

## **Калориметрический комплекс для исследования теплоотдачи в теплообменниках и испытания кондиционеров**

Кожевникова Е.В., Лопаткина Т.А, trusovsa@mail.ru

Ижевский электромеханический завод «Купол»

*Для расчета теплообменных аппаратов и изделий с ними необходимы экспериментальные сведения о процессах переноса теплоты. Изложены требования к погрешностям измерений и к точности измерительных приборов при теплотехнических испытаниях теплообменников и кондиционеров. Описано устройство калориметрического комплекса ОАО «ИЭМЗ «Купол» для исследования теплоотдачи в теплообменниках для нагрева и охлаждения воздуха, а также для теплотехнических испытаний кондиционеров. Описаны возможности комплекса в моделировании условий по стороне воздуха, горячей и холодной воды, кипящего и конденсирующегося хладагента R22 и R134a.*

Ключевые слова: комплекс, испытания, теплообменники, кондиционеры, теплоотдача, воздух, вода, хладагенты.

При проектировании изделий, предназначенных для нагрева или охлаждения воздуха (калориферы, кондиционеры, отопители, аппараты воздушного отопления и т.п.) выполняют теплотехнический расчет теплообменных аппаратов

Наиболее трудной задачей является определение коэффициентов теплоотдачи к воздуху от стенки аппарата и от второй, участвующей в теплообмене среды, к той же стенке. Известно, что аналитическое решение теплоотдачи твердому телу для практических задач пока не найдено, поскольку не удается получить уравнения для распределения скоростей и температур в среде, омывающей твердое тело [1]. Широко применяются методы численного решения дифференциальных уравнений, описывающих теплоотдачу. Их результаты точны настолько, насколько точно исходные уравнения описывают изучаемое физическое явление. Однако механизм переноса тепла во многих случаях не изучен до такой степени, чтобы можно было расчетными методами получить полностью адекватные зависимости для переноса тепла. Поэтому значительная

часть сведений о процессах переноса теплоты получена экспериментально, а инженерные расчеты теплоотдачи в основном построены на экспериментальных сведениях. Аэродинамическое и гидравлическое сопротивление, протекающих через теплообменник сред, также рассчитывают по данным экспериментальных исследований.

Для получения требуемых при расчете зависимостей испытывают серию теплообменников в номинальных условиях. Применительно к трубчато-пластинчатым теплообменникам серию представляют аппараты с трубками одного диаметра и пластинами одной конфигурации, испытываемые на одном и том же тепло- или хладоносителе (хладагент, вода, пар, раствор этиленгликоля). На основании полученных данных разрабатывают таблицы, диаграммы, графики и т.п. для характеристик теплообменников при иных условиях работы: начальных температурах сред, скоростях тепло- или хладоносителя, давлении пара, концентрациях растворов. Как правило, диапазон представленных условий соответствует применяемому на практике. При этом точность таблиц и диаграмм обеспечивается тем, что диапазон скоростей воздуха и шагов ребер должны соответствовать исследованным при испытаниях преимущество экспериментального метода получения данных о теплопередаче и потерях давления сред в том, что можно получить эту информацию, не имея полного представления о механизмах протекающих процессов и затем уверенно ею пользоваться. Однако результаты испытаний можно применять только к теплообменникам с такими же конструктивными элементами, что у испытанной серии. Испытания, их обработка, изготовление аппаратов для испытаний и самого испытательного оборудования трудоемки, дороги и требуют значительного времени.

Систематизация и анализ данных испытаний способствуют разработке аналитических и численных методов и разработке в дальнейшем на их основе более эффективных теплообменников: с более высокими коэффициентами теплоотдачи и сниженными потерями давления сред. А пока только эксперименты и эмпирические зависимости показывают, является ли теплообменный аппарат новой конструкции эффективнее предыдущих и не указывают, что следует сделать, чтобы увеличить его эффективность.

## **Требования к оборудованию для теплотехнических испытаний теплообменников.**

Требования к испытательному оборудованию определены в стандартах на методы испытаний. В России действует ГОСТ 26548-85, устанавливающий методы стендовых теплотехнических, аэродинамических и гидравлических испы-

таний воздухонагревателей [2]. В США руководствуются стандартом 33-78 Американского общества инженеров по отоплению, холодильной технике и кондиционированию воздуха (ASHRAE). В нем описаны лабораторные методы испытаний воздухоохладителей с принудительной циркуляцией, работающих с выпадением конденсата, и воздухонагревателей с принудительной циркуляцией [3].

Оборудование для испытаний теплообменников должно обеспечить выход на заданные режимные параметры, их стабилизацию, а затем поддерживать параметры режима с заданной точностью в течение времени измерения [2], [3]. Согласно [3] измерения должны проводиться не менее 30 минут, после установления теплового равновесия. В течение этого промежутка времени необходимо сделать не менее 4 серий измерений через приблизительно равные интервалы. Для расчетов должны использоваться средние арифметические значения величин, полученные по показаниям приборов во всех сериях.

Конструкция испытательного оборудования должна обеспечивать возможность определения тепло- и холодопроизводительности по каждой из теплообмениваемых сред. Для получения эмпирических зависимостей используют только наиболее точные измерения. Например, при испытаниях воздухонагревателей величина дисбаланса, определяемого как разность теплопроизводительностей по обеим средам, отнесенная к теплопроизводительности по воде, не должна превышать 5% [2]. Согласно [3] разность тепло-, холодопроизводительностей по воздуху и второй среде, отнесенная к их средней арифметической величине, также не должна превосходить 5%.

Стандарты на методы испытаний устанавливают требования к погрешностям измерений всех величин и к точности измерительных приборов (табл. 1).

Таблица 1. Требования к погрешности измерений и к точности измерительных приборов.

Прибор	ASHRAE 37-1988 [4]		ARI 210 /240- 1989	ASHRAE 41.2-1987 [6]		ISO 5151 (1994) [7]		
	Точность прибора	Цена деле- ния	Погр. измер.	Погрешность измерения	Сходимость рез. измер.	Погрешность измерения	Точность прибора	Цена деле- ния
Измерение давления								
Ртутный столб, ма- нометр Бурдона (пружинный мано- метр), электронный датчик давления	$\pm 2,0 \%$ от изме- ренной величи- ны	не должна превышать значение точности прибора более чем в 2,5 раза		не более $\pm 1 \%$	не более $\pm 0,5 \%$ или $\pm 1,2$ Па (большая из величин)	$\pm 5$ Па для перепада статического давления во- ды	$\pm 0,25$ Па для $P$ от 1,25 до 25 Па; $\pm 2,5$ Па для $P$ от 25 до 500 Па; $\pm 25$ Па при $P > 500$ Па	1,25 для $P$ от 1,25 до 25 Па; 2,5 для $P$ бо- лее 25 до 250 Па; 5,0 для $P$ бо- лее 250 до 500 Па; 25 при $P >$ 500 Па
Барометр для изме- рения атмосферного давления	–	–	–	–	–	–	$\pm 0,1 \%$	–

Измерение температуры

Сухой и влажный термометры, преобразователи или датчики	–	–	$\pm 0,6$ °C [5]	$\pm 0,05$ °C по сухому терм. $\pm 0,1$ °C по влажн. терм.	$\pm 0,5$ °C или меньше	$\pm 0,2$ ° C по сухому терм. $\pm 0,2$ ° C по влажн. терм.	$\pm 0,05$ °C	не более 0,1 °C
Остальные температуры	–	–	–	$\pm 1$ °C	–	$\pm 0,1$ ° C – для воды и для перепада темпер. воды	$\pm 0,05$ °C	не более 0,1 °C

Измерение расхода воздуха и статического давления

Манометр для измерения статического давления на сопле, динамического давления в критическом сечении сопла. Электросчётчики	–	не более 2,0 % от измеряемого значения	–	минимальная точность $\pm 1,0$ %	$\pm 0,5$ % от наблюдаемых показаний	$\pm 5$ %	–	–
Манометр для измерения статического давления в воздуховоде	$\pm 2,5$ Па	–	–	–	–	$\pm 5$ Па при $P \leq 100$ Па $\pm 5$ % при $P > 100$ Па	–	–
Прибор для измерения диаметра сопла	$\pm 0,2$ %	–	–	–	–	–	–	–

Измерение электрических величин

Приборы для измерения входных электрических параметров нагревателей, другого оборудования несущего тепловую нагрузку	не ниже $\pm 1,0 \%$ от измеряемой величины	–	–	–	–	–	–	–
Приборы для измерения входных электрических параметров двигателей вентиляторов, компрессоров, др. вспом. оборуд.	$\pm 2,0 \%$ от измеряемой величины	–	–	–	–	$\pm 0,5 \%$	$\pm 0,5 \%$ от измеряемой величины	–

Измерение расхода летучего хладагента, пара

Расходомер интегрирующего типа. Датчик количества жидкости, определяющий ее вес или объем	$\pm 1,0 \%$ от измеряемой величины	–	–	точность прибора $\pm 1,0 \%$	$\pm 0,5 \%$ от измеряемой величины	–	–	–
---	-------------------------------------	---	---	-------------------------------	-------------------------------------	---	---	---

Измерение расхода жидкости								
Жидкостный расходомер или счетчик	$\pm 1,0 \%$ от измер. вел	–	–	точн. приборов $\pm 1,0 \%$	$\pm 0,5 \%$ от измер. вел.	$\pm 5 \%$	$\pm 1,0 \%$ от измер. величины	–
Жидкостный счетчик, измеряющий массу или объем, для измерения скорости накопления конденсата	$\pm 1,0 \%$ от измеряемой величины	–	–	точность приборов $\pm 1,0 \%$	$\pm 0,5 \%$ от измеряемой величины	–	–	–
Измерение скорости								
Счетчик оборотов, тахометр, стробоскоп, осциллоскоп	$\pm 1,0 \%$ от измер. вел.	–	–	–	–	$\pm 1,0 \%$	$\pm 1,0 \%$ от измер. величины	–
Измерение времени и массы								
Прибор для измер. времени, часы или хронометр	$\pm 0,2 \%$	–	–	точность $\pm 0,2 \%$	$\pm 0,1 \%$	$\pm 0,2 \%$	$\pm 0,2 \%$ от измер. величины	–
Прибор для измерения массы	$\pm 0,2 \%$	–	–	–	–	$\pm 1,0 \%$	$\pm 1,0 \%$ от измер. величины	–
Измерение диаметра канала								
Средство измер. длины	–	–	–	не более $0,2 \%$	–	–	–	–

Продолжение таблицы 1

Прибор	ASHRAE 20-70 [8]	ASHRAE 33-78 [9]		ASHRAE 41.9-1988 [10]	EUROVENT ENV 327 [11]
	Точность прибора	Погрешность измерения	Цена деления	Погр. измерения	Погр. измерения
Измерение давления					
Ртутный столб, манометр Бурдона (пружинный манометр), электронный датчик давления	$\pm 0,14$ °С по температуре насыщ. фреона в конденсаторе; $\pm 5$ фунт/дюйм <sup>2</sup> для измерения давления воды или пара; $\pm 3\%$ или 0,01 дюйма вод. ст. для манометров и тягомеров, кроме используемых для измерения потока фреона	$\pm 0,5$ % абсолютного давления при измерении давления на линии всасывания хладагента и в пределах $\pm 2,0$ % абсолютного давления в измерениях на других участках	1,25 для диапазона от 1,25 до 25; 2,5 для диапазона более 25 до 250; 5,0 для диапазона более 250 до 500; 25 при $P > 500$ Па	$\pm 1,0$ % от показаний абсолютного давления или перепада давления	Достаточно малая для того, чтобы измеряемая температура хладагента находилась в диапазоне $\pm 0,3$ °С
Ртутный термометр	—	Точность $\leq 0,1$ " рт. ст.	—	—	—
Барометр (атм. давление)	—	—	—	—	$\pm 0,2$ миллибар



**Измерение температуры**

Сухой и влажный термометры, преобразователи или датчики	±1% от наименьшего требуемого значения разности температур воздуха по сухому и по влажному терм.	По сухому и влажн. терм.: для воздухонагревателя: ± 0,3 °С; для воздухоохладителя: ± 0,06 °С	Должна превышать указанную точность не более чем в два раза	± 0,1 °С по сухому и влажному терм.	± 0,2 °С по сухому и влажному терм. на входе
Остальные температуры	±1% от наименьшего требуемого значения разности температур воды; ± 0,3 °С для температуры жидкости и всех других температур	Температура воды в воздухонагревателе: ± 0,3 °С или 2 % от перепада температуры воды (меньшая из величин), в воздухоохладителе: ± 0,06 °С; ± 0,3 °С - для всех других темп.	Должна превышать указанную точность не более чем в два раза	1 % от перепада температуры воды или раствора; ± 0,3 °С для всех других температур	± 0,2 °С для температуры воды; ± 0,3 °С для температуры хладагента; ± 0,5 °С для всех других температур воздуха

**Измерение расхода воздуха и статического давления**

Манометр для измерения статического давления на сопле, в воздуховоде, динамического давления в критическом сечении со-	±3% или 0,01 дюйма водяного столба для манометров и тягомеров	1,0 % или 0,005 дюйма водомерного датчика в зависимости от того, какое значение больше	—	—	± 0,01 миллибар для перепада давления воздуха
--	---	--	---	---	---

пла. Электросчётчики					
Прибор для измерения диаметра сопла	–	Точность $\pm 0,20$ %	–	–	–
Измерение электрических величин					
Приборы для измерения входных электропараметров нагревателей, другого оборудования несущего тепловую нагрузку	$\pm 0,5$ %	–	–	$\pm 1,0$ % от измеряемой величины	$\pm 1,0$ % для электроэнергии; $\pm 0,5$ % для тока, напряж., частоты
Приборы для измерения входных электропараметров двигателей вентиляторов, компрессоров, др. вспом. оборуд.	1,5% для приборов, не используемых для измерения расхода	–	–	$\pm 1,0$ % от измеряемой величины	$\pm 1,0$ % для электроэнергии; $\pm 0,5$ % для тока, напряж., частоты
Измерение расхода летучего хладагента, пара					
Расходомер интегр. типа. Датчик кол-ва жидкости, определяющий ее вес или объем	$\pm 1,0$ % от измеряемой величины	–	–	–	$\pm 0,2$ % от измеряемой величины

Измерение расхода жидкости					
Жидкостный расходомер или счетчик	$\pm 1,0$ % от измеряемой величины	Фреоны: $\pm 2,0$ % от измер. велич. Вода: $\pm 1,0$ % от измер. велич. нетто	–	Для воды или рассола: $\pm 1,0$ % от измер. величины	Для воды: $\pm 0,1$ % от измеряемой величины
Жидкостный счетчик, измеряющий массу или объем, для измерения скорости накопления конденсата	$\pm 1,0$ % от измеряемой величины	$\pm 1,0$ % от измеряемой величины нетто	–	–	–
Измерение скорости					
Счетчик оборотов, тахометр, стробоскоп, осциллоскоп	$\pm 1$ %	–	–	–	$\pm 1$ % от измеряемой величины
Измерение времени и массы					
Прибор для измер. времени, часы или хронометр	$\pm 0,5$ %	–	–	$\pm 0,2$ % от измеренного времени	$\pm 0,2$ % от измер. времени или $\pm 2$ с (меньшее из знач.)
Прибор для измер. Массы	$\pm 0,5$ %	–	–	$\pm 0,2$ % от изм. массы	$\pm 0,5$ % от изм. массы

Измерение содержания масла в хладагенте

Прибор для измерения масла в хладагенте	–	–	–	–	± 0,5 %
---	---	---	---	---	---------

*Продолжение таблицы 1*

Прибор	ГОСТ 26548-85 [2]		ГОСТ 28564-90 [12]	ГОСТ 26963-86 [13]
	Погрешность измерения	Точность прибора	Погрешность измерения	Погрешность измерения
Измерение давления				
Ртутный столб, манометр Бурдона (пружинный манометр), электронный датчик давления	–	класс точности 0,4	± 1 % для давления всасывания; ± 2 % для давления нагнетания	–
Барометр (атм. давление)	–	–	± 1 %	–
Измерение температуры				
Сухой и влажный термометры, преобразователи или датчики	± 0,2 °С; ± 0,5 °С - сходимос ть результатов измерений для воздуха	–	± 0,1 °С по сухому и влажному терм.; ± 2 °С для темп. точки росы	± 0,5 °С по сухому и влажному терм.
Остальные температуры	± 0,2 °С; ± 0,3 °С - сходимос ть результатов измерений для	–	± 0,1 °С для темп. воды, рассола; ± 0,5 °С для темп. хладаген-	± 0,5 °С

	ВОДЫ		та; ± 0,05 °С для разности температур, по которым рассчитывается холодопроизводительность	
Измерение расхода воздуха и статического давления				
Манометр для измерения статического давления на сопле, в воздухопроводе, динамического давления в критическом сечении сопла. Электросчётчики	± 2 % сходимостъ результатов измерений	класс точности не ниже 1,0	–	± 0,01 миллибар для перепада давления воздуха
Измерение электрических величин				
Приборы для измерения входных электропараметров нагревателей, другого оборудования несущего тепловую нагрузку	–	–	класс точности 0,5 при мощностях меньше 200 кВт; класс точности 1,5 при мощностях 200 кВт и более	± 0,5 % для напряжения, мощности, тока; ± 0,2 % для частоты
Приборы для измерения входных электропараметров двигателей вентиляторов, компрессоров, др. вспом. оборуд.				

Измерение расхода летучего хладагента, пара

Расходомер интегрирующего типа. Датчик количества жидкости, определяющий ее вес или объем	$\pm 2\%$ - сходимость результатов измерений для расхода пара	класс точности не ниже 1,0	$\pm 2\%$	—
---	---	----------------------------	-----------	---

Измерение расхода жидкости

Жидкостный расходомер или счетчик	$\pm 2\%$ - сходимость результатов измерений для расхода воды	класс точности не ниже 1,0	$\pm 2\%$ для расхода воды или хладоносителя; $\pm 1\%$ для расхода жидкого хладагента	—
-----------------------------------	---	----------------------------	---	---

Жидкостный счетчик, измеряющий массу или объем, для измерения скорости накопления конденсата	$\pm 2\%$ - сходимость результатов измерений для расхода конденсата	класс точности не ниже 1,0	$\pm 1\%$	—
--	---	----------------------------	-----------	---

Измерение скорости

Счетчик оборотов, тахометр, стробоскоп, осциллоскоп	—	—	$\pm 0,75\%$ (тахометр) $\pm \Delta v = 0,1 + 0,05 v$ (крыльчатый анемометр); $\pm \Delta v = 0,3 + 0,05 v$ (чашечный анемометр)	класс точности 0,5 (тахометр); $\pm 0,5$ м/с (анемометр)
---	---	---	--	---

## Измерение времени и массы

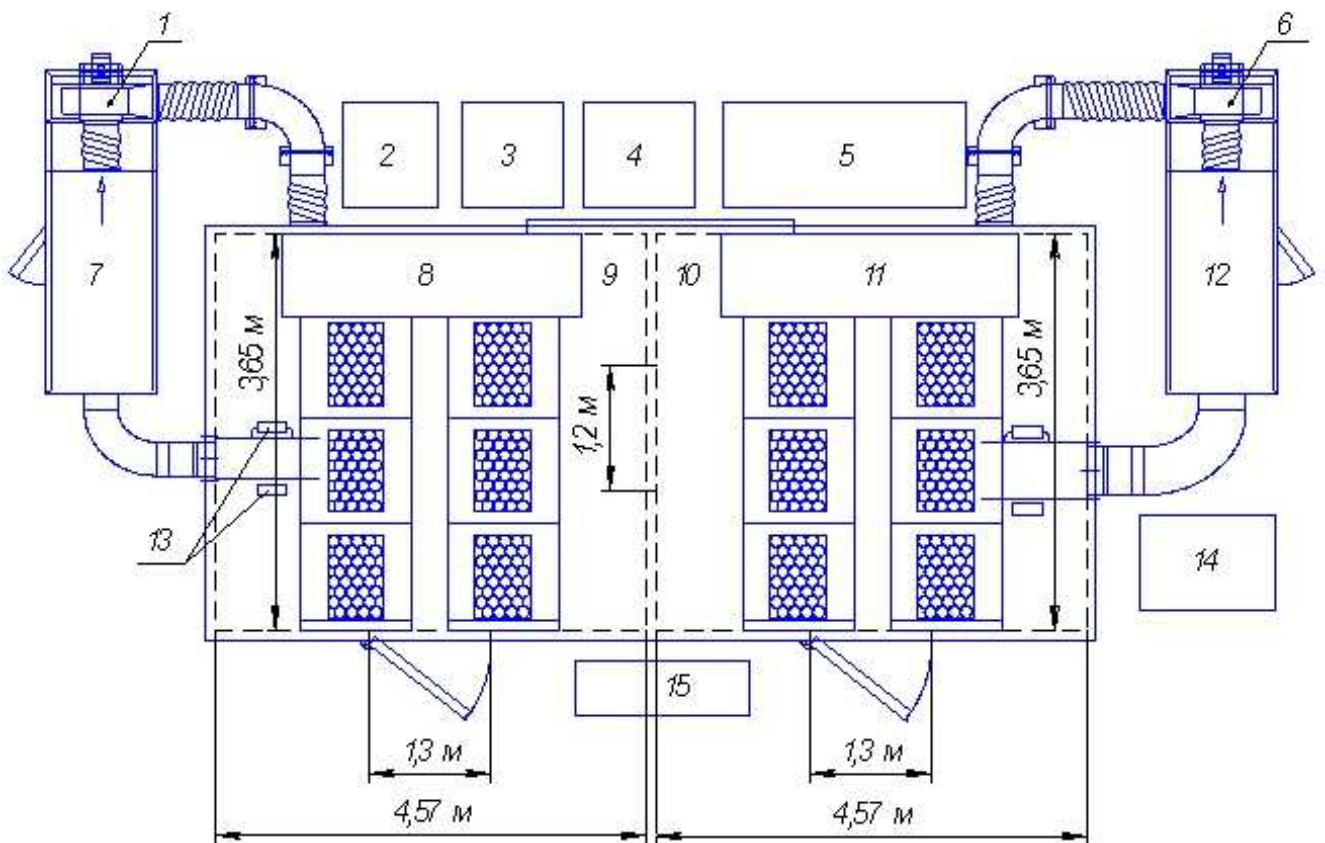
Прибор для измерения времени, часы или хронометр	–	класс точности не ниже 1,0	$\pm 0,1 \%$	$\pm 0,2 \%$
Прибор для измерения массы	–	класс точности не ниже 1,0	–	–

## **Калориметрический комплекс ОАО «ИЭМЗ «Купол».**

Для производства кондиционеров 2002 году на ОАО «ИЭМЗ «Купол» было установлено оборудование фирмы CMS (Италия) для изготовления медно-алюминиевых теплообменников, а в 2004 году был аттестован и принят в эксплуатацию комплекс психрометрических и калориметрических испытаний, спроектированный и изготовленный фирмой Environmental Tectonics Corporation (ETC, США).

На рисунке 1 представлен вид сверху калориметрического комплекса. В него входит оборудование для подготовки воздуха и измерения параметров по воздушной стороне – психрометрический комплекс и три калориметрические установки для обеспечения испытываемых теплообменников хладагентами R134a, R22 в режимах конденсации и кипения, а также холодной и горячей водой и измерения параметров этих сред.





- 1, 6 - Внештатный вентилятор
- 2 - Контур для теплообменника на воде
- 3 - Холодильный контур для теплообменника на R22
- 4 - Холодильный контур для теплообменника на R134a
- 5 - Оборудование систем охлаждения и осушения воздуха, парогенераторы
- 7 - Туннель согта 2", 3", 4", 5"
- 8, 11 - Система кондиционирования воздуха
- 9 - Внутренний отсек (Испарители и теплообменники на воде)
- 10 - Наружный отсек (Конденсаторы)
- 12 - Туннель согта 4", 5", 6", 7"
- 13 - Психрометры
- 14 - Чиллер
- 15 - Пульт управления

Рис. 1. Калориметрический комплекс ОАО «ИЭМЗ «Купол», вид сверху.

В психрометрический комплекс входит камера из двух смежных отсеков объемом по 51 м<sup>3</sup>, внутреннего (9) и наружного (10). В каждом отсеке организована циркуляция воздуха по замкнутому контуру с помощью нагнетательного вентилятора (1 и 6). Температура и влажность воздуха в отсеках обеспечивается системой кондиционирования (8 и 11). Подготовленный воздух подается в отсеки через расположенные под потолком распределительные воздуховоды. В отсеках имеется по два психрометра (13): одним измеряют температуру воздуха по сухому и влажному термометрам на входе в изделие, вторым – на выходе. Расход воздуха измеряют в туннелях (7 и 12) по перепаду давления на соплах.

Основные технические характеристики психрометрического комплекса приведены в таблице 2 [14].

Таблица 2.

Наименование характеристики	Предельное значение характеристики
Предельные значения диапазона измерения воздухопроизводительности: - для внутреннего отсека - для наружного отсека	340 ... 3400 м <sup>3</sup> /ч 680 ... 7100 м <sup>3</sup> /ч
Относительная погрешность измерения воздухопроизводительности	± 3,0 %
Предельные значения диапазона измерения холодопроизводительности	2 ... 17,6 кВт
Предельные значения диапазона измерения теплопроизводительности	2 ... 17,6 кВт
Относительная погрешность измерения холодо- и теплопроизводительности	± 5,0 %
Неравномерность распределения температуры в полезном объеме отсеков	4,0 °С
Неравномерность распределения температуры на входе в испытываемое изделие	0,3 °С

Тепло- и холодопроизводительность указаны в таблице 2 для следующих условий: во внутреннем отсеке – температура 27 °С и относительная влажность 46 % для режимов охлаждения и нагрева; в наружном отсеке - температура 35 °С и относительная влажность 40 % для режима охлаждения, температура 7 °С и относительная влажность 88 % для режима нагрева. Максимальные значения теплопроизводительности изделия во внутреннем отсеке, а также поддержание температуры 35 °С в наружном отсеке при максимальной холодопроизводительности

изделия обеспечиваются работой трех групп цилиндров компрессора и двух испарителей, расположенных в соответствующей системе кондиционирования воздуха (8 или 11). Уменьшение вырабатываемого холода реализуется за счет отключения одной или двух групп цилиндров компрессора, с отключением меньшего или большего испарителя. Плавность регулирования достигается с помощью трехуровневой линии хотгаз-байпас и изменения расхода хладагента через испарители посредством электронно-регулируемых вентилях. Нагрев воздуха в отсеках осуществляется электронагревателями.

Пределные значения воспроизводимых условий испытаний по стороне воздуха приведены в таблице 3.

Таблица 3.

Физическая величина	Диапазон регулирования	Точность поддержания физической величины
Температура по сухому термометру		
- для внутреннего отсека	0 °С ... 50,0 °С	0,5 °С
- для наружного отсека	-10 °С ... 52,0 °С	0,5 °С
Перепад статического давления на испытываемом изделии:		
- теплообменник	2,5 ... 1245 Па	—
- кондиционер	-249 ... 750 Па	5 Па

Средствами комплекса непосредственно регулируется температура по сухому и влажному термометрам. Точность поддержания температуры по влажному термометру составляет 0,5 °С.

На рисунках 2 и 3 приведены рабочие области воспроизводимой относительной влажности воздуха во внутреннем и наружном отсеках, соответствующие областям воспроизводимой температуры по влажному термометру. В обоих отсеках максимальная относительная влажность может достигать до 95%. Увлажнение производится подачей пара в рециркулирующий воздушный поток парогенератором отсека, управляемым электрическим регулирующим вентилем. Осушение воздуха выполняется низкотемпературными испарителями типа «труба в трубе», подключенными к общему холодильному контуру с компрессорно-конденсаторным блоком с конденсатором водяного охлаждения.

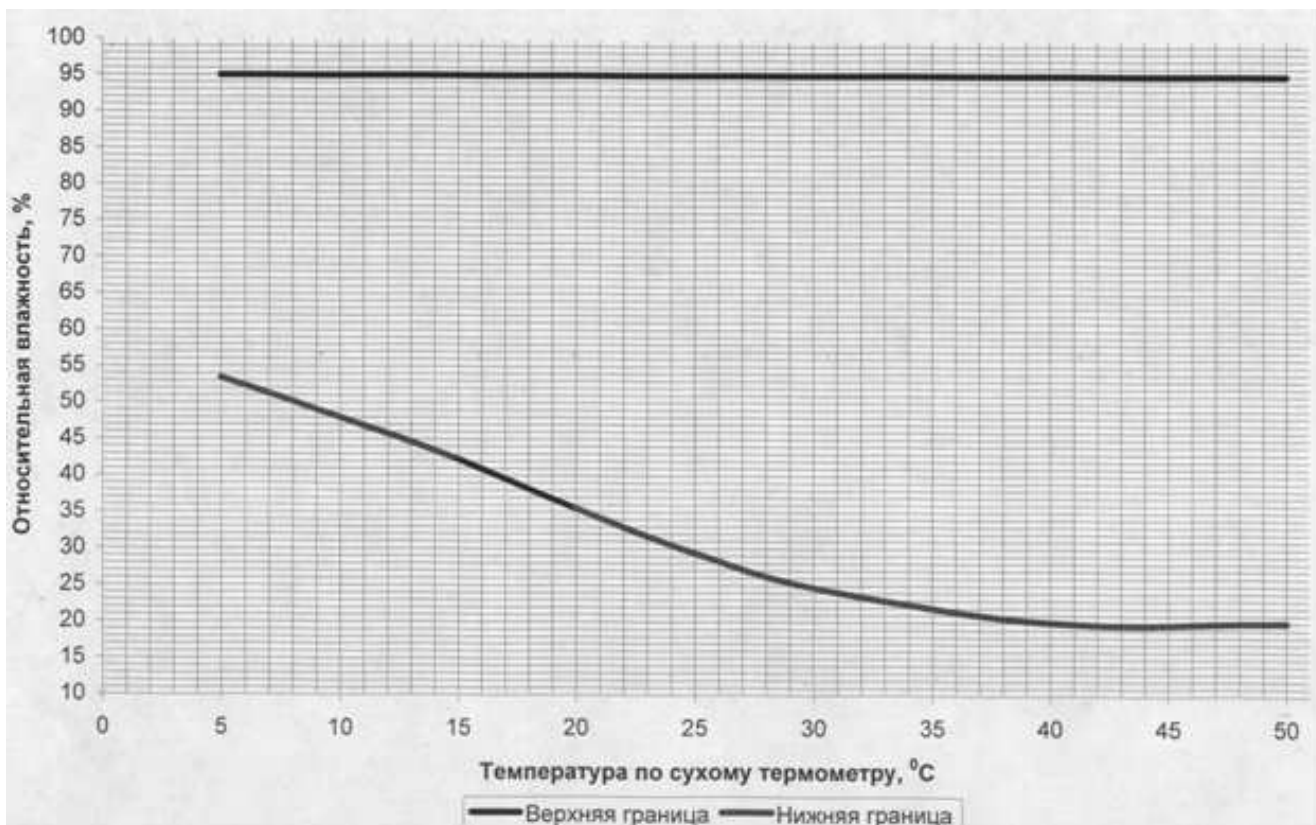


Рис. 2. Рабочая область воспроизводимой влажности во внутреннем отсеке.

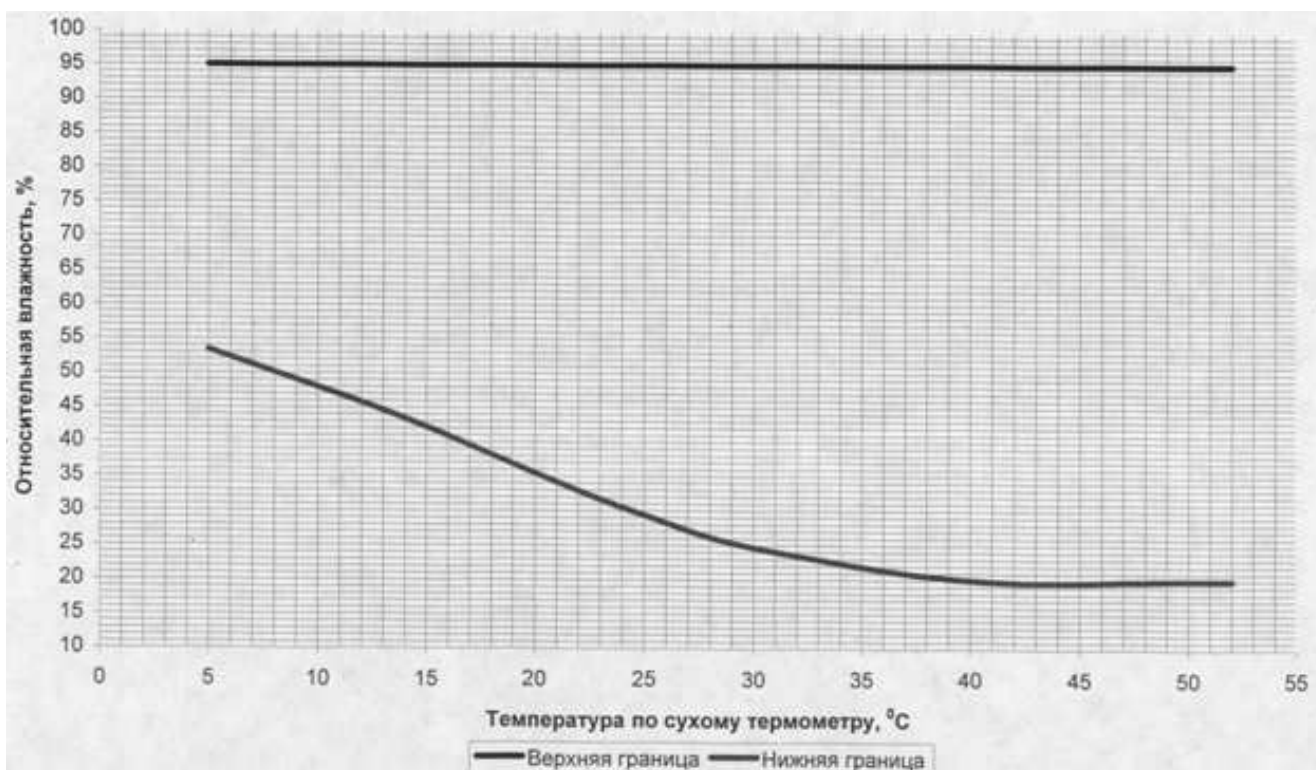


Рис. 3. Рабочая область воспроизводимой влажности в наружном отсеке.

В отсеках измеряется барометрическое давление датчиком переменной емкости в диапазоне от 85 до 105 кПа с погрешностью  $\pm 0,35$  кПа, а также перепад давления на испытываемом изделии - с погрешностью  $\pm 6,22$  Па.

В каждом отсеке имеется по 20 термопар с диапазоном измерения температуры от минус 30 до 100°C с погрешностью  $\pm 1$  °С. Они устанавливаются на испытываемом изделии по усмотрению испытателей.

Холодильные контуры теплообменников на R22 (3) и R134a (4) обеспечивают циркуляцию хладагента в испытываемом конденсаторе или испарителе. Испаритель размещают во внутреннем отсеке, а конденсатор – в наружном. Условия по воздушной стороне при испытаниях теплообменников обеспечиваются оборудованием соответствующего отсека психрометрического комплекса. Холодильные контуры 3 и 4 выполнены однотипно. В паре с испытываемым конденсатором работает один из двух кожухотрубных испарителей (низкой или высокой холодопроизводительности), в паре с испытываемым испарителем - один из двух кожухотрубных конденсаторов (низкой или высокой мощности). Кожухотрубные теплообменники восполняют собой недостающую часть холодильного контура. Кожухотрубные конденсаторы охлаждаются 20 % раствором этиленгликоля от общего контура, в котором последний охлаждается чиллером (14). Кожухотрубные испарители получают тепло от воды, циркулирующей по общему замкнутому контуру и подогреваемой посредством ТЭНов. Сбив перегрева хладагента перед испытываемым или кожухотрубным конденсатором, а также его переохлаждение перед кожухотрубным или испытываемым испарителем происходят в обоих случаях в одном из двух коаксиальных теплообменников (низкой и высокой мощности). Хладоносителем в этих теплообменниках является 20 % раствор этиленгликоля, имеющий доступ во все 8 теплообменников (по 4 шт. для контуров с хладагентами R22 и R134a), он охлаждается в чиллере (14) и подогревается при необходимости с помощью ТЭНов.

Контур теплообменника на воде (2) обеспечивает циркуляцию воды через испытываемый теплообменник. Вода в контуре охлаждается чиллером, а нагревается ТЭНами.

Все три калориметрические установки обеспечивают тот же диапазон измерения тепловой мощности и холодопроизводительности, что и психрометрический комплекс (таблица 2).

Предельные значения воспроизводимых условий испытаний теплообменников по стороне хладагентов и воды приведены в таблице 4 [14].

Таблица 4.

Физическая величина	Диапазон регулирования	Точность поддержания физической величины
Для конденсаторов и испарителей		
Давление всасывания (температура испарения)	0,1 ... 1,0 МПа	0,007 МПа
Давление нагнетания (температура конденсации)	0,4 ... 3,0 МПа	0,014 МПа
Температура жидкого хладагента на входе в электрический регулирующий вентиль	2 °С ... 35,0 °С	1,1 °С
Температура хладагента на всасывании	2 °С ... 15,0 °С	1,1 °С
Для теплообменников, работающих на воде		
Температура воды на входе в теплообменник	4,4 ... 12,8 °С 60 ... 85 °С	0,5 °С 0,5 °С
Расход воды	3,8 ... 73 л/мин	0,5 л/мин

В калориметрических установках измеряют следующие параметры:

- для фреоновых теплообменников - давление хладагента в контуре испытываемого теплообменника (6 каналов) с погрешностью  $\pm 8,5$  кПа; давление хладагента на выходе из испарителя с погрешностью  $\pm 3,44$  кПа; давление хладагента на входе и выходе из конденсатора, входе в электрический регулирующий вентиль с погрешностью  $\pm 8,5$  кПа. Измеряют температуру хладагента на входе и выходе из конденсатора, на входе в электрический регулирующий вентиль, на выходе из испарителя с погрешностью  $\pm 0,5$  °С и расход фреона с погрешностью  $\pm 0,2$  %;
- для водяных теплообменников измеряют давление воды на входе и выходе с погрешностью  $\pm 1,7$  кПа в диапазоне от 0 до 690 кПа, температуру воды на входе и выходе с погрешностью  $\pm 0,5$  °С и расход с погрешностью  $\pm 0,073$  л/мин.

Задание режимов, изменение параметров вручную, наблюдение за работой выполняют с пульта управления (15). Заданный режим поддерживается автоматически ПИД-контроллерами. Вся информация с датчиков передается в компьютер, который по окончании измерений вычисляет средние значения измеренных параметров, среднее значение тепловой мощности по стороне воздуха и воды (или

хладагента), тепловой баланс между воздушной и водяной (или хладагента) стороной и печатает отчет.

## **Испытания теплообменников**

На калориметрических установках выполняются исследования различных теплообменников с целью получения расчетных зависимостей для

- коэффициентов теплоотдачи к воздуху;
- коэффициентов теплоотдачи при кипении для хладагентов R22 и R134a;
- коэффициентов теплоотдачи при конденсации для хладагентов R22 и R134a;
- аэродинамического сопротивления теплообменников;
- гидравлического сопротивления теплообменников.

Эти зависимости необходимы для проектирования теплообменников, наружная сторона которых омывается воздухом, а внутренняя – водой или хладагентами R22, R134a, а также для оптимизации их конструкции.

На калориметрическом комплексе испытаны водяные калориферы и воздухоохладители ОАО «Воздухотехника» (г. Москва), воздухоохладитель ОКБ им. Африкантова (г. Нижний Новгород), теплообменники ИжГТУ (г. Ижевск), радиаторы системы охлаждения дизеля тепловоза и ряд других изделий. Эти испытания позволили получить новые обобщающие критериальные зависимости для расчета теплопередачи в трубчато-пластинчатых теплообменниках.

## **Испытания кондиционеров**

Для испытания кондиционеров предусмотрена возможность работы только психрометрического оборудования, без включения калориметрических установок. Кондиционеры испытывают в режимах охлаждения и нагрева. Наружный блок кондиционера размещают в наружном отсеке, внутренний блок – во внутреннем отсеке, моноблочные кондиционеры устанавливают в проеме 1,2 м × 1,2 м между отсеками. Оборудование комплекса создает и поддерживает требуемые параметры воздуха в отсеках, измеряет параметры воздуха на входе и выходе из блоков кондиционера, потребляемую мощность, аэродинамическое сопротивление и вычисляет расходы воздуха через воздухоохладитель и конденсатор изделия, а также тепло-, холодопроизводительность психрометрическим методом.

Электропитание кондиционера осуществляется через трансформатор комплекса. Однофазное напряжение можно задавать в диапазоне от 100 до 280 В, трехфазное – от 100 до 440 В, точность поддержания напряжения составляет 2 %.

Оборудование позволяет проверить работу кондиционера в условиях, которые могут иметь место при эксплуатации. Например, работу при высокой наруж-

ной температуре воздуха, запуск при высокой температуре и пониженном напряжении питания, удаление конденсата при высокой влажности воздуха, работу при низкой наружной температуре. Кроме того, можно наблюдать за быстропротекающими и переходными процессами, т.к. показания всех датчиков автоматически снимаются через каждые 10 – 20 секунд (периодичность опроса задает испытатель) и запоминаются в компьютере. Всесторонняя проверка кондиционера позволяет выявить и устранить дефекты конструкции и недостатки алгоритма работы кондиционера.

На психрометрическом комплексе исследовано более 10 видов транспортных и стационарных кондиционеров с холодопроизводительностью от 1,5 до 15 кВт.

## Список литературы

1. Б.Н. Юдаев. Теплопередача./«Высшая школа»., М., 1981. С. 319.
2. ГОСТ 26548-85. Воздухонагреватели. Методы испытаний./ «Издательство стандартов»., М., 1985. С. 15.
3. ASHRAE standard 33-78. Methods of Testing Forced Circulation Air Cooling and Air Heating Coils./ Atlanta., U.S.A., 1978. С. 58.
4. ASHRAE standard 37-1988. Methods of Testing for Rating Unitary Air-Conditioning and Heat Pump Equipment – Central AC Split type./ Atlanta., U.S.A., 1988.
5. ARI standard 210/240-1989. Unitary Air-Conditioning and Air-Source Heat Pump Equipment./ Virginia., U.S.A., 1989. С. 45.
6. ASHRAE standard 41.2-1987 (RA 92) Стандартные методы измерения воздухопроизводительности в лабораторных условиях./ Атланта., США., 1989. С. 20.
7. Международный стандарт ISO 5151 (1994) Неканальные кондиционеры и тепловые насосы – испытания и определение номинальных технических характеристик./ Женева., Швейцария., 1994. С. 43.
8. ASHRAE 20-1997 (RA 2006) Метод определения номинальных характеристик выносного фреонового конденсатора с принудительным обдувом./ Атланта., США., 1997.
9. ASHRAE standard 33-78 Methods of Testing Forced Circulation Air Cooling and Air Heating Coils./ Atlanta., U.S.A., 1978. С. 58.
10. ASHRAE standard 41.9-1988 Стандартные методы измерения расхода летучего фреона в калориметрической камере./ Атланта., США., 1988. С. 23.
11. EUROVENT ENV 327 Методика испытаний для определения характеристик конденсаторов воздушного охлаждения./ Париж., Франция.



12. ГОСТ 28564-90. Машины и агрегаты холодильные на базе компрессоров объемного действия. Методы испытаний./ «Издательство стандартов», М., 1990. С. 40.
13. ГОСТ 26963-86. Кондиционеры бытовые автономные. Общие технические условия./ «Издательство стандартов», М., 1986. С. 28.
14. Комплекс психрометрических и калориметрических испытаний. Паспорт/Ижевск, 2005. С. 27.

## **A complex to study heat transfer in coils and to thermotechnically test air conditioners**

Kozhevnikova E.V., Lonatkina T.A.

Saint Petersburg State University of Refrigerating  
and Food Engineering

*Experimental information on heat transfer is necessary to calculate coils and equipment using them. The requirements for measurement accuracy as well as for that of measuring instruments are stated for coils and air conditioners to be thermotechnically tested. A device of the calorimetric complex "IEMZ Cupol" is described in the paper for studying heat transfer in coils to heat and cool air, as well as for testing heating and cooling capacities of conditioners. The scope of using the complex to simulate conditions on the sides of air, hot and cold water, boiling and condensed coolants R22 and R134a is described.*

Keywords: heat transfer, apparatus, hot and cold water.