государственный аэрокосмический университет, 2017

СОДЕРЖАНИЕ

Определения, обозначения и сокращения	5
1 Цели и задачи.....	6
2 Основные сведения	7
3 Описание лабораторной установки.....	10
4 Порядок выполнения работы	13
5 Обработка данных.....	15
6 Определение коэффициента теплопередачи радиатора.....	17
7 Контрольные вопросы	19

ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

Q – количество тепла, Вт

t – температура теплоносителя, °С

Δt – средний логарифмический температурный напор, °С

K – коэффициент теплопередачи, Вт/(м²·К)

F – площадь поверхности теплообмена, м²

G – расход теплоносителя, м³ / с

ρ – плотность, кг/м³

M – массовый расход теплоносителя, кг/с

c – удельная теплоёмкость, Вт/(кг·К)

d_n – наружный диаметр трубок радиатора, м

S – шаг трубок радиатора, м

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

$R_{ст}$ – термическое сопротивление стенки, (м²·К)/Вт

Индексы

1к – воздух на выходе из теплообменника с вынужденной конвекцией

2к – вода на выходе из теплообменника с вынужденной конвекцией

1н – воздух на входе в теплообменник с вынужденной конвекцией

2н – вода на входе в теплообменник с вынужденной конвекцией

вх – теплоноситель на входе в теплообменник с естественной конвекцией

вых – теплоноситель на выходе из теплообменника с естественной конвекцией

1 ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ

Цель работы: Изучение конструкции и принципов работы водовоздушных теплообменников.

Задачи работы:

1. Приобретение практических навыков расчетов параметров водовоздушных теплообменных аппаратов.

2. Закрепление теоретических знаний о охлаждении рабочей жидкости при естественной и вынужденной конвекции.

2 ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Теплообменными аппаратами (теплообменниками) называются устройства, предназначенные для передачи тепла от одного теплоносителя к другому. По принципу действия теплообменные аппараты подразделяются на три вида: рекуперативные, регенеративные и смесительные.

В теплообменных аппаратах рекуперативного типа тепло передается от горячего теплоносителя к холодному через разделяющую их стенку, которая называется поверхностью нагрева теплообменного аппарата.

Интенсивность работы теплообменного аппарата характеризуется количеством тепла, передаваемого через единицу поверхности нагрева в единицу времени. Эта величина зависит от физических свойств теплоносителей (вязкость, теплопроводность, плотность, теплоемкость), о режима их движения, от конструктивных особенностей аппарата (размеры, материал, состояние поверхности нагрева), от средней по поверхности нагрева разности температур между греющей и обогреваемой средой.

При расчете теплообменных аппаратов изменение температур теплоносителей при их движении по теплообменнику учитывается введением в расчетную формулу среднего логарифмического температурного напора Δt . Влияние остальных факторов учитывают введением коэффициента теплопередачи k , который по физическому смыслу представляет собой количество тепла, передаваемого в единицу времени через единицу поверхности нагрева при разности температур между теплоносителями в один градус. Формула для расчета количества тепла, передаваемого в теплообменном аппарате за единицу времени, имеет вид:

$$Q = k \cdot F \cdot \Delta t$$

Значение среднего логарифмического напора Δt зависит от начальных $t_{1н}, t_{2н}$ и конечных $t_{1к}, t_{2к}$ температур теплоносителей (t_1 – горячий теплоноситель, t_2 – холодный теплоноситель), а также от схемы включения

теплообменного аппарата, т.е. от взаимных направлений движения теплоносителей.

Существует три основные схемы включения: прямоточная, противоточная и перекрестная, а также множество смешанных схем, получаемых в результате различных комбинаций основных схем (рисунок 1).

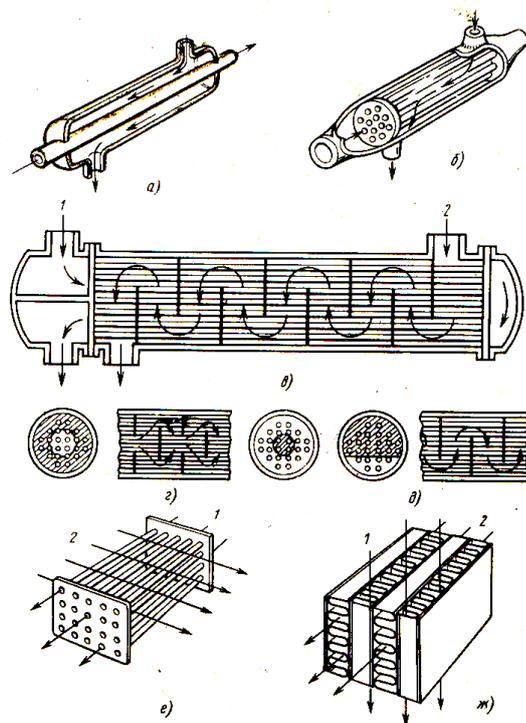


Рисунок 1 – Типичные конструктивные схемы рекуперативных теплообменных аппаратов

а – «труба в трубе» противоток; б – кожухотрубный противоток; в, г, д – кожухотрубный многократный перекрестный ток; е – трубчатый перекрестный ток; ж – пластинчато-ребристый перекрестный ток;
1 – горячий поток; 2 – холодный поток

При прямоточной схеме движения горячий и холодный теплоносители движутся вдоль поверхности нагрева в одном направлении так, что на входе в аппарат тепло передается от горячего теплоносителя к холодному при относительно большой разности температур. На выходе из аппарата тепло передается от остывшего горячего теплоносителя к холодному при меньшей разности температур.

Противоточная схема (противоток). При этой схеме движения теплоносители 1 и 2 движутся вдоль поверхности нагрева в

противоположных так, что входящий в аппарат горячий теплоноситель отдает тепло уже подогретому теплоносителю.

Коэффициент теплоотдачи k в теплообменных аппаратах определяют обычно по формулам для плоской стенки, т.к. трубки теплообменников имеют небольшую толщину по сравнению с их диаметром. Полученные формулы позволяют сравнить среднетемпературные напоры при различных схемах движения теплоносителей. Анализ их показывает, что при одинаковых температурах теплоносителей на входе и выходе их теплообменного аппарата, в противоточном теплообменнике температурный напор получается наибольшим. Благодаря большой величине температурного напора рабочая поверхность при противоточной схеме больше.

Для определения коэффициента теплопередачи требуется знать количество тепла, переданного за единицу времени в теплообменном аппарате, среднюю разность температур Δt между горячим и холодным теплоносителями и размер поверхности F . Количество тепла определяется по расходу теплоносителей, их теплоемкости и изменению их температуры в теплообменном аппарате. В идеальном аппарате, работающем без теплообмена с окружающей средой, количество тепла, отданное горячим теплоносителем Q_1 , должно равняться количеству тепла Q_2 , полученному холодным теплоносителем.

3 ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Основными элементами лабораторной установки (рисунок 2) являются теплообменный аппарат с естественной конвекцией и водо-воздушный теплообменник с вынужденной конвекцией.

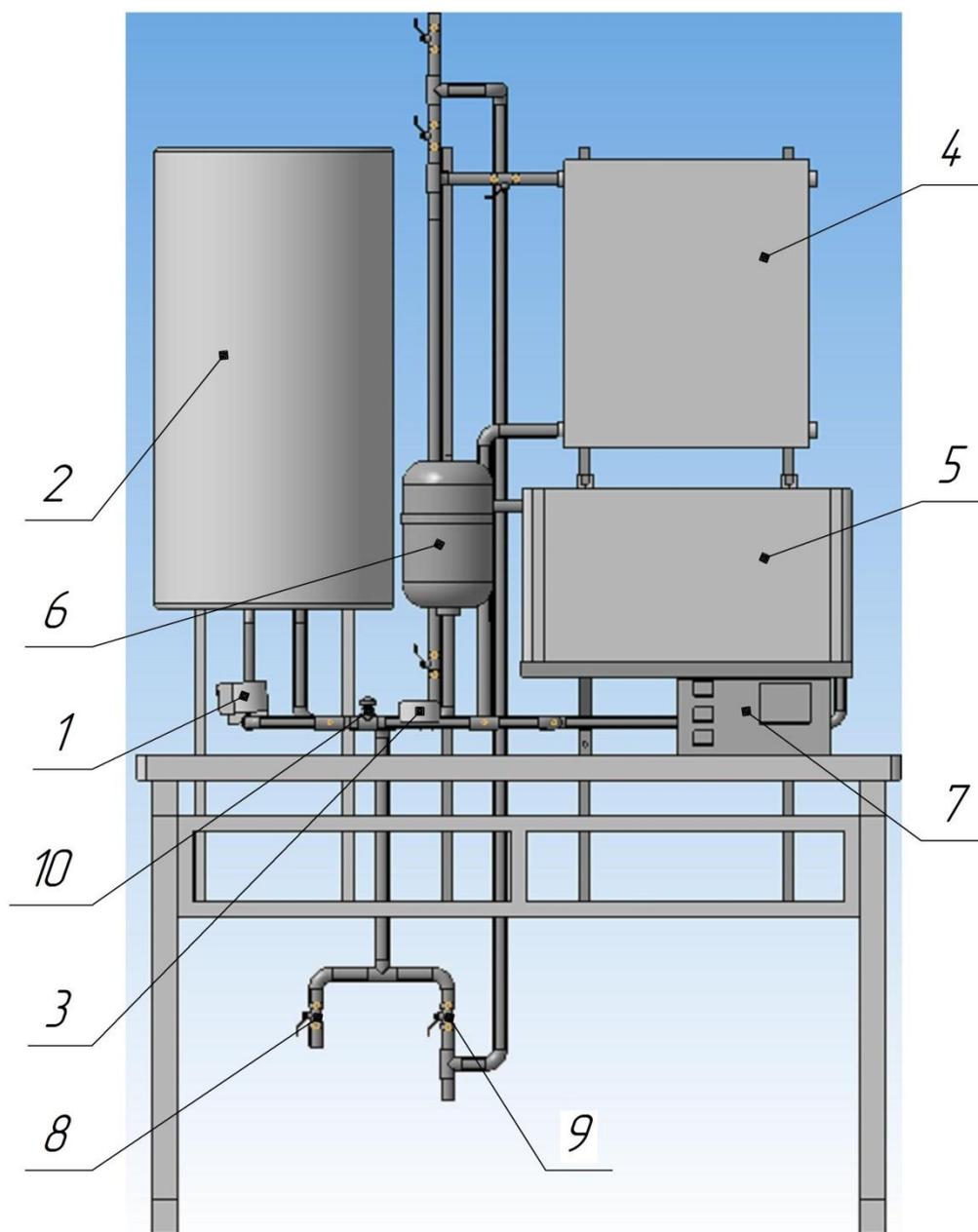


Рисунок 2 – Модель экспериментальной установки

1 – циркуляционный насос подачи горячего теплоносителя, 2 – водонагреватель, 3 – счетчик расхода теплоносителя, 4 – теплообменник с естественной конвекцией, 5 – теплообменник с вынужденной конвекцией, 6 – расширительный бак, 7 – пульт управления, 8 – кран залива воды, 9 – кран слива воды, 10 – вентиль регулировки расхода теплоносителя.

Установка имеет два контура циркуляции теплоносителя. Первый контур предназначен для испытания водо–воздушного теплообменного аппарата с вынужденной конвекцией. Второй для испытания теплообменного аппарата с естественной конвекцией. Для разграничения этих контуров используются краны, которые вмонтированы в трубопровод.

В данной лабораторной установке для первого контура применяется трубчато–пластинчатый радиатор системы охлаждения двигателя, который устанавливается на автомобиль «LADA Priora» (рисунок 3).

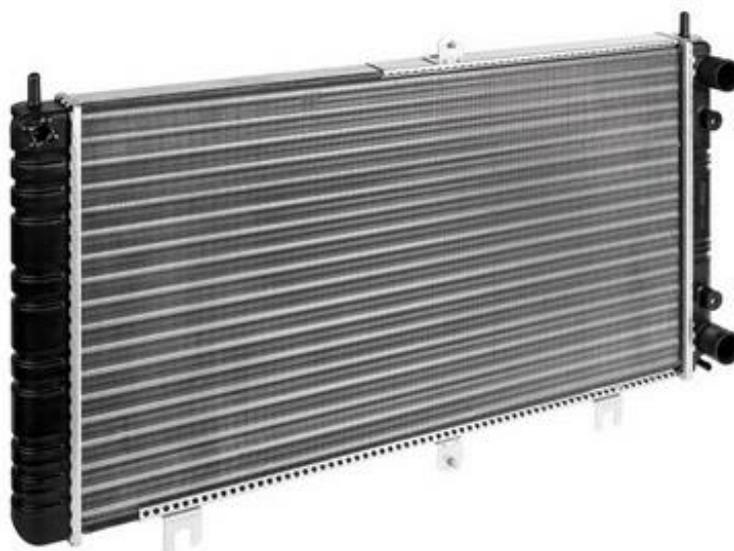


Рисунок 3 – Радиатор автомобильный

Для того, чтобы имитировать на установке условия вынужденной конвекции, применяется электрический вентилятор радиатора двигателя, который крепится к задней поверхности радиатора (рисунок 4).



Рисунок 4 – Вентилятор радиатора охлаждения

Во втором контуре циркуляции теплоносителя установлен алюминиевый радиатор, который применяется в системах отопления жилых помещений (рисунок 5).



Рисунок 5 – Радиатор отопления

Для измерения температур теплоносителей служат температурные датчики, установленные на входе и выходе теплообменников, а также на поверхности теплообменника с вынужденной конвекцией. Показания датчиков выводятся на экран пульта управления. Направление потока горячего теплоносителя во всех экспериментах остается постоянным. Минутный расход горячего теплоносителя для аппарата определяется по изменению показаний счетчика за заданный промежуток времени.

4 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Изучить методические указания, заготовить форму отчета о проведенной работе, в которую внести название и цель работы, основные сведения об изучаемых процессах, схему экспериментальной установки, заготовить таблицу 1 и 2 для записи результатов измерений и вычислений.
2. Подготовить установку к испытаниям теплообменника. Для этого включаем питание стенда кнопкой «Сеть 220 В», затем включить водонагреватель кнопкой «Водонагреватель ВКЛ» и нагреть воду до $t = 80 \text{ } ^\circ\text{C}$.
3. Для изучения теплообменного аппарата с вынужденной конвекцией открыть кран 11 (рисунок 6) для циркуляции теплоносителя по контуру с автомобильным радиатором и перекрыть кран 12 для контура с радиатором системы отопления. (Для изучения теплообменного аппарата с естественной конвекцией производить обратные действия).

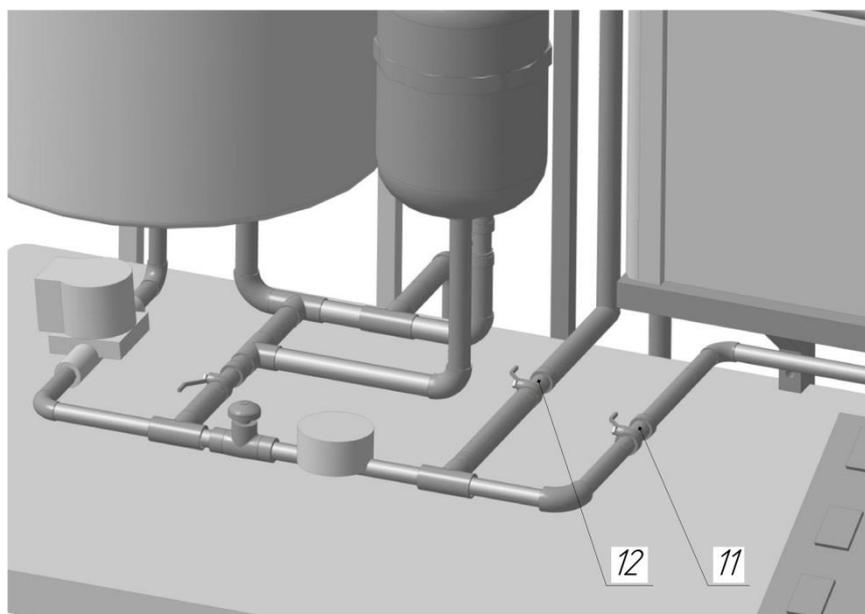


Рисунок 6 – Переключение контура циркуляции

4. Для изучения теплообменного аппарата с вынужденной конвекцией включить вентилятор радиатора кнопкой «Вентилятор ВКЛ». (Для

изучения теплообменного аппарата с естественной конвекцией это действие не производится).

5. Включить циркуляционный насос кнопкой «Насос ВКЛ».
6. Засечь на секундомере время при пуске насоса для определения расхода воды.
7. При установлении стационарного теплового режима занести результаты измерений температур ($t_{1к}$ – температура воздуха на выходе из теплообменника с вынужденной конвекцией, $t_{2н}$ – температура воды на входе в теплообменник с вынужденной конвекцией, $t_{2к}$ – температура воды на выходе из теплообменника с вынужденной конвекцией, t_{ex} – температура теплоносителя на входе в теплообменник с естественной конвекцией, $t_{вых}$ – температура теплоносителя на выходе из теплообменника с естественной конвекцией) в таблицу 1.
8. $t_{1н}$ – температура воздуха на входе в водо-воздушный теплообменник с вынужденной конвекцией соответствует комнатной температуре.
9. Изменить, расход теплоносителя посредством поворота крана 10 и повторить измерения.
10. Определить средний логарифмический температурный напор и коэффициент теплопередачи для теплообменника.
11. Результаты измерений и вычислений занести в таблицы 1 и 2.
12. Сделать выводы о проделанной работе.

5 ОБРАБОТКА ДАННЫХ

1. Необходимо определить основные геометрические параметры водо-воздушного теплообменника с вынужденной конвекцией. Записать результаты в таблицу 2.
2. Площадь поверхности водо-воздушного теплообменника с вынужденной конвекцией $F = 1 \text{ м}^2$.
3. Массовый расход воздуха и воды определяется по следующему соотношению:

$$M_{\text{возд}} = G_{\text{возд}} \cdot \rho_{\text{возд}}, M_{\text{вод}} = G_{\text{вод}} \cdot \rho_{\text{вод}} \text{ (кг/с)},$$

где $G_{\text{возд}} = 0,1$ - расход воздуха, $\text{м}^3 / \text{с}$;

$G_{\text{вод}}$ - расход воды, $\text{м}^3 / \text{с}$;

$\rho_{\text{возд}}, \rho_{\text{вод}}$ - плотности воздуха и воды (таблица 3).

4. Тепловая нагрузка находится из уравнения теплового баланса

$$Q = M_{\text{вод}} \cdot c_{\text{вод}} \cdot (t_{2н} - t_{2к}), \text{ (Вт)}$$

$c_{\text{вод}}$ - удельная теплоемкость воды (таблица 4),

$t_{2н}, t_{2к}$ - начальная и конечная температура воды, $^{\circ}\text{C}$.

5. Средняя разность температур (температурный напор) определяется по формуле:

$$\Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_{\delta} + \Delta t_{\text{м}}}{2} \text{ при } \frac{\Delta t_{\delta}}{\Delta t_{\text{м}}} \leq 1,4$$

$$\Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_{\delta} + \Delta t_{\text{м}}}{\ln\left(\frac{\Delta t_{\delta}}{\Delta t_{\text{м}}}\right)} \text{ при } \frac{\Delta t_{\delta}}{\Delta t_{\text{м}}} > 1,4,$$

где $\Delta t_{\delta}, \Delta t_{\text{м}}$ - значения большего и меньшего температурных напоров в начале и конце поверхности теплообмена, $^{\circ}\text{C}$.

Определяются:

$$\Delta t_{\delta} = t_{1н} - t_{2н}, \Delta t_{\text{м}} = t_{1к} - t_{2к},$$

$t_{1н}, t_{1к}$ - начальная и конечная температура воздуха, $^{\circ}\text{C}$.

6. Коэффициент теплопередачи для каждого режима определяется по формуле:

$$k = \frac{Q}{F \cdot \Delta t_{cp}} \left(\frac{Вт}{м^2 \cdot К} \right).$$

Таблица 1. Результаты измерений и вычислений при испытаниях водо-воздушного теплообменника с вынужденной конвекцией.

№	$G_{вод},$ $м^3 / с$	$t_{1к},$ $^{\circ}C$	$t_{2н},$ $^{\circ}C$	$t_{2к},$ $^{\circ}C$	$t_{ex},$ $^{\circ}C$	$t_{вых},$ $^{\circ}C$	$M_{возд},$ $кг / с$	$M_{вод},$ $кг / с$	$Q,$ $Вт$	$\Delta t_{cp},$ $^{\circ}C$	$k,$ $\frac{Вт}{(м^2 \cdot К)}$
1											
2											
3											
4											
5											

Таблица 2. Результаты измерений и вычислений основных характеристик водо-воздушного теплообменника с вынужденной конвекцией

Название характеристики	Значение
Наружный диаметр трубок d_n , м	
Шаг трубок по фронту s_1 , м	
Шаг трубок по глубине s_2 , м	
Шаг ребер s_p , м	

6 ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ РАДИАТОРА

Коэффициентом теплопередачи принято называть плотность теплового потока, проходящего через стенку, разделяющую две среды, при разности температур сред. В отопительном приборе системы водяного отопления металлическая стенка разделяет воду, находящуюся с внутренней стороны и воздух – с наружной. Величина коэффициента теплопередачи зависит, главным образом, от условий теплоотдачи с внутренней и наружной стороны.

Коэффициент теплопередачи отопительного радиатора, определяется по формуле:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + R_{cm} + \frac{1}{\alpha_2}} \left(\frac{Bm}{m^2 \cdot K} \right),$$

где α_1 и α_2 - коэффициенты теплоотдачи, соответственно на внутренней и наружной поверхности стенки, $\left(\frac{Bm}{m^2 \cdot K} \right)$.

R_{cm} - термическое сопротивление стенки, зависящее от её толщины и коэффициента теплопроводности материала. В отопительных приборах, выполненных из металла, при небольшой толщине стенки этот элемент существенного значения не имеет.

Количество теплоты, отдаваемой радиатором в окружающую среду, определяется по зависимости:

$$Q = k \cdot S \cdot (t_{cp} - t_{окр}),$$

где Q - теплоотдача (тепло производительность, радиатора), Вт;

k - коэффициент теплопередачи радиатора, $\left(\frac{Bm}{m^2 \cdot K} \right)$;

S - площадь наружной поверхности отопительного прибора, $S = m^2$.

Средняя температура теплоносителя в отопительном приборе, определяемая как среднее значение температур теплоносителя на входе в прибор и на вы ходе из него:

$$t_{cp} = \frac{t_{ex} + t_{вых}}{2}, (^\circ C),$$

где t_{ex} – температура теплоносителя на входе в прибор, $^\circ C$;

$t_{вых}$ – температура теплоносителя на выходе, $^\circ C$.

Величина S определяется произведением количества секций радиатора на площадь поверхности одной секции, которая в радиаторе лабораторной установки составляет m^2 .

Коэффициент теплопередачи радиатора водяного отопления, может быть определен с помощью уравнения:

$$k = \frac{Q}{S \cdot (t_{cp} - t_{окр})}, \left(\frac{Bm}{m^2 \cdot K} \right).$$

Теплопроизводительность радиатора вычисляется по формуле:

$$Q = M_{вод} \cdot c_{вод} \cdot (t_{ex} - t_{вых})$$

7 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Назовите преимущества и недостатки испытанных теплообменных аппаратов с точки зрения организации движения теплоносителей.
2. Что называется коэффициентом теплопередачи? Каков физический смысл единицы его измерения?
3. Какие факторы и параметры теплообменных аппаратов влияют на величину коэффициента теплопередачи?
4. В чем заключаются преимущества противоточной схемы по сравнению с прямоточной?
5. Может ли температура горячего теплоносителя на выходе из теплообменника быть меньше температуры холодного теплоносителя на выходе из теплообменника?
6. В каких случаях при расчете теплообменника можно пользоваться средним арифметическим температурным напором?
7. В каких технологических процессах используются теплообменные аппараты?