

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
**УНИВЕРСИТЕТ ИТМО**

**ТЕПЛООБМЕННЫЕ АППАРАТЫ  
ЦЕНТРАЛЬНОГО КОНДИЦИОНЕРА**

**Учебно-методическое пособие**

 **УНИВЕРСИТЕТ ИТМО**

**Санкт-Петербург**

**2015**

УДК 628.84

**Теплообменные аппараты центрального кондиционера:** Учеб.-метод. пособие/Цыганков А.В., Рубцов А.К., Рябова Т.В., Алёшин А.Е. – СПб.: Университет ИТМО; ИХиБТ, 2015. – 32 с.

Представлены принципиальная схема и технические данные центрального кондиционера, теплообменного оборудования и измерительных средств. Описан порядок проведения работ и обработки экспериментальных данных, порядок оформления и защиты лабораторной работы. Предназначено для бакалавриата направления 16.03.03 и магистратуры направления 16.04.03 Холодильная, криогенная техника и системы жизнеобеспечения всех форм обучения.

**Рецензент: доктор техн. наук, проф. В.А. Пронин**

**Рекомендовано к печати редакционно-издательским советом  
Института холода и биотехнологий**



**Университет ИТМО** – ведущий вуз России в области информационных и фотонных технологий, один из немногих российских вузов, получивших в 2009 году статус национального исследовательского университета. С 2013 года Университет ИТМО – участник программы повышения конкурентоспособности российских университетов среди ведущих мировых научно-образовательных центров, известной как проект «5 – 100». Цель Университета ИТМО – становление исследовательского университета мирового уровня, предпринимательского по типу, ориентированного на интернационализацию всех направлений деятельности.

© Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, 2015

© Цыганков А.В., Рубцов А.К., Рябова Т.В., Алёшин А.Е., 2015

## ВВЕДЕНИЕ

Центральные кондиционеры (ЦК), нашедшие широкое применение в комфортном и технологическом кондиционировании, представляют собой неавтономные системы, снабжаемые извне холодом, теплом и электроэнергией.

Как правило, такие кондиционеры предназначены для обслуживания нескольких помещений, но иногда несколько центральных кондиционеров обслуживают одно помещение больших размеров (театральный зал, закрытый стадион, производственный цех и т. п.).

Современные ЦК имеют модульное исполнение и состоят из унифицированных типовых секций (трехмерных модулей), предназначенных для нагрева, охлаждения, очистки, осушки, увлажнения и перемещения воздуха.

Эффективность систем кондиционирования воздуха во многом зависит от конструкции и режимов эксплуатации теплообменного оборудования. Лабораторные работы, выполняемые на экспериментальной установке кафедры кондиционирования, позволяют получить навыки измерения основных теплофизических характеристик электрического воздухонагревателя (лабораторная работа № 1), водяного охладителя (лабораторная работа № 2), и рекуператора (лабораторная работа № 3).

## Описание экспериментальной установки

Экспериментальная установка представляет собой полноценный центральный кондиционер, обслуживающий помещения кафедры. В состав установки входят: заслонки, фильтры, рекуператор, байпас, чиллер, электрический нагреватель, увлажнитель, шумоглушители, вентиляторы, воздухоохладитель.

Фотографии установки и её принципиальная схема представлены на рис. 1–2.

а



Рис. 1. Экспериментальная установка (вид а)

6



Рис. 1. Экспериментальная установка (вид б)

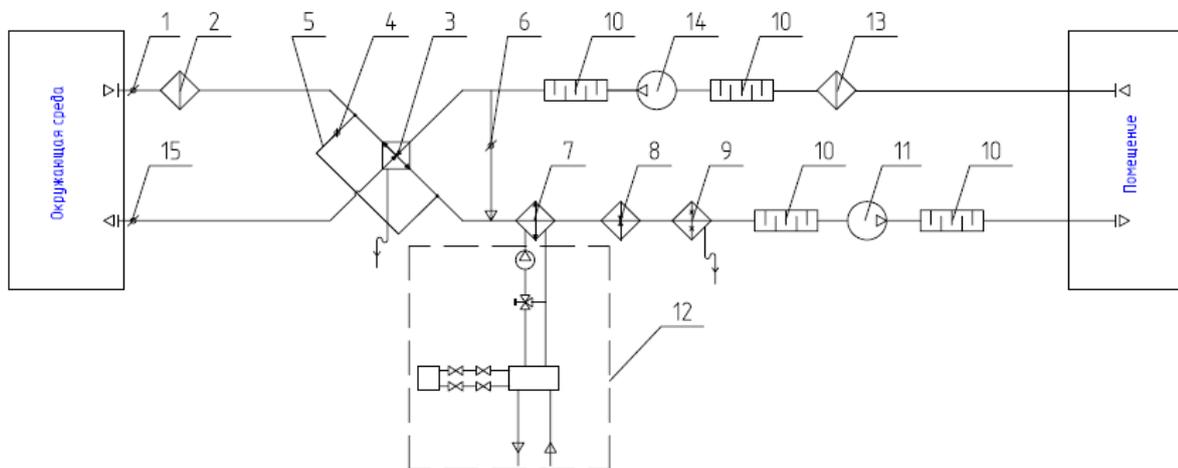


Рис. 2. Принципиальная схема экспериментальной установки:  
 1 – заслонка отсекающая; 2 – фильтр наружного воздуха; 3 –рекуператор;  
 4 – заслонка байпасного канала; 5 – байпас; 6 – рециркуляционная заслонка;  
 7 – воздухоохладитель; 8 – электрический нагреватель; 9 – увлажнитель;  
 10 – шумоглушитель; 11 – приточный вентилятор; 12 – водоохлаждающая машина;  
 13 – фильтр удаляемого воздуха; 14 – вытяжной вентилятор;  
 15 – заслонка отсекающая

## **Основные правила техники безопасности при работе на стенде «Центральный кондиционер»**

1. К работе на установке допускаются студенты, прошедшие инструктаж и получившие зачет по технике безопасности.
2. Инструктаж по технике безопасности проводит преподаватель, ведущий занятия в группе, перед каждой лабораторной работой.
3. Проверку работоспособности установки, ее включение и разрешение на проведение опытов дает преподаватель, ведущий занятия.
4. При проведении опытов не допускается снятие защитных кожухов, переключение электрических проводов и изменение режимов работы автоматики установки.
5. После выполнения опытов следует, привести рабочее место в порядок, выключить измерительные приборы и предъявить их лаборанту.

### **Подготовка измерительного прибора Testo-480**

Через USB кабель подключить прибор (рис. 3–5) к компьютеру, и запустить программу Testo EasyClimate. Интерфейс программы показан на рис. 6–7.

Используя вкладку «Проводник» установить:

место измерения (электрический нагреватель, водяной воздухоохладитель, рекуператор);

точки измерения (входное сечение, выходное сечение);

программы измерения (температура, влажность, динамическое давление, расход);

параметры программы измерения (тип подключаемого зонда или внутренний сенсор, размерность измеряемых величин, форма представления результатов измерения, время и/или количество замеров, режим запуска и остановки измерений, количество точек измерительной сетки, геометрические размеры проходного сечения).

*Примечание. Изменение предварительно установленных настроек прибора проводить только по указанию преподавателя.*

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

### Процесс нагрева воздуха в электрическом нагревателе

Цели работы:

– закрепление на практике теоретических знаний из соответствующих разделов курсов специальных дисциплин магистерской подготовки по направлению «Холодильная, криогенная техника и системы жизнеобеспечения»

– приобретение практических навыков испытаний электрического нагревателя ЦК: измерение параметров влажного воздуха; построение и анализ процессов нагрева воздуха в  $h-d$  диаграмме; оценка эффективности работы воздухонагревателя.

Объект исследования

Объектом исследований является электрический обогреватель EOSX 60-35/22 чешской фирмы REMAK (рис. 3)

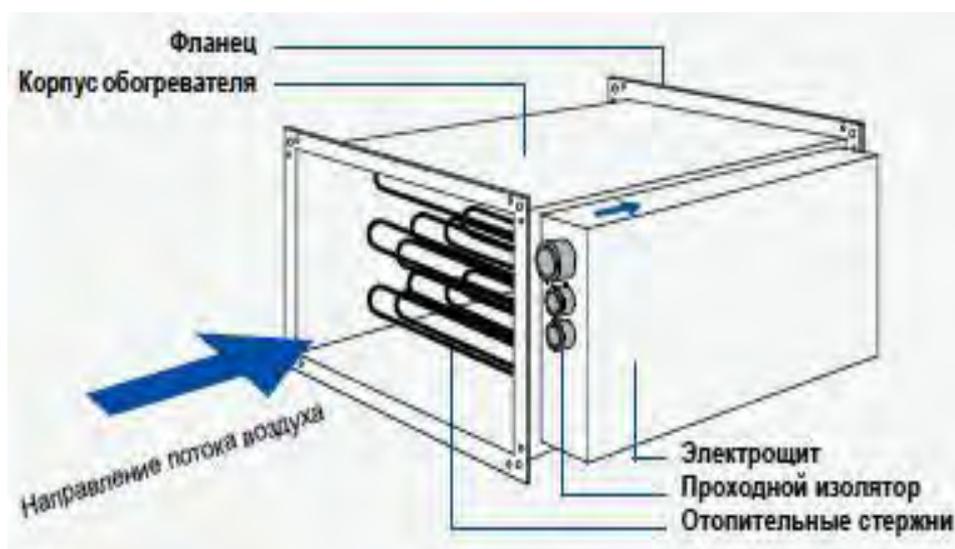


Рис. 3. Электрический обогреватель EOSX 60-35/22

Основные параметры обогревателя:

1. проходное сечение – 600×350 мм;
2. напряжение 3×400 В (четырёхпроводная схема подключения);
3. количество отопительных стержней – 9 шт.;
4. мощность одного стержня – 2,5 кВт (максимальная мощность обогревателя – 22,5 кВт);
5. деление мощности 1/3 (7,5-15-22,5).

## Порядок проведения работы

### 1. Подготовительные работы

Студенты должны заранее ознакомиться с конструкцией и особенностями центрального кондиционера и обогревателя, порядком проведения работы, измерительными приборами, местами замеров. Подготовить необходимое оборудование:

- а) прибор для измерения климатических параметров Testo-480 (рис. 4);
- б) трубка Пито;
- в) цифровой зонд для измерения температуры и влажности;
- г) анализатор электропотребления AR5-L.

*Примечание.* Руководство пользователя Testo-480 на сайте [www.testo.com](http://www.testo.com), руководство пользователя AR5-L на сайте [www.circutor.ru](http://www.circutor.ru).

### 2. Измерение температуры и влажности воздушного потока

- а) присоединить к прибору цифровой зонд для измерения температуры и влажности;
- б) включить прибор;
- в) выбрать место, точку и программу измерения;
- г) ввести зонд в технологическое отверстие точки замера в сечении воздуховода на входе в воздухонагреватель;
- д) провести измерение температуры и относительной влажности воздуха;
- е) переместить зонд в выходное сечение и измерить температуру и влажность воздуха;
- ж) проконтролировать результаты измерений в созданной прибором папке результатов измерений;
- з) занести контрольные результаты измерений температуры влажности и энтальпии в табл. 1;
- и) отключить прибор и отсоединить зонд.

*Примечание.* После включения прибор автоматически распознает подключенный зонд.



Рис. 4. Прибор для измерения климатических параметров Testo-480

3. Измерение расхода во входном и выходном сечениях обогревателя:

а) присоединить к прибору трубку Пито. Канал полного давления подключить к штуцеру прибора с маркировкой «+», канал статического давления соединить со вторым штуцером;

б) включить прибор;

в) выбрать на приборе Testo-480 место, точку и программу (сетку) измерений;

г) ввести трубку Пито в технологическое отверстие точки замера во входном сечении нагревателя;

д) установить г-образный приемник полного давления по потоку в первой точке измерительной сетки и провести измерение;

е) повторить измерения динамического давления в остальных точках измерительной сетки;

ж) переместить зонд в выходное сечение и провести измерение динамического давления во всех точках измерительной сетки;

- з) проконтролировать результаты измерений в созданной прибором папке результатов измерений;
- и) занести контрольные результаты измерений в табл. 1;
- к) отключить прибор и отсоединить зонд.

#### 4. Измерение потребляемой электрической мощности:

- а) подключить к прибору AR5-L провода напряжения и токовые клещи по схеме, приведенной на рис. 5;
- б) установить переключатель диапазона измерений на токовых клещах в положение «200»;
- в) задать тип измеряемой сети (трехфазная сеть, четыре провода), для чего выполнить комбинацию команд SET->SETUP->MEASURE->WIRING-> 3Ф 4WIRES. Для подтверждения выбора нажать клавишу ENTER;
- г) под руководством преподавателя подключить измерительный прибор AR5-L к силовой цепи обогревателя;
- д) включить прибор и провести измерение основных электрических параметров сети;
- е) занести результаты измерений в табл. 2;
- ж) выключить прибор.

#### 5.Изменение режима работы ЦК

Изменение режима проводит преподаватель за счет изменения установленной температуры приточного воздуха или сопротивления воздушной сети.

После выхода ЦК на стационарный тепловой режим повторить измерения, начиная с п. 2.

*Примечание. Выход на стационарный режим контролируется по температуре в выходном сечении воздухонагревателя.*

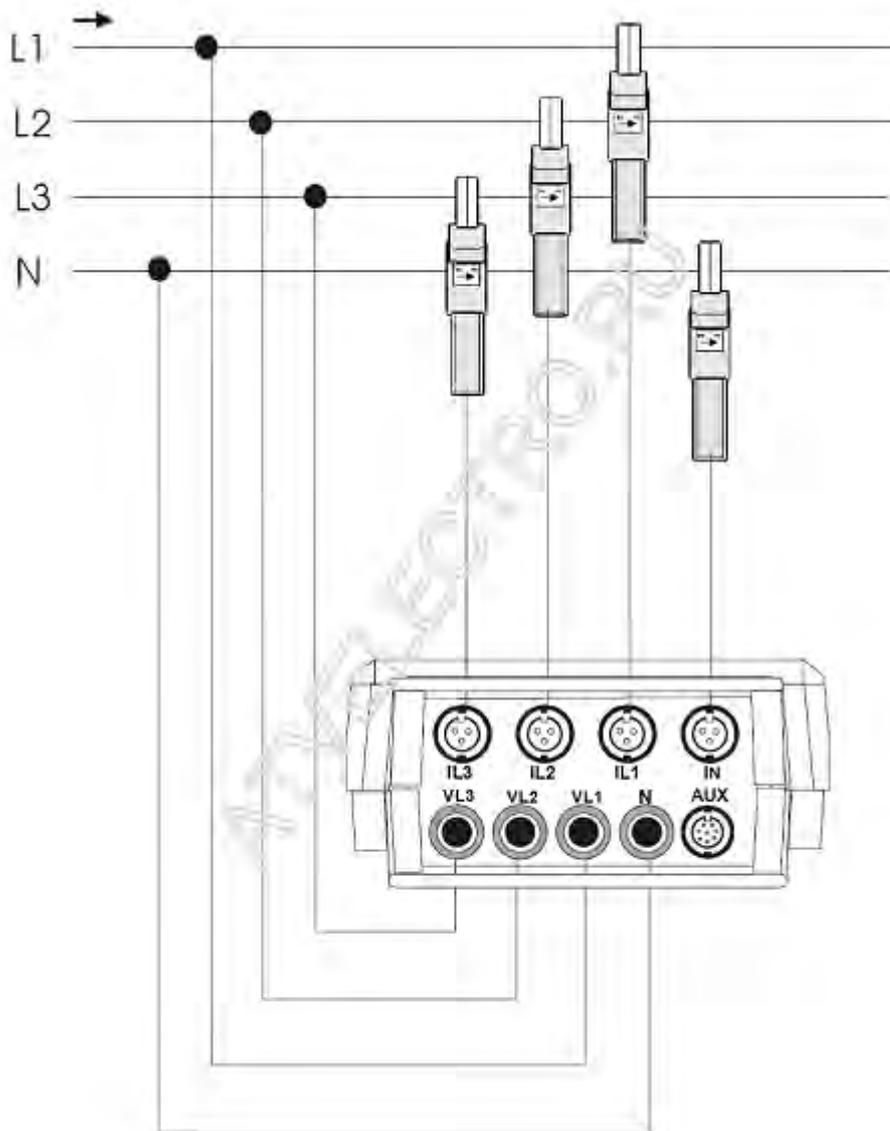


Рис. 5. Схема подключения измерительного прибора AR5-L



Рис. 6. Стартовый экран testo EasyClimate

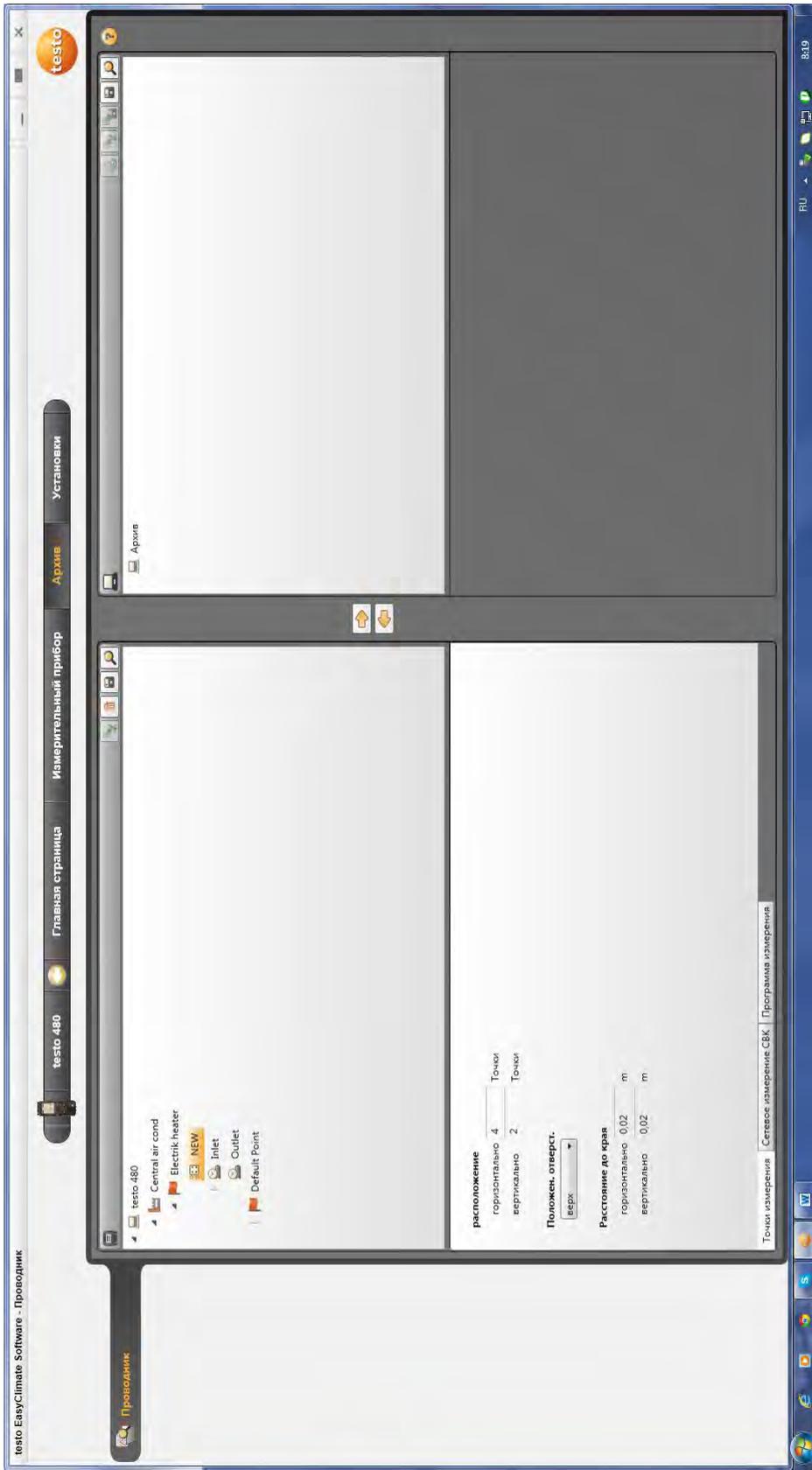


Рис. 7. Экран проводника testo EasyClimate

Таблица 1

## Электрические параметры сети

Измеряемые параметры	Режим №1				Режим №2			
	$L1$	$L2$	$L3$	III	$L1$	$L2$	$L3$	III
$U, В$								
$I, А$								
$KF (\cos F)$								
$N, кВт$								

Обозначения в табл. 1:

$L_i$  – фазовый параметр;

III – параметр осредненный по трем фазам;

$U$  – фазовое напряжение;

$KF$  – коэффициент фазовой мощности;

$N$  – активная мощность

Таблица 2

**Теплотехнические параметры воздухонагревателя**

Измеряемый параметр	Режим № 1		Режим № 2	
	Вход	Выход	Вход	Выход
$t, ^\circ\text{C}$				
$\varphi, \%$				
$h, \text{кДж/кг}$				
$v, \text{м/с}$				
$L, \text{м}^3/\text{ч}$				
$\Delta P_1, \text{Па}$				
$\Delta P_2, \text{Па}$				
$\Delta P_3, \text{Па}$				
$\Delta P_i, \text{Па}$				
$\Delta P_n, \text{Па}$				

Обозначения в табл. 2:

$t$  – температура;

$\varphi$  – относительная влажность;

$h$  – энтальпия;

$v$  – скорость;

$L$  – расход;

$(\Delta P_1, \Delta P_2, \dots, \Delta P_i, \dots, \Delta P_n)$  – динамическое давление в узлах измерительной сетки.

$n$  – количество узлов измерительной сетки (4).

## 6. Обработка результатов измерений

Для каждого режима работы ЦК по экспериментальным данным, занесенным в таблицу 1 вычислить тепловую мощность подогревателя.

$$Q_m = 0,34 * L * (t_{\text{вых}} - t_{\text{вх}})/1000$$

Для каждого режима работы ЦК по экспериментальным данным, занесенным в таблицу 2 вычислить электрическую мощность воздухонагревателя.

$$Q_э = [\sum_{i=1}^3 U_i * I_i * (KF)_i] / 1000$$

Результаты расчетов занести в табл. 3.

Таблица 3

**Результаты расчетов**

Расчетный параметр	Режим № 1	Режим № 2
$Q_m$ , кВт		
$Q_э$ , кВт		

Обозначения в табл. 3:

$Q_m$  – тепловая мощность;

$Q_э$  – электрическая мощность.

## 7. Оформление отчета

В результате проделанной работы студент на листе формата А4 представляет отчет, содержащий следующие сведения и разделы:

- ФИО, № группы, дата;
- название и цели работы;
- тип, модель, фирма-производитель обогревателя;
- применявшиеся измерительные приборы и зонды;
- таблицы результатов измерений;
- $h-d$  диаграмма с процессом нагрева;
- формулы и расчеты;
- выводы по работе.

## Контрольные вопросы по лабораторной работе № 1

1. При каком постоянном параметре протекает процесс нагрева воздуха?
2. Как и почему изменяется относительная влажность?
3. По какому основному параметру подбирают (рассчитывают) воздухонагреватель?
4. Какой элемент является основным в электрическом воздухонагревателе?
5. Как можно регулировать процесс нагрева в электрическом воздухонагревателе?
6. Как обеспечивается защита электрического воздухонагревателя от перегрева?
7. Почему у электрического воздухонагревателя нет обрешетки?
8. Вся ли электрическая мощность преобразуется в тепловую?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

### Процесс охлаждения воздуха в водяном воздухоохладителе

#### Цели работы:

– Закрепление на практике теоретических знаний из соответствующих разделов курсов специальных дисциплин магистерской подготовки по направлению «Холодильная, криогенная техника и системы жизнеобеспечения»

– Приобретение практических навыков испытаний водяного охладителя ЦК измерение параметров влажного воздуха; построение и анализ процессов охлаждения воздуха в  $h-d$  диаграмме; оценка эффективности работы охладителя.

#### Объект исследования

Объектом исследований является воздухоохладитель СНV 60-35/3L чешской фирмы РЕМАК (см. рис. 8). Корпус охладителя изготовлен из оцинкованного листа. Коллекторы сварены из стальных трубок с поверхностной обработкой синтетической краской. Поверхность теплообмена создают алюминиевые пластины толщиной 0,1 мм, натянутые на медные трубки диаметром 10 мм. Охладитель трехрядный в левом исполнении, оборудован каплеуловителем и изолированной ванной для отвода конденсата. Проходное сечение – 600×350 мм.



Рис. 8. Водяной воздухоохладитель

## Порядок проведения работы

### 1. Подготовительные работы:

Студенты должны заранее ознакомиться с конструкцией и особенностями центрального кондиционера и водяного воздухоохладителя, порядком проведения работы, измерительными приборами, местами замеров. Подготовить необходимое оборудование:

а) прибор для измерения климатических параметров Testo-480 (рис. 4);

б) цифровой зонд с контактным датчиком для измерения температуры;

в) цифровой зонд для измерения температуры и влажности воздушного потока;

г) трубка Пито.

*Примечание. Руководство пользователя Testo-480 на сайте [www.testo.com](http://www.testo.com)*

### 2. Измерение температуры и влажности воздушного потока:

а) присоединить к прибору цифровой зонд для измерения температуры и влажности воздушного потока;

б) включить прибор;

в) выбрать место, точку и программу измерения;

г) ввести зонд в технологическое отверстие точки замера в сечении воздуховода на входе в воздухоохладитель;

д) провести измерение температуры и относительной влажности воздуха;

е) переместить зонд в выходное сечение охладителя и измерить температуру и влажность воздуха;

ж) проконтролировать результаты измерений в созданной прибором папке результатов измерений;

з) занести контрольные результаты измерений температуры влажности и энтальпии в табл. 4;

и) отключить прибор и отсоединить зонд.

### 3. Измерение расхода воздуха во входном и выходном сечениях охладителя:

а) присоединить к прибору трубку Пито. Канал полного давления подключить к штуцеру прибора с маркировкой «+», канал статического давления соединить со вторым штуцером;

- б) включить прибор;
- в) выбрать на приборе Testo-480 место, точку и программу (сетку) измерений;
- г) ввести трубку Пито в технологическое отверстие точки замера во входном сечении охладителя;
- д) установить г-образный приемник полного давления по потоку в первой точке измерительной сетки и провести измерение;
- е) повторить измерения динамического давления в остальных точках измерительной сетки;
- ж) переместить зонд в выходное сечение и провести измерение динамического давления во всех точках измерительной сетки;
- з) проконтролировать результаты измерений в созданной прибором папке результатов измерений;
- и) занести контрольные результаты измерений в табл. 4;
- к) отключить прибор и отсоединить зонд.

#### 4. Измерение температуры хладагента:

- а) присоединить к прибору цифровой зонд для контактного измерения температуры;
- б) включить прибор;
- в) выбрать место, точку и программу измерения;
- г) ввести зонд в гильзу, установленную во входном трубопроводе хладагента;
- д) провести измерение температуры хладагента;
- е) переместить зонд в гильзу, установленную в выходном канале и измерить температуру хладагента;
- ж) проконтролировать результаты измерений в созданной прибором папке результатов измерений;
- з) занести контрольные результаты измерений температуры влажности и энтальпии в табл. 5;
- и) отключить прибор и отсоединить зонд.

5. Измерение расхода хладагента проводится счетчиком воды крыльчатый СВК–15–3, который стационарно установлен на входном трубопроводе:

- а) включить секундомер, зафиксировать показания счетчика и занести их в табл. 6;
- б) по истечении 10 минут выключить секундомер, зафиксировать показания счетчика и занести их в табл. 7.

## 6. Изменение режима работы ЦК.

Изменение режима проводит преподаватель за счет изменения установленной температуры воздуха на выходе из ЦК или температуры и расхода хладагента.

После выхода ЦК на стационарный тепловой режим повторить измерения, начиная с п.2.

*Примечание. Выход ЦК на стационарный режим контролируется по температуре воздуха в выходном сечении воздухоохладителя и температуре хладагента на выходе из воздухоохладителя.*

Таблица 4

### Теплотехнические параметры воздухоохладителя

Измеряемый параметр	Режим № 1		Режим № 2	
	Вход	Выход	Вход	Выход
$t, ^\circ\text{C}$				
$\varphi, \%$				
$v, \text{м/с}$				
$L, \text{м}^3/\text{ч}$				

Обозначения в табл. 4:

$t$  – температура;

$\varphi$  – относительная влажность;

$v$  – скорость;

$L$  – расход;

Таблица 5

### Температура хладагента

Температура	Режим № 1		Режим № 2	
	Вход	Выход	Вход	Выход
$t_x, ^\circ\text{C}$				

Таблица 6

### Расход хладагента

Показание счетчика	Режим № 1		Режим № 2	
	Старт	Стоп	Старт	Стоп
$G_x, \text{м}^3$				

## 7. Обработка результатов измерений.

Для каждого режима работы ЦК по экспериментальным данным, занесенным в таблицы 5–6 вычислить тепловую мощность передаваемую хладагентом.

$$Q_x = c_x * \rho_x * \Delta t_x * \Delta G_x / 600$$

где  $c_x$  – теплоемкость хладагента,  $\rho_x$  – плотность хладагента,  $\Delta t_x$  – изменение температуры хладагента в воздухоохладителе,  $\Delta G_x$  – изменение показания счетчика за время измерения (600 секунд).

Для каждого режима работы ЦК по экспериментальным данным, занесенным в табл. 4 при помощи  $h-d$  диаграммы определить изменение тепловой мощности воздушного потока (изменение энтальпии) в воздухоохладителе.

Результаты расчетов занести в табл. 7.

Таблица 7

### Результаты расчетов

Расчетный параметр	Режим № 1	Режим № 2
$Q_x$ , кВт		
$Q_m$ , кВт		

## 8. Оформление отчета

В результате проделанной работы студент на листе формата А4 представляет отчет, содержащий следующие сведения и разделы:

- ФИО, № группы, дата;
- название и цели работы;
- тип, модель, фирма-производитель обогревателя;
- применявшиеся измерительные приборы и зонды;
- таблица результатов измерений;
- $h-d$  диаграмма с процессом охлаждения воздуха;
- формулы и расчеты;
- выводы по работе;

## Контрольные вопросы по лабораторной работе № 2

1. Как может протекать процесс охлаждения воздуха?
2. Как и почему изменяется относительная влажность в процессе охлаждения воздуха?
3. По какому основному параметру подбирают (рассчитывают) воздухоохладитель?
4. Зачем выполнено оребрение на трубках?
5. Как можно регулировать процесс охлаждения в водяном воздухоохладителе?
6. Как работает смесительный узел?
7. Какие хладоносители можно в воздухоохладителе использовать?
8. Зачем нужен каплеуловитель, всегда ли он устанавливается?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

### Процесс теплообмена в пластинчатом рекуператоре

Цели работы:

– Закрепление на практике теоретических знаний из соответствующих разделов курсов специальных дисциплин магистерской подготовки по направлению «Холодильная, криогенная техника и системы жизнеобеспечения»

– Приобретение практических навыков испытаний пластинчатого рекуператора ЦК, измерение параметров влажного воздуха; построение и анализ процессов теплопереноса в  $h-d$  диаграмме; оценка эффективности рекуператора.

Объект исследования.

Объектом исследований является пластинчатый рекуператор HRV 60-35 чешской фирмы REMAK. Корпус рекуператора и фланцы изготовлены из оцинкованного листа. Рекуператор оснащен теплообменной вставкой из тонких алюминиевых листов. Герметичность каналов приточного и вытяжного воздуха обеспечивается загибом краев пластин и заливкой соединений полиэфирной смолой. Для отвода конденсата, возникающего в теплообменной вставке, предусмотрен выпуск, расположенный в самой низкой точке корпуса рекуператора, служащего в качестве сборника конденсата. Проходное сечение фланцев рекуператора – 600×350 мм.

Порядок проведения работы

#### 1. Подготовительные работы

Студенты должны заранее ознакомиться с конструкцией и особенностями центрального кондиционера и пластинчатого рекуператора, порядком проведения работы, измерительными приборами, местами замеров. Подготовить необходимое оборудование:

а) прибор для измерения климатических параметров Testo-480 (рис. 4);

б) цифровой зонд для измерения температуры и влажности воздушного потока

*Примечание. Руководство пользователя Testo-480 на сайте [www.testo.com](http://www.testo.com),*

## 2. Измерение температуры и влажности воздушного потока.

- а) присоединить к прибору цифровой зонд для измерения температуры и влажности воздушного потока;
- б) включить прибор;
- в) ввести зонд в технологическое отверстие точки замера во входном сечении приточного воздуховода рекуператора;
- г) провести измерение температуры и относительной влажности воздуха;
- д) переместить зонд в выходное сечение приточного воздуховода рекуператора и измерить температуру и влажность воздуха;
- е) провести аналогичные измерения в вытяжном канале рекуператора;
- ж) проконтролировать результаты измерений в созданной прибором папке результатов измерений;
- з) занести контрольные результаты измерений температуры влажности и энтальпии в табл. 8;
- и) отключить прибор и отсоединить зонд.

## 3. Измерение потерь давления в приточном и вытяжном каналах рекуператора:

- а) соединить прибор трубками, со штуцерами отбора давления, установленными на приточном канале рекуператора;
- б) включить прибор;
- в) измерить перепад давления;
- г) повторить измерения на вытяжном канале;
- д) занести результаты измерений в табл. 8;
- е) отключить прибор и отсоединить трубки.

## 4. Изменение режима работы ЦК

Изменение режима проводит преподаватель за счет изменения установленной температуры воздуха на выходе из ЦК

После выхода ЦК на стационарный тепловой режим повторить измерения, начиная с п. 2.

*Примечание. Выход ЦК на стационарный режим контролируется по температуре воздуха в выходных сечениях приточного и вытяжного каналов рекуператора.*

## 5. Обработка результатов измерений.

Для каждого режима работы ЦК по экспериментальным данным, занесенным в табл. 8 вычислить тепловой («сухой») и энтальпийный («влажный») к.п.д.

$$\eta_m = \frac{t_{n2} - t_{n1}}{t_{в1} - t_{н1}}$$

$$\eta_h = \frac{h_{n2} - h_{н1}}{h_{в1} - h_{н1}}$$

Здесь:

$\eta_m$  – тепловой к.п.д.,

$\eta_h$  – энтальпийный к.п.д.,

$t_{н1}, h_{н1}$  – температура и энтальпия приточного воздуха на входе в рекуператор,

$t_{н2}, h_{н2}$  – температура и энтальпия приточного воздуха на выходе из рекуператора,

$t_{в1}, h_{в1}$  – температура и энтальпия вытяжного воздуха на входе в рекуператор.

Таблица 8

**Теплотехнические параметры воздуха в рекуператоре**

Изм. параметр	Режим № 1				Режим № 2			
	Приток		Вытяжка		Приток		Вытяжка	
	ВХОД	ВЫХОД	ВХОД	ВЫХОД	ВХОД	ВЫХОД	ВХОД	ВЫХОД
$t, ^\circ\text{C}$								
$\varphi, \%$								
$\Delta P, \text{Па}$								

Обозначения в табл. 8:

$t$  – температура;

$\varphi$  – относительная влажность;

$\Delta P$  – потери давления.

## 6. Оформление отчета

В результате проделанной работы студент на листе формата А4 представляет отчет, содержащий следующие сведения и разделы:

- ФИО, № группы, дата;
- название и цели работы;
- тип, модель, фирма-производитель пластинчатого рекуператора;
- применявшиеся измерительные приборы и зонды;
- таблицы результатов измерений;

- $h-d$  диаграмма с процессом теплообмена в рекуператоре;
- формулы и расчеты;
- выводы по работе;

### **Контрольные вопросы по лабораторной работе № 3**

1. Каково назначение рекуператора в составе кондиционера?
2. Какие процессы обработки воздуха протекают в рекуператоре?
3. По какому основному параметру подбирают (рассчитывают) рекуператор?
4. Существуют ли перетечки воздуха между потоками в пластинчатом рекуператоре?
5. Как происходит перенос влаги в рекуператоре?
6. От чего зависит к.п.д. рекуператора?
7. Как бороться с обмерзанием пластинчатого рекуператора?
8. Зачем нужна летняя вставка в рекуператоре?

### **КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ПО ЦИКЛУ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ**

1. Какие теплообменные аппараты могут входить в состав кондиционера?
2. Какие процессы должен обеспечивать кондиционер в холодный период года?
3. Какие процессы должен обеспечивать кондиционер в теплый период года?
4. Какие теплоносители используются в теплообменных аппаратах кондиционеров?
5. По какому основному параметру подбираются (рассчитываются) аппараты кондиционеров?
6. Каков принцип подбора (расчета) поверхностных теплообменных аппаратов?
7. Какие режимные параметры должны учитываться при подборе аппарата?
8. Как обеспечивается регулирование работы водяных теплообменных аппаратов?

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Данилова Г.Н., Богданов С.Н., Иванов О.П. и др. Теплообменные аппараты холодильных установок. – Л.: Машиностроение, 1986.
2. Руководство пользователя Testo-480 на сайте [www.testo.com](http://www.testo.com).
3. Руководство пользователя AR5-L на сайте [www.circutor.ru](http://www.circutor.ru).
4. Воронец Д.А., Козич Д.И. Влажный воздух: Термодинамические свойства и применение. – М.: Энергоатомиздат, 1988.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	3
Лабораторная работа № 1 .....	7
Лабораторная работа № 2 .....	18
Лабораторная работа № 3 .....	24
Контрольные вопросы по циклу лабораторных работ .....	27
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	28

**Миссия университета** – генерация передовых знаний, внедрение инновационных разработок и подготовка элитных кадров, способных действовать в условиях быстро меняющегося мира и обеспечивать опережающее развитие науки, технологий и других областей для содействия решению актуальных задач.

---

## ИНСТИТУТ ХОЛОДА И БИОТЕХНОЛОГИЙ



Институт холода и биотехнологий является преемником Санкт-Петербургского государственного университета низкотемпературных и пищевых технологий (СПбГУНиПТ), который в ходе реорганизации (приказ Министерства образования и науки Российской Федерации № 2209 от 17 августа 2011г.) в январе 2012 года был присоединен к Санкт-Петербургскому национальному исследовательскому университету информационных технологий, механики и оптики.

Созданный 31 мая 1931года институт стал крупнейшим образовательным и научным центром, одним из ведущих вузов страны в области холодильной, криогенной техники, технологий и в экономике пищевых производств.

За годы существования вуза сформировались известные во всем мире научные и педагогические школы. В настоящее время фундаментальные и прикладные исследования проводятся по 20 основным научным направлениям: научные основы холодильных машин и термотрансформаторов; повышение эффективности холодильных установок; газодинамика и компрессоростроение; совершенствование процессов, машин и аппаратов криогенной техники; теплофизика; теплофизическое приборостроение;

машины, аппараты и системы кондиционирования; хладостойкие стали; проблемы прочности при низких температурах; твердотельные преобразователи энергии; холодильная обработка и хранение пищевых продуктов; тепломассоперенос в пищевой промышленности; технология молока и молочных продуктов; физико-химические, биохимические и микробиологические основы переработки пищевого сырья; пищевая технология продуктов из растительного сырья; физико-химическая механика и тепло-и массообмен; методы управления технологическими процессами; техника пищевых производств и торговли; промышленная экология; от экологической теории к практике инновационного управления предприятием.

На предприятиях холодильной, пищевых отраслей реализовано около тысячи крупных проектов, разработанных учеными и преподавателями института.

Ежегодно проводятся международные научные конференции, семинары, конференции научно-технического творчества молодежи.

Издаются научно-теоретический журнал «Вестник Международной академии холода» и Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Холодильная техника и кондиционирование», Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств», Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Экономика и экологический менеджмент».

В вузе ведется подготовка кадров высшей квалификации в аспирантуре и докторантуре.

Действуют два диссертационных совета, которые принимают к защите докторские и кандидатские диссертации.

Вуз является активным участником мирового рынка образовательных и научных услуг.

**[www.ifmo.ru](http://www.ifmo.ru)**

**[ihbt.ifmo.ru](http://ihbt.ifmo.ru)**

Цыганков Александр Васильевич  
Рубцов Александр Константинович  
Рябова Татьяна Владимировна  
Алёшин Алексей Евгеньевич

# ТЕПЛООБМЕННЫЕ АППАРАТЫ ЦЕНТРАЛЬНОГО КОНДИЦИОНЕРА

## Учебно-методическое пособие

*Ответственный редактор*  
Т.Г. Смирнова

*Титульный редактор*  
Р.А. Сафарова

*Компьютерная верстка*  
Д.Е. Мышковский

*Дизайн обложки*  
Н.А. Потехина

*Печатается*  
*в авторской редакции*

---

Подписано в печать 27.02.2015. Формат 60×84 1/16  
Усл. печ. л. 1,86. Печ. л. 2,0. Уч.-изд. л. 1,83  
Тираж 50 экз. Заказ № С 7

---

Университет ИТМО. 197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., 49

Издательско-информационный комплекс  
191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9