



Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого»

Кафедра «Промышленная теплоэнергетика и экология»

А. В. Овсянник, А. В. Шаповалов, В. В. Киселевич

ВЕНТИЛЯЦИЯ И КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА

ПРАКТИКУМ

по выполнению лабораторных работ

по одноименной дисциплине

для студентов специальности

1-43 01 05 «Промышленная теплоэнергетика»

дневной и заочной форм обучения

Электронный аналог печатного издания

Гомель 2018

УДК 697.9+628.8(075.8)
ББК 38.762я73
О-34

*Рекомендовано к изданию научно-методическим советом
энергетического факультета ГГТУ им. П. О. Сухого
(протокол № 6 от 28.02.2017 г.)*

Рецензент: доц. каф. «Энергоснабжение» ГГТУ им. П. О. Сухого
канд. техн. наук, доц. *Т. В. Алферова*

Овсянник, А. В.

О-34 Вентиляция и кондиционирование воздуха : практикум по выполнению лаборатор. работ по одноим. дисциплине для студентов специальности 1-43 01 05 «Промышленная теплоэнергетика» днев. и заоч. форм обучения / А. В. Овсянник, А. В. Шаповалов, В. В. Киселевич. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2018. – 77 с. – Систем. требования: PC не ниже Intel Celeron 300 МГц ; 32 Mb RAM ; свободное место на HDD 16 Mb ; Windows 98 и выше ; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: <https://elib.gstu.by>. – Загл. с титул. экрана.

ISBN 978-985-535-361-5.

Содержит материал для закрепления теоретических знаний по основным разделам дисциплины, а также для проведения экспериментальных измерений, обработки и анализа полученных данных и приобретения навыков технических измерений.

Для студентов специальности 1-43 01 05 «Промышленная теплоэнергетика» дневной и заочной форм обучения.

УДК 697.9+628.8(075.8)
ББК 38.762я73

ISBN 978-985-535-361-5

© Овсянник А. В., Шаповалов А. В.,
Киселевич В. В., 2018

© Учреждение образования «Гомельский
государственный технический университет
имени П. О. Сухого», 2018

Лабораторная работа № 1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ, БАРОМЕТРИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ И СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ ВОЗДУХА

Цель работы: изучить устройство и принципы работы приборов для измерения температуры, барометрического давления и скорости движения воздуха. Произвести измерение указанных параметров воздуха в помещении учебной лаборатории. Сопоставить значения измеренных параметров воздуха с нормативными значениями.

Краткие теоретические сведения

Для измерения **температуры воздуха** в лабораторной и эксплуатационной практике наибольшее распространение получили жидкостные термометры, что во многом обусловлено простотой их конструкции, достаточно высокой точностью выполняемых измерений, а также низкой стоимостью таких приборов. Принцип действия стеклянного жидкостного термометра основан на тепловом расширении заключенной в нем термометрической жидкости. Показания термометра зависят не только от изменения объема термометрической жидкости, но также и от изменения объема стеклянного резервуара, в котором находится эта жидкость. Для заполнения жидкостных термометров наиболее часто применяют ртуть и спирт.

В системах вентиляции и кондиционирования воздуха также используются манометрические термометры (рис. 1.1). Чувствительным элементом термометра является заполненный газом либо жидкостью термобаллон 1. Возникающее при температурном расширении давление по капиллярной трубке 3 передается на упругий элемент 2, деформация (удлинение либо сжатие) которого вызывает смещение указателя температуры 4.

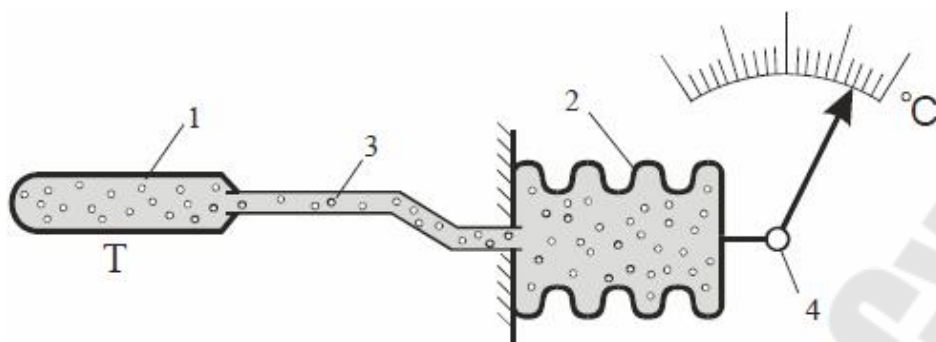


Рис. 1.1. Манометрический термометр

Для измерения **атмосферного (барометрического) давления** применяют барометры трех основных типов: жидкостные (ртутные), гипсотермометры (термобарометры) и безжидкостные (анероиды). Для непрерывной регистрации атмосферного давления служат барографы.

Ртутные барометры являются наиболее точными и используются в основном для измерения давления в стационарных условиях. Измерение давления в таких барометрах сводится к определению высоты (длины) столба жидкости. Различают ртутные барометры трех систем (рис. 1.2): чашечные, сифонные и сифонно-чашечные.

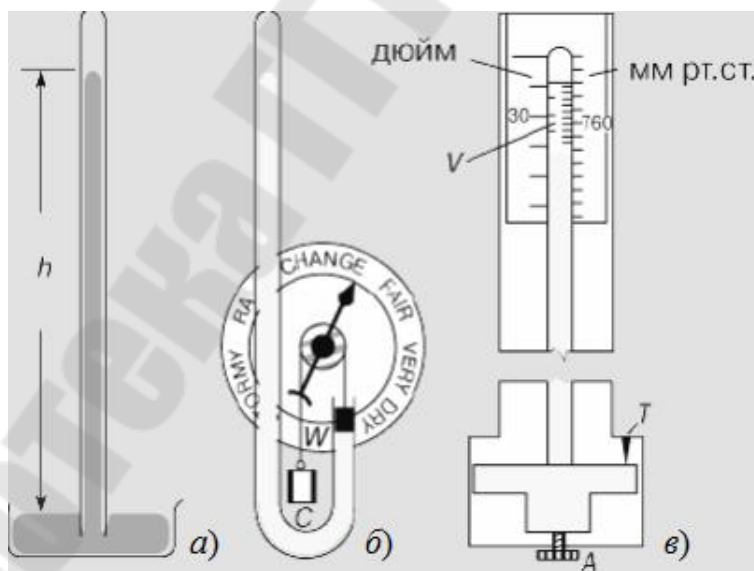


Рис. 1.2. Ртутные барометры: *а* – чашечный; *б* – сифонный; *в* – сифонно-чашечный

Чашечный барометр представляет собой наполненную ртутью стеклянную трубку, запаянную на одном конце и открытую с другого,

погруженную открытым концом в чашку с ртутью. В сифонном барометре изменение уровня ртути в открытом конце трубки посредством груза с противовесом передается стрелке, которая указывает на отметки круговой шкалы. Сифонно-чашечный барометр является разновидностью чашечного барометра, в котором присутствует возможность коррекции нуля шкалы посредством вращения винта *A* до соприкосновения острия прибора *T* с поверхностью ртути.

Принцип работы гипсотермометра заключается в использовании зависимости температуры кипения воды от атмосферного давления: ртутный термометр при измерениях помещают в пар кипящей воды и по его температуре вычисляют величину барометрического давления.

Барометры-анероиды, действие которых основано на упругих свойствах твердых металлических тел, получили наибольшее применение в практике передвижных измерений. Приемную часть прибора (рис. 1.3) составляют две анероидные коробки 2, растянутые стальной пружиной 5 и соединенные вместе. Для повышения эластичности коробки снабжены кольцевыми концентрическими гофрами. Воздух из коробок откачивают до необходимого давления. При повышении атмосферного давления коробки сжимаются, а при понижении – растягиваются. Деформации анероидных коробок передаются при помощи системы рычагов и нити на ось отсчетной стрелки 6. В центр корпуса вмонтирована фиксирующая стрелка 7, служащая для фиксации исходного отсчета по шкале 4. Все элементы барометра размещены внутри корпуса 1, защищенного стеклом 3.

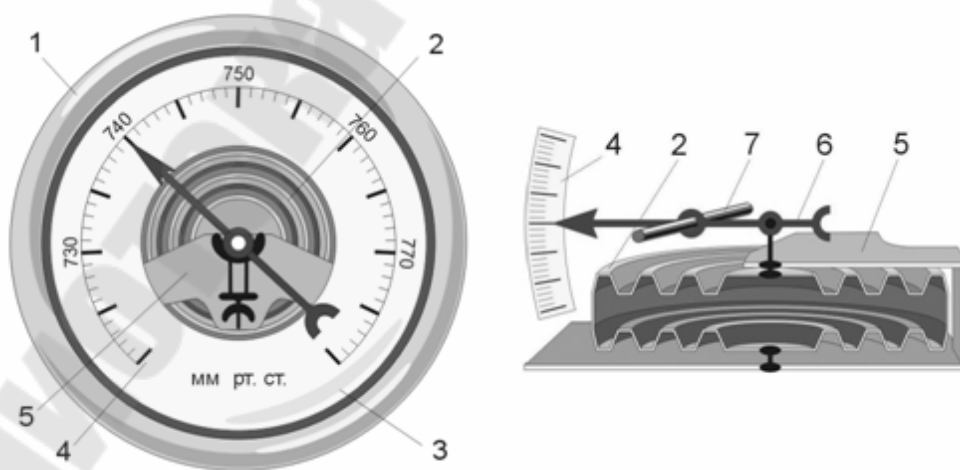


Рис. 1.3. Устройство барометра-анероида:

- 1 – корпус; 2 – анероидные коробки; 3 – стекло; 4 – шкала;
5 – стальная пружина; 6 – отсчетная стрелка; 7 – фиксирующая стрелка

Для измерения **скорости движения воздуха** в открытых проемах применяют крыльчатые и чашечные анемометры. Принцип работы таких анемометров заключается в преобразовании угловой частоты вращения приемной части в пропорциональное значение скорости воздушного потока.

Основными элементами представленных на рис. 1.4 механических анемометров являются: *1* – приемная часть (крестовина с четырьмя чашечками в чашечном анемометре либо насаженная на трубчатую ось крыльчатка у крыльчатого анемометра); *2* – счетный механизм со шкалой; *3* – арретир для включения счетного механизма.

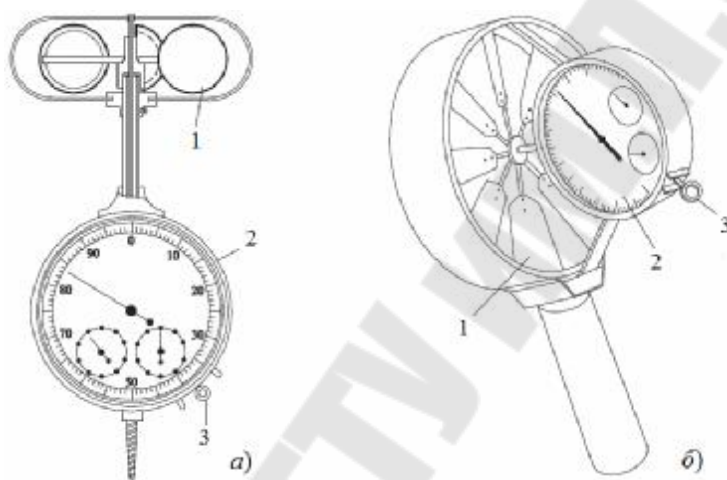


Рис. 1.4. Механические анемометры: *а* – чашечный; *б* – крыльчатый

Крыльчатые анемометры имеют более чувствительный приемный элемент и применяются для измерения небольших скоростей (от 0,3 до 5 м/с). Чашечные анемометры, напротив, обладают менее чувствительной, но более прочной приемной частью, вследствие чего позволяют производить измерения больших скоростей движения воздуха (до 30 м/с).

Приборы и оборудование: ртутный термометр; барометр-анероид; электронный термоанемометр крыльчатого типа.

Порядок выполнения работы

Поместить ртутный термометр в исследуемое помещение и после установления теплового равновесия (приблизительно 4–5 мин) произвести измерение температуры воздуха *t*.

Измерить атмосферное давление воздуха p_b с помощью барометра-анероида.

Включить электронный термоанемометр и выполнить измерение температуры и скорости естественного движения воздуха $\vartheta_{\text{ест}}$ в помещении. Сопоставить значения температур, измеренных посредством ртутного термометра и электронного термоанемометра.

Включить настольный вентилятор и, установив крыльчатку термоанемометра по направлению движения воздушного потока, произвести измерения скорости принудительной вентиляции воздуха $\vartheta_{\text{пр}}$ на расстоянии 0,5; 1,0 и 1,5 м от вентилятора.

Проверить соответствие измеренных значений температуры и скорости естественного движения воздуха оптимальным и допустимым значениям для легкой категории работ Ia, устанавливаемым Гигиеническим нормативом «Показатели микроклимата производственных и офисных помещений».

Результаты измерений занести в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Результаты измерений

Наименование характеристики	Измеренное значение	Нормативное значение	
		оптимальное	допустимое
Температура t , °C			
Атмосферное давление p_b , мм рт. ст.			
Скорость движения $\vartheta_{\text{ест}}$, м/с			

Контрольные вопросы

- Жидкостные стеклянные термометры.
- Манометрические термометры.
- Ртутные барометры. Гипсотермометры.
- Барометры-анероиды. Барографы.
- Чашечные и крыльчатые анемометры.

Лабораторная работа № 2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ СОСТОЯНИЯ ВЛАЖНОГО ВОЗДУХА

Цель работы: изучить теоретические определения основных термодинамических характеристик влажного воздуха. Ознакомиться с устройством и принципами работы приборов для измерения влажности воздуха. С использованием психрометра Августа определить показания сухого и мокрого термометров в помещении лаборатории. По измеренным значениям аналитическим и графическим способами определить основные параметры состояния влажного воздуха.

Краткие теоретические сведения

Атмосферный воздух представляет собой смесь невзаимодействующих газов (сухого воздуха), водяного пара и различных загрязнителей (дым, пыль, промышленные, транспортные и прочие газовые выбросы). При расчетах систем вентиляции и кондиционирования атмосферный воздух считают бинарной гомогенной смесью, состоящей из сухого воздуха и водяного пара. Смесью сухого воздуха с перегретым водяным паром называют ненасыщенный влажный воздух, а смесь сухого воздуха с насыщенным водяным паром – насыщенным влажным воздухом. Количество водяного пара во влажном воздухе изменяется от нуля (сухой воздух) до некоторого максимального значения, которое зависит от температуры и барометрического давления, и в процессах кондиционирования обычно не превышает 2–3 %. Поэтому с достаточной для технических расчетов точностью влажный воздух можно считать идеальным газом, который подчиняется соответствующим термодинамическим законам. **Состояние влажного воздуха** характеризуют нижеследующими основными параметрами.

Температура воздуха по сухому термометру $t_{с.т}$ – температура воздуха, определяющая степень его нагрева.

Температура воздуха по мокрому термометру $t_{м.т}$ – температура, до которой нужно охладить воздух, чтобы он стал насыщенным при сохранении начальной энтальпии воздуха.

Температура точки росы воздуха t_p – температура, до которой необходимо охладить ненасыщенный воздух, чтобы он стал насыщенным при сохранении постоянного влагосодержания.

Влагосодержание воздуха d – количество водяного пара в г (либо кг), приходящееся на 1 кг сухой части влажного воздуха.

Относительная влажность воздуха φ – выраженное в процентах отношение массы водяных паров, содержащихся в воздухе, к максимально возможной их массе в воздухе при тех же условиях. Относительная влажность воздуха характеризует степень его насыщенности водяными парами. Насыщенное состояние влажного воздуха соответствует состоянию, при котором он до предела насыщен водяными парами ($\varphi = 100\%$).

Удельная энтальпия влажного воздуха h – количество теплоты, необходимое для нагревания от $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ до данной температуры такого количества влажного воздуха, сухая часть которого имеет массу 1 кг. Энтальпия влажного воздуха складывается из энтальпии его сухой части и энтальпии водяных паров.

Удельная теплоемкость влажного воздуха $c_{в.в}$ – количество теплоты, требуемое для повышения температуры 1 кг влажного воздуха на один градус.

Парциальное давление водяных паров $p_{в.п}$ – давление, под которым находятся водяные пары во влажном воздухе.

Комфортные условия воздушной среды в помещениях определяются условиями теплового комфорта и газовым составом (качеством) воздуха. Условия теплового комфорта – это условия воздушной среды, при которых механизмы терморегуляции человека работают без напряжения, а сам человек при этом ощущает себя комфортно. Данные условия обеспечиваются определенными сочетаниями следующих основных параметров микроклимата помещения: температуры, относительной влажности и подвижности (скорости движения) воздуха. Индикатором качества воздуха является концентрация содержащегося в нем углекислого газа (CO_2), значение которой не должно превышать 1960 мг/м^3 .

Действующими нормативными документами, регламентирующими оптимальные и допустимые параметры микроклимата в помещениях являются Санитарные нормы и правила «Требования к микроклимату рабочих мест в производственных и офисных помещениях» и Гигиенический норматив «Показатели микроклимата производственных и офисных помещений». Значения оптимальных (над чертой) и допустимых (под чертой) параметров микроклимата на рабочих местах производственных и офисных помещений для легкой категории работ Ia, заимствованные из вышеозначенных стандартов, представлены в табл. 2.1.

Параметры микроклимата производственных и офисных помещений

Период года	Параметры воздуха		
	Температура, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения, м/с
Холодный	22–24	60–40	0,1
	20–25	15–75	0,1
Теплый	23–25	60–40	0,1
	21–28	15–75	0,1–0,2

Измерение **относительной влажности воздуха** осуществляют прямыми и косвенными методами. Прямые (гигроскопические) методы основаны на измерении величины термического расширения гигроскопических материалов, имеющего место при изменении относительной влажности воздуха. В качестве высокочувствительных гигроскопических материалов могут использоваться человеческий волос, дерево, капрон и другие материалы.

Одним из самых распространенных косвенных методов определения относительной влажности воздуха является психрометрический метод, предусматривающий измерение температур сухого и мокрого термометров. В практике измерений наиболее часто применяют психрометры Августа и Ассмана.

Психрометр Августа (рис. 2.1) состоит из размещенных в корпусе 1 двух одинаковых жидкостно-стеклянных термометров: сухого 2 и мокрого 3. Резервуар мокрого термометра обернут смоченной тканью 4, конец которой находится в заполненном водой сосуде 5.

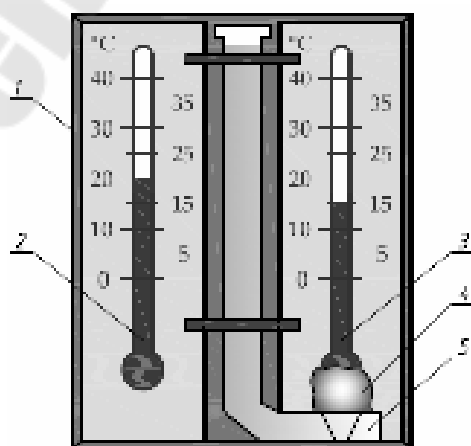


Рис. 2.1. Психрометр Августа

Показания мокрого термометра будут ниже вследствие его охлаждения за счет испарения воды с поверхности ткани. Влажность воздуха определяют из специальной психрометрической таблицы по показаниями психрометра, снятым по истечении приблизительно 25 мин. Психрометры Августа имеют недостатки, к числу которых следует отнести хрупкость конструкции, подверженность влиянию теплового излучения, а также зависимость показаний от подвижности воздуха вследствие увеличивающейся интенсивности испарения с поверхности ткани.

Вышеозначенные недостатки частично устранены в конструкции аспирационного психрометра Ассмана, применяемого для измерения влажности и температуры воздуха в стационарных и походных условиях. По принципу действия он не отличается от психрометра Августа. Разница между ними заключается в том, что резервуары сухого и мокрого термометров закреплены в специальной оправе, имеющей заводной механизм с вентилятором. Благодаря этому в момент измерения термометры находятся в воздушном потоке, движущемся с определенной скоростью, постоянной при любых условиях измерения, что учитывается соответствующей поправкой к показаниям.

В системах вентиляции и кондиционирования воздуха также применяют электролитические датчики влажности (рис. 2.2), работа которых основана на использовании зависимости электрического сопротивления чувствительных элементов от их влажности.

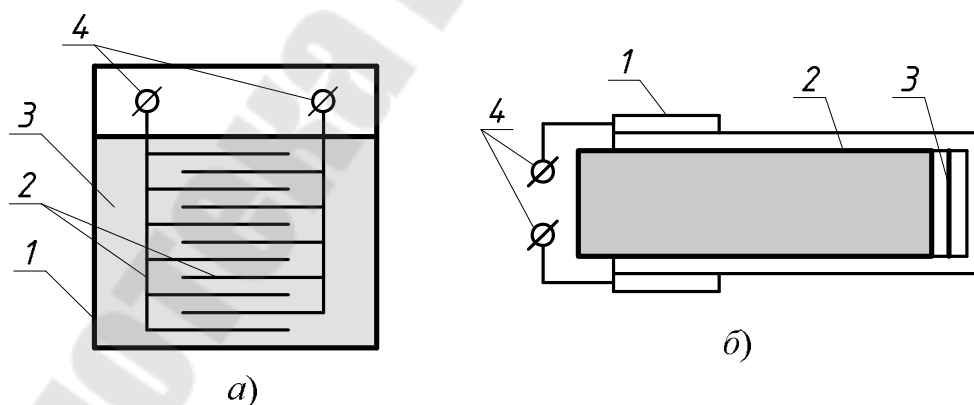


Рис. 2.2. Электролитические датчики влажности:

a – датчик влажности с жидким электролитом:

1 – диэлектрическая пластинка; 2 – гребенки электродов;

3 – электролит со связующим веществом; 4 – выводные контакты;

б – с твердым электролитом: 1 – напыленные электроды; 2 – полистирол;

3 – слой электролита (например, LiCl, ZnO); 4 – выводные контакты

Электролитический датчик имеет чувствительный элемент из гигроскопического материала, нанесенного между электродами. В зависимости от величины относительной влажности воздуха устанавливается некоторая влажность гигроскопического материала, соответствующая определенной электропроводности этого материала, на которую и реагирует прибор. Точность измерения относительной влажности посредством электролитических датчиков составляет $\pm 3\%$ в диапазоне от -40 до $+50$ °С.

Приборы и оборудование: электронный термоанемометр; барометр-анероид; психрометр Августа ВИТ-1.

Порядок выполнения работы

С помощью пипетки смочить ткань мокрого термометра психрометра дистиллированной водой, имеющей комнатную температуру. При смачивании вода не должна попадать на термометр и на внутреннюю поверхность его кожуха.

После установления показаний термометров (приблизительно через 25–30 мин) с точностью до десятых долей градуса произвести отсчет температур сухого $t_{с.т}$ и мокрого $t_{м.т}$ термометров, учитывая при этом их табличные поправки.

Измерить барометрическое давление p_b и скорость естественного движения $\mathcal{V}_в$ воздуха внутри помещения лаборатории.

Обработка результатов измерений

По результатам измерений определить основные параметры состояния влажного воздуха: температуру точки росы t_p , удельный объем v_y , парциальное давление водяного пара $p_{в.п.}$, энтальпию h , влагосодержание d и относительную влажность φ . Оценку указанных параметров выполнить путем аналитического расчета и посредством графических способов, предусматривающих использование $h-d$ -диаграммы и психрометрического графика.

Аналитический расчет параметров

Рассчитать парциальное давление водяного пара во влажном воздухе:

$$p_{в.п} = p_{м.т}^{\text{нас}} - A_{\text{пс}} p_{\text{б}} (t_{\text{ст}} - t_{\text{м.т}}), \text{ кПа},$$

где $p_{м.т}^{\text{нас}}$ – давление насыщения при температуре мокрого термометра, кПа; $p_{\text{б}}$ – барометрическое давление воздуха, кПа; $A_{\text{пс}}$ – константа психрометра, определяемая из соотношения:

$$A_{\text{пс}} = \left(593,1 + \frac{153,1}{\sqrt{\vartheta_{\text{в}}}} + \frac{4,8}{\vartheta_{\text{в}}} \right) 10^{-6}, \text{ 1/К}.$$

Здесь $\vartheta_{\text{в}}$ – скорость движения воздуха, м/с.
Определить влагосодержание:

$$d = 622,1 \frac{p_{в.п}}{p_{\text{б}} - p_{в.п}}, \text{ г/кг}.$$

Найти энтальпию влажного воздуха:

$$h_{в.в} = c_{с.в} t_{с.т} + (r_0 + c_{в.п} t_{с.т}) d \cdot 10^{-3}, \text{ кДж/кг},$$

где $c_{с.в}$ – удельная теплоемкость сухого воздуха при постоянном давлении, $c_{с.в} = 1,006 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{К)}$; r_0 – теплота парообразования при 0°С , $r_0 = 2501 \text{ кДж/кг}$; $c_{в.п}$ – среднее значение удельной теплоемкости перегретого пара в интервале от температуры насыщения до температуры перегрева, $c_{в.п} = 1,86 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{К)}$; d – влагосодержание воздуха, г/кг.

Определить относительную влажность воздуха:

$$\varphi = \frac{p_{в.п}}{p_{в.п}^{\text{max}}} \cdot 100 \%,$$

где $p_{в.п}^{\text{max}}$ – давление насыщения, отыскиваемое по температуре сухого термометра $t_{с.т}$, кПа.

Найти температуру точки росы t_p как температуру насыщения, соответствующую парциальному давлению водяного пара $p_{в.п}$.

Определение параметров с использованием $h-d$ -диаграммы

С использованием $h-d$ -диаграммы на рис. П.1.1 (Приложение 1) найти значение энтальпии h по изолинии, проходящей через точку пересечения изотермы мокрого термометра $t_{м.т}$ и линии $\varphi = 100 \%$.

На пересечении изотермы сухого термометра $t_{с.т}$ и изоэнтальпы h отметить точку, соответствующую искомому состоянию влажного воздуха.

Опустить перпендикуляр из полученной точки на горизонтальную ось и произвести отсчет влагосодержания d .

Точка пересечения означенного перпендикуляра с линией $\varphi = 100 \%$ даст отсчет на изотерме сухого термометра точки росы t_p .

На пересечении указанного перпендикуляра с линией давления произвести отсчет парциального давления водяного пара $p_{в.п}$.

Определение параметров по психрометрическому графику

По психрометрическому графику на рис. П.1.2 (Приложение 1) найти значения φ , d , h , $p_{в.п}$, t_p и $v_{уд}$.

Занести в табл. 2.2 и сопоставить параметры состояния влажного воздуха, найденные разными способами.

Таблица 2.2

Основные параметры состояния влажного воздуха

Способ определения	t_p , °С	$v_{уд}$, м ³ /кг	$p_{в.п}$, кПа	h , кДж/кг	d , г/кг	φ , %
Аналитический расчет						
$h-d$ -диаграмма						
Психрометрический график						

Контрольные вопросы

Параметры состояния влажного воздуха.

Комфортные условия воздушной среды. Оптимальные и допустимые параметры микроклимата помещений.

Приборы для измерения относительной влажности воздуха.

Аналитический расчет параметров состояния влажного воздуха.

Психрометрический график и $h-d$ -диаграмма.

Лабораторная работа № 3

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОЧИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОМПАКТНОГО ПАНЕЛЬНОГО КОНДИЦИОНЕРА

Цель работы: ознакомиться с общеизвестной классификацией систем кондиционирования воздуха. Изучить устройство и функциональную схему компактного панельного кондиционера. Выполнить экспериментальное определение основных параметров, характеризующих работу кондиционера: производительность по воздуху; тепло- и холодопроизводительность; количество влаги, выпадающей из обрабатываемого воздуха.

Краткие теоретические сведения

К настоящему времени не сформировалась строгая классификация **систем кондиционирования воздуха (КВ)**. Однако ряд отличительных особенностей различных систем КВ позволяет привести их приближенную классификацию:

- центральные системы кондиционирования воздуха;
- системы кондиционирования воздуха с местными неавтономными кондиционерами и центральными источниками тепла и холода;
- смешанные системы кондиционирования воздуха;
- системы кондиционирования воздуха с автономными кондиционерами.

К **центральным системам КВ** относят такие, при которых один центральный кондиционер обслуживает одно или несколько помещений. При этом для подачи приточного воздуха с различными параметрами из центрального кондиционера в отдельные помещения на ветвях воздухопроводов устанавливают доводчики, которые корректируют параметры приточного воздуха (обычно температуру) до необходимого значения для каждого помещения. Такими доводчиками могут быть теплообменники, работающие на подогрев либо доохлаждение обработанного в центральном кондиционере приточного воздуха.

Система КВ с местными неавтономными кондиционерами и центральными источниками тепла и холода состоит из центральных источников тепла и холода и местных неавтономных кондиционеров, устанавливаемых в кондиционируемых помещениях, холодо- либо теплоноситель к которым подается из центральных источников

по специальным трубопроводам. Требуемая тепловлажностная обработка воздуха осуществляется в неавтономных кондиционерах, снабженных теплообменными аппаратами для нагревания, охлаждения и осушения воздуха. В некоторых случаях неавтономные кондиционеры оборудуют устройствами и для увлажнения воздуха. Воздух в неавтономных кондиционерах перемещают с помощью специальных вентиляторов, встроенных в корпус аппарата.

Смешанные системы КВ представляют собой сочетание центральных систем с местными неавтономными кондиционерами. В центральных кондиционерах этих систем тепло-влажностной обработке подвергается только наружный воздух, который из кондиционера по системе воздуховодов подводится к эжекционным доводчикам, установленным в кондиционируемых помещениях (эти доводчики аналогичны местным неавтономным кондиционерам). В этих помещениях воздух смешивается с рециркуляционным, подкачиваемым в доводчик за счет эжектирующего эффекта, создаваемого воздухом, который подводится от центрального кондиционера к соплам доводчика. Внутри доводчика расположен поверхностный теплообменник, проходя через который рециркуляционный воздух может охлаждаться либо нагреваться. Источники тепла и холода в этих системах централизованы. Они обслуживают как центральный кондиционер, так и теплообменники, расположенные в доводчиках.

Системы КВ с автономными кондиционерами отличаются от систем с центральными источниками тепла и холода и местными неавтономными кондиционерами тем, что автономные кондиционеры, устанавливаемые непосредственно в кондиционируемых помещениях, имеют собственные (встроенные в корпус аппарата) источники тепла и холода. Источником холода в этих аппаратах обычно является парокompрессионная холодильная машина, а источником тепла для нагревания воздуха – электрические нагреватели. В некоторых случаях имеющаяся парокompрессионная холодильная машина работает по принципу теплового насоса и выполняет функции источника тепла. При необходимости увлажнения обрабатываемого воздуха автономные кондиционеры могут быть оборудованы специальными устройствами для увлажнения воздуха.

Приборы и оборудование: электронный термоанемометр; цифровой термогигрометр; датчик температуры приточного воздуха; накладные датчики температуры воды; датчик-реле перепада давления на вентиляторном агрегате; компактный панельный кондиционер.

Требования техники безопасности при работе на установке

Работа на установке допускается только в присутствии лаборанта или преподавателя с обязательным выполнением следующих требований:

– перед включением установки необходимо путем внешнего осмотра убедиться в исправности ее защитного заземления, целостности соединений трубопроводов и отсутствии течи;

– вентили *B1–B11* должны находиться в положениях, обеспечивающих беспрепятственную и непрерывную циркуляцию жидкости через исследуемый теплообменник (воздухонагреватель либо воздухоохладитель). **Следует помнить**, что не допускается продолжительная работа насоса (более 5–10 с) на тупиковую сеть, так как отсутствие протока жидкости может привести к нагреву и последующему выходу насоса из строя;

– при возникновении нештатных ситуаций необходимо выключить насосную и вентиляторную установки и отключить электрическое питание стенда.

Схема и описание лабораторной установки

Компактный панельный кондиционер, принципиальная схема которого представлена на рис. 3.1, состоит из состыкованных и скрепленных между собой функциональных блоков, внутри которых реализуются следующие процессы обработки воздуха: очистка, нагрев, охлаждение, осушка.

В состав блочного кондиционера входят: *1* – воздухозаборный клапан; *2* – фильтр ячейковый; *3* – воздухонагреватель; *4* – воздухоохладитель; *5* – каплеуловитель; *6* – вентиляторы, установленные на одном валу и приводимые одним электродвигателем. Для подогрева воды используется электрический накопительный водонагреватель *7*; для приема избытка воды, возникающего в результате ее теплового расширения в процессе нагревания, установлен расширительный бак *8*; насос *H* обеспечивает циркуляцию теплоносителя по замкнутому контуру.

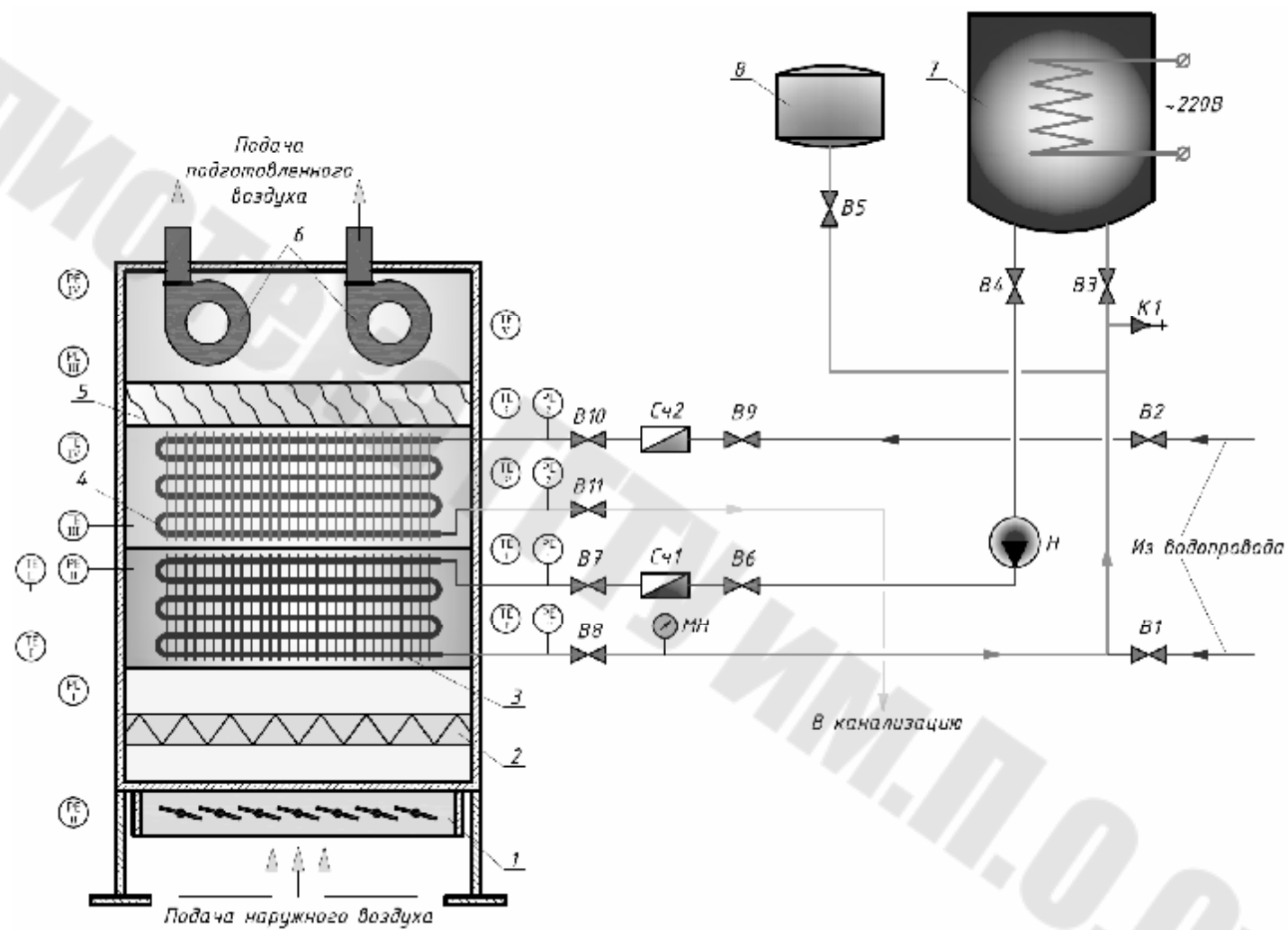


Рис. 3.1. Принципиальная схема компактного панельного кондиционера

Вентили *B1–B11* предназначены для подключения исследуемых функциональных блоков к соответствующим трубопроводам. Информационно-измерительная система установки включает манометр *MH*, два скоростных расходомера интегрирующего типа *Cч1*, *Cч2*, датчик температуры воздуха после каплеуловителя *TE-V*, датчик-реле разности давлений воздуха на входе и выходе из вентиляторов *PdE-IV/III*.

Порядок выполнения работы

Зимний режим работы кондиционера (нагревание воздуха)

Термогигрометром измерить температуру необработанного воздуха по сухому $t_{с.т}$ и мокрому $t'_{м.т}$ термометрам.

Заполнить контур воздухонагревателя водой, поочередно открывая вентили *B4*, *B6*, *B7*, *B8*, *B3* и *B1*; после заполнения контура закрыть означенные вентили.

Подать питающее напряжение на компактный кондиционер и переключателем на щите автоматического управления выбрать зимний режим его работы.

Включить водонагреватель 7, задать необходимую температуру нагрева воды t_w , по достижении которой открыть вентили *B6*, *B7*, *B8*, *B3*, *B4* и включить насос *H*.

Выполнить полное открытие воздухозаборного клапана, после чего включить блок вентиляторов и по выходе кондиционера на установившийся режим измерить скорость движения v и температуру $t''_{с.т}$ воздуха на выходе из установки.

Выключить вентиляторы, насос и закрыть вентили *B4*, *B3*, *B8*, *B7*, *B6*.

Снять питающее напряжение с компактного кондиционера.

Летний режим работы кондиционера (охлаждение воздуха)

Термогигрометром измерить температуру $t'_{с.т}$ и относительную влажность ϕ' необработанного воздуха.

Осуществить заполнение контура воздухоохладителя водой, поочередно открывая вентили *B9*, *B10*, *B11* и *B2*.

Подключить кондиционер к электрической сети и задать летний режим его работы посредством переключателя на щите автоматического управления.

Полностью открыть воздухозаборный клапан и включить блок вентиляторов.

По достижении установившихся аэродинамического и теплового режимов произвести измерение подвижности $\vartheta_{\text{в}}$, температуры $t''_{\text{с.т}}$ и относительной влажности ϕ'' охлажденного воздуха на выходе из кондиционера.

Выключить вентиляторный блок и закрыть вентили *B2, B9, B10, B11*.

Отключить установку кондиционирования воздуха от электрической сети.

Результаты измерений занести в табл. 3.1; требуемые для исчерпывающего заполнения данной таблицы параметры состояния влажного воздуха доопределить с использованием *h-d*-диаграммы.

Таблица 3.1

Параметры состояния влажного воздуха

Режим работы кондиционера	Параметры воздуха	$t_{\text{с.т}},$ °C	$t_{\text{м.т}},$ °C	$t_{\text{р}},$ °C	$\phi,$ %	$d,$ г/кг	$h,$ кДж/кг	$\rho,$ кг/м ³
«Зима»	Начальные							
	Конечные							
«Лето»	Начальные							
	Конечные							

Обработка результатов измерений

Построить процессы изменения состояния влажного воздуха на *h-d*-диаграмме для зимнего и летнего режимов работы кондиционера.

По измеренным начальным и конечным параметрам влажного воздуха рассчитать следующие характеристики кондиционера: производительность по воздуху, тепло- и холодопроизводительность, а также количество выпадающей из воздуха влаги в случае наблюдения процесса «мокрого» охлаждения.

Рассчитать массовый расход влажного воздуха:

$$m_{\text{в.в}} = \vartheta_{\text{в}} n_{\text{п}} F_{\text{вых}} \rho_{\text{в}}, \text{ кг/с,}$$

где $n_{\text{п}} = 2$ – число выходных патрубков вентиляторного агрегата; $F_{\text{вых}}$ – площадь поперечного сечения одного патрубка, $F_{\text{вых}} = 0,042 \text{ м}^2$;

$\rho_{\text{в}}$ – среднее значение плотности воздуха, определяемое из табл. П.2.1 (Приложение 2) по соответствующим усредненным экспериментальным значениям температур воздуха для зимнего и летнего режимов работы кондиционера, кг/м³.

Найти массовый расход сухой части влажного воздуха:

$$m_{\text{с.в}} = \frac{m_{\text{в.в}}}{1 + d \cdot 10^{-3}}, \text{ кг/с,}$$

где d – среднее значение влагосодержания воздуха, г/кг.

Режим нагрева

Определить теплопроизводительность кондиционера:

$$Q_t = m_{\text{с.в}}(h'' - h'), \text{ кВт,}$$

где h' и h'' – начальное и конечное значения энтальпии воздуха, кДж/кг.

Режим охлаждения с осушением («мокрое» охлаждение)

Вычислить явную Q_1 , скрытую Q_d и полную Q_{Σ} холодопроизводительности кондиционера:

$$Q_t = m_{\text{с.в}}(t'_{\text{с.т}} - t''_{\text{с.т}}) \cdot (c_{\text{с.в}} + c_{\text{в.п}} d'' \cdot 10^{-3}), \text{ кВт;}$$

$$Q_d = m_{\text{с.в}}(d' - d'') \cdot (r_0 + c_{\text{в.п}} t'_{\text{с.т}}) 10^{-3}, \text{ кВт;}$$

$$Q_{\Sigma} = Q_t + Q_d, \text{ кВт,}$$

где $c_{\text{с.в}}$ – удельная теплоемкость сухого воздуха при постоянном давлении, $c_{\text{с.в}} = 1,006$ кДж/(кг · К); $c_{\text{в.п}}$ – среднее значение удельной теплоемкости перегретого пара в интервале от температуры насыщения до температуры перегрева, $c_{\text{в.п}} 1,86$ кДж/(кг · К); d' и d'' – начальное и конечное значения влагосодержания воздуха, г/кг; r_0 – теплота парообразования при 0 °С, $r_0 = 2501$ кДж/кг.

Найти количество выпадающей из воздуха влаги:

$$W_{\text{во}} = m_{\text{с.в}}(d' - d'') 10^{-3}, \text{ кг/с.}$$

В режиме охлаждения без осушения («сухого» охлаждения):
 $Q_{\Sigma} = Q_t = m_{c.в} (h' - h'')$, кВт, так как $Q_d = 0$.

Контрольные вопросы

Классификация систем кондиционирования воздуха.

Центральные системы кондиционирования воздуха. Системы кондиционирования воздуха с местными неавтономными кондиционерами и центральными источниками тепла и холода.

Смешанные системы кондиционирования воздуха. Системы кондиционирования воздуха с автономными кондиционерами.

Устройство и функциональная схема компактного панельного кондиционера.

Определение основных параметров компактного панельного кондиционера в летнем и зимнем режимах его работы.

Лабораторная работа № 4

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОВЕРХНОСТНОГО ВОЗДУХОНАГРЕВАТЕЛЯ

Цель работы: ознакомиться с видами поверхностных воздухонагревателей, используемых в системах вентиляции и кондиционирования воздуха. Произвести расчет коэффициента теплопередачи водяного воздухонагревателя по определенным из эксперимента расходам и температурам теплообменивающихся сред на входе в аппарат.

Краткие теоретические сведения

Поверхностные рекуперативные воздухонагреватели, в которых теплообменивающиеся среды разделены металлической стенкой, в настоящее время получили наиболее широкое распространение в системах вентиляции и кондиционирования воздуха.

По виду рабочих сред поверхностные воздухонагреватели для систем вентиляции и кондиционирования воздуха подразделяют на водовоздушные, паровоздушные и электровоздушные. В водовоздушных воздухонагревателях происходит передача тепла от воды к воздуху. В паровоздушных аппаратах нагревание воздуха происходит за счет скрытого тепла, выделяющегося при конденсации пара, подаваемого в воздухонагреватель. В электрокалориферах для нагревания воздуха используют электрическую энергию, что позволяет создавать воздухонагревательные установки, в которых отсутствуют трубопроводы для подвода и отвода воды, а это существенно упрощает эксплуатацию таких установок. При обработке воздуха с низкой отрицательной температурой в качестве теплоносителя может использоваться незамерзающий раствор этиленгликоля.

По взаимному движению теплообменивающихся сред поверхностные воздухонагреватели и воздухонагревательные установки подразделяют на прямоточные, противоточные и смешанного типа (перекрестно-противоточные, перекрестно-прямоточные, многократно-перекрестные и др.). На рис. 4.1 представлены принципиальные схемы движения сред в поверхностных теплообменниках, а на рис. 4.2 – в воздухонагревательных установках.

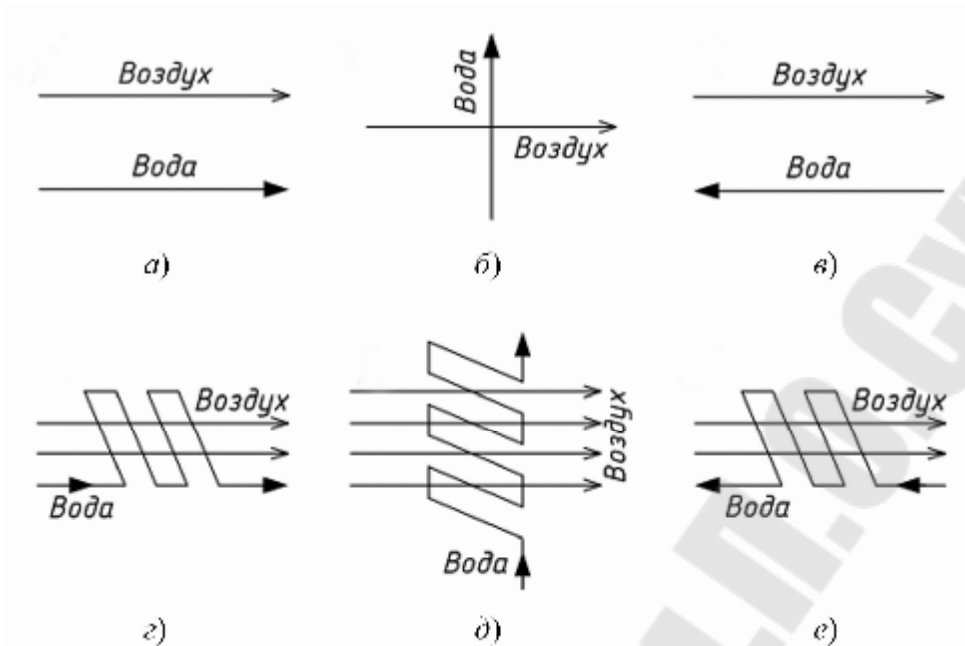


Рис. 4.1. Принципиальные схемы движения воды и воздуха в поверхностных теплообменниках: *а* – прямоточная; *б* – перекрестно-точная; *в* – противоточная; *г* – перекрестно-прямоточная; *д* – многократно-перекрестная; *е* – перекрестно-противоточная

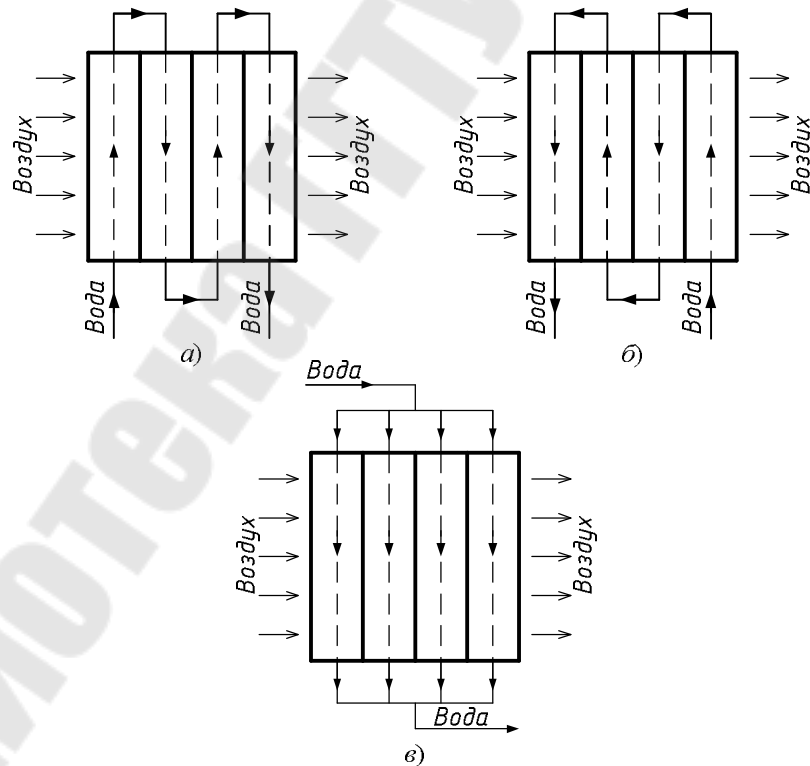


Рис. 4.2. Принципиальные схемы движения воды и воздуха в воздухонагревательных установках: *а* – перекрестно-прямоточная; *б* – перекрестно-противоточная; *в* – перекрестно-точная

По характеру температурного режима воздухонагреватели можно разделить на аппараты непрерывного действия, работающие в установившемся тепловом режиме, и аппараты периодического действия, в которых температуры сред в конкретных точках теплообменника меняются во времени.

При классификации воздухонагревателей по конструктивным признакам во внимание принимают материал поверхности теплообмена, форму каналов для прохода теплообмениваемых сред и тип оребрения теплообменной поверхности. Схематическое изображение водяного воздухонагревателя представлено на рис. 4.3.

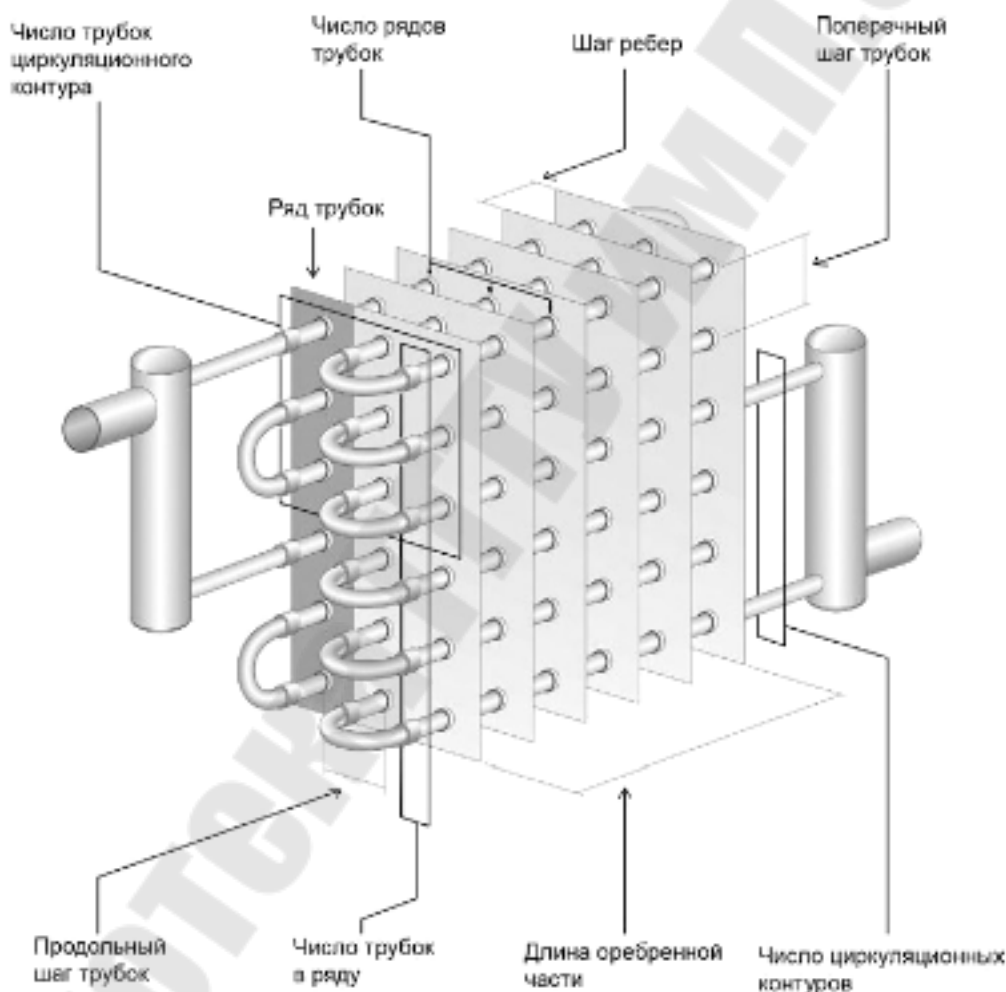


Рис. 4.3. Водяной воздухонагреватель поверхностного типа

Приборы и оборудование: электронный термоанемометр; расходомер горячей воды интегрального типа; датчики температуры воды и воздуха; водяной воздухонагреватель компактного панельного кондиционера.

Схема и описание лабораторной установки

В данной работе исследуется поверхностный водяной воздухо-нагреватель ВНВ 243.1, входящий в состав компактного панельного кондиционера, функциональная схема и детальное описание устройства которого представлены в лабораторной работе № 3.

Водяной воздухонагреватель ВНВ 243.1-078-030-02-2,5-06-2 представляет собой поверхностный теплообменник с медными трубками, оребренными гофрированными алюминиевыми пластинами. Трубки объединены в группы, концы которых впаяны в коллекторы из стальных труб, предназначенные для входа и выхода теплоносителя. Для соединения с внешней системой на коллекторах имеются специальные патрубки, обеспечивающие резьбовое соединение.

Расшифровка буквенно-цифровых обозначений и основные технические характеристики исследуемого воздухонагревателя представлены в табл. П.3.1 (Приложение 3).

Порядок выполнения работы

Контур воздухонагревателя имеет замкнутую систему циркуляции жидкости, которая не требует постоянного подключения к водопроводу. Для заполнения контура нагревателя водой необходимо поочередно открыть вентили $B4, B6, B7, B8, B3$ и $B1$. Все остальные вентили должны быть закрыты; после заполнения контура закрыть вентили $B1, B3, B4, B6, B7$ и $B8$.

Подать питающее напряжение на установку кондиционирования воздуха, включить водонагреватель 7 и задать требуемую температуру нагрева воды t_w .

По достижении заданной температуры t_w открыть вентили $B6, B7, B8, B3, B4$ и включить насос H .

Включить блок вентиляторов и по наступлении стационарного режима анемометром измерить скорость движения воздуха ϑ_B на выходе из кондиционера.

Счетчиком $Cч1$ измерить объемный расход воды G_w .

Снять показания датчиков температуры воды на входе t'_w и выходе t''_w из воздухонагревателя, а также датчиков температуры воздуха перед t'_B и за t''_B теплообменником.'

Выключить вентиляторы, насос и закрыть вентили В4, В3, В8, В7, В6. При необходимости слить воду через кран К1.

Снять питающее напряжение с кондиционера.

Измерения провести для x значений расхода воды при постоянном расходе воздуха, а также для y значений расхода воздуха при постоянном расходе воды. Количество рабочих точек x и y задаются преподавателем. Результаты измерений занести в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Результаты измерений

Наименование характеристики	Обозначение, размерность	Показания измерений			
		1	2	...	x (y)
Температура воздуха	$t'_{в}, ^\circ\text{C}$				
	$t''_{в}, ^\circ\text{C}$				
Температура воды	$t'_{w}, ^\circ\text{C}$				
	$t''_{w}, ^\circ\text{C}$				
Скорость воздуха	$\vartheta_{в}, \text{м/с}$				
Расход воды	$G_w, \text{м}^3/\text{с}$				

Обработка результатов измерений

Выполнить решение наиболее часто встречающейся в наладочной и эксплуатационной практике обратной задачи поверочного расчета теплообменного аппарата графоаналитическим и номограммным методами. При известных характеристиках воздухонагревателя ВНВ 243, схеме взаимного движения, экспериментальных значениях массовых расходов ($m_{в}$ и m_w) и температур ($t'_{в}$ и t'_{w}) теплообмениваемых сред на входе в аппарат решение означенной задачи сведется к нахождению передаваемой тепловой мощности Q , расчетных температур воздуха $\tilde{t}_{в}''$ и воды \tilde{t}_{w}'' на выходе из нагревателя, а также его аэродинамического $\Delta p_{в}$ и гидродинамического Δp_w сопротивлений.

Графоаналитический метод расчета

Рассчитать массовые расходы воздуха $m_{в}$ и воды m_w :

$$m_{в} = \vartheta_{в} n_{п} F_{\text{вых}} \rho'_{в}, \text{ кг/с};$$

$$m_w = G_w \rho'_{w}, \text{ кг/с},$$

где $n_{\text{п}} = 2$ – число выходных патрубков вентиляторного агрегата; $F_{\text{вых}}$ – площадь поперечного сечения одного патрубка, $F_{\text{вых}} = 0,042 \text{ м}^2$; $\rho'_{\text{в}}$ и $\rho'_{\text{в}}$ – плотности воздуха и воды, определяемые из табл. П.2.1 и П.2.2 (Приложение 2) по соответствующим экспериментальным значениям температур воздуха $t'_{\text{в}}$ и воды $t'_{\text{в}}$ на входе в аппарат, кг/м^3 .

Определить водяные эквиваленты по воздуху $W_{\text{в}}$ и воде $W_{\text{в}}$:

$$W_{\text{в}} = c_{\text{в}} m_{\text{в}}, \text{ Вт/К};$$

$$W_{\text{в}} = c_{\text{в}} m_{\text{в}}, \text{ Вт/К},$$

где $c_{\text{в}}$ и $c_{\text{в}}$ – удельные изобарные теплоемкости воздуха и воды, отыскиваемые по соответствующим экспериментальным значениям температур воздуха $t'_{\text{в}}$ и воды $t'_{\text{в}}$ на входе в нагреватель, $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$.

Меньший из найденных эквивалентов обозначить через $W_{\text{мин}}$, а больший – $W_{\text{макс}}$, после чего найти их отношение $W_{\text{мин}}/W_{\text{макс}}$.

Вычислить массовую скорость движения воздуха:

$$w_{\text{в}} = m_{\text{в}}/f_{\text{вн}}, \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с}),$$

где $f_{\text{вн}}$ – площадь живого сечения для прохода воздуха, м^2 .

Найти скорость движения воды в трубках воздухонагревателя:

$$w_{\text{в}} = m_{\text{в}}/(\rho_{\text{в}} f_{\text{в}}), \text{ м/с},$$

где $f_{\text{в}}$ – площадь живого сечения для прохода воды, м^2 .

Определить среднее значение коэффициента теплопередачи воздухонагревателя:

$$k_{\text{вн}} = \tilde{a} w_{\text{в}}^{0,37} w_{\text{в}}^{0,18}, \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}),$$

где \tilde{a} – эмпирический коэффициент, зависящий от количества рядов трубок по ходу воздуха и шага пластин; для исследуемого теплообменника $\tilde{a} = 21,68$.

Рассчитать число единиц переноса тепла:

$$NTU = \frac{k_{\text{вн}} F_{\Sigma}}{W_{\text{мин}}},$$

где F_{Σ} – суммарная площадь поверхности теплообмена с воздушной стороны, м^2 .

Располагая найденными соотношением W_{\min}/W_{\max} и значением NTU , для перекрестно-точной схемы взаимного движения теплообменивающихся сред по графику на рис. П.4.1 (Приложение 4) определить коэффициент эффективности теплообмена ε .

Вычислить разность температур воды и воздуха на входе в установку:

$$\Delta t' = t'_w - t'_b, \text{ }^\circ\text{C},$$

а также количество тепловой энергии, передаваемой воздуху водой в единицу времени:

$$Q = W_{\min} \varepsilon \cdot \Delta t', \text{ Вт.}$$

Найти перепад температур воздуха Δt_b и воды Δt_w :

$$\Delta t_b = Q/W_b, \text{ }^\circ\text{C};$$

$$\Delta t_w = Q/W_w, \text{ }^\circ\text{C}.$$

Рассчитать средние значения температур воздуха \tilde{t}_b'' и воды \tilde{t}_w'' на выходе из воздухонагревателя:

$$\tilde{t}_b'' = t'_b + \Delta t_b, \text{ }^\circ\text{C};$$

$$\tilde{t}_w'' = t'_w - \Delta t_w, \text{ }^\circ\text{C}.$$

Определить относительную степень расхождения между экспериментальными и расчетными значениями теплообменивающихся сред на выходе из нагревательного аппарата:

$$\delta_i = \frac{|t_i'' - \tilde{t}_i''|}{t_i'' + \tilde{t}_i''} 200, \text{ } \%,$$

где $i \equiv b$ для воздуха и $i \equiv w$ для воды.

Вычислить аэродинамическое Δp_b и гидродинамическое Δp_w сопротивления воздухонагревателя с использованием эмпирических соотношений:

$$\Delta p_b = \tilde{b} w_b^{\tilde{c}}, \text{ Па};$$

$$\Delta p_w = 1,968 l_x w_w^{1,69}, \text{ кПа},$$

где \tilde{b} и \tilde{c} – эмпирические коэффициенты, зависящие от количества рядов трубок по ходу воздуха и шага пластин (для исследуемого воз-

духонагревателя $\tilde{b} = 3,035$, $\tilde{c} = 1,72$); $l_x = n_T l$ – приведенная длина хода воды в трубках, м; n_T – число ходов трубок; l – длина трубки, м.

Номограммный метод расчета

Прибегнув к использованию найденных графоаналитическим методом величин W_B , W_w , W_{\min}/W_{\max} , k_{BH} и $\Delta t'$, рассчитать поправочный множитель k_t :

$$k_t = \Delta t' / \Delta t'_y,$$

где $\Delta t'_y$ – условная разность температур воды и воздуха на входе в установку, $\Delta t'_y = 100$ °С.

Воспользовавшись значениями W_{\min} , k_{BH} , F_Σ и W_{\min}/W_{\max} , по основной номограмме рис. П.4.2 либо рис. П.4.3 (Приложение 4) для перекрестно-точной схемы движения теплообменивающихся сред найти условную тепловую мощность Q_y и коэффициент эффективности теплообмена ε .

Определить количество тепловой энергии, передаваемой в теплообменном аппарате от воды к воздуху в единицу времени:

$$Q = k_t Q_y, \text{ Вт.}$$

Рассчитать перепады температур воздуха Δt_B и воды Δt_w :

$$\begin{cases} \Delta t_B = \varepsilon \cdot \Delta t', \text{ °С} & \text{при } W_B < W_w; \\ \Delta t_B = \varepsilon \cdot \Delta t' \frac{W_{\min}}{W_{\max}}, \text{ °С} & \text{при } W_B > W_w; \\ \Delta t_w = \varepsilon \cdot \Delta t' \frac{W_{\min}}{W_{\max}}, \text{ °С} & \text{при } W_B < W_w; \\ \Delta t_w = \varepsilon \cdot \Delta t', \text{ °С} & \text{при } W_B > W_w. \end{cases}$$

Найти температуры воздуха \tilde{t}_B'' и воды \tilde{t}_w'' на выходе из воздушнонагревателя:

$$\tilde{t}_B'' = t'_B + \Delta t_B, \text{ °С};$$

$$\tilde{t}_w'' = t'_w - \Delta t_w, \text{ °С}.$$

Используя вышеприведенное соотношение для оценки δ_t , определить относительную степень расхождения между значениями температур воды и воздуха на выходе из теплообменного аппарата, найденными опытным путем, и их соответствующими значениями, полученными номограммным расчетом.

Все расчеты необходимо произвести для заданного преподавателем числа рабочих точек (x и y). Результаты расчетов занести в табл. 4.2.

Таблица 4.2

Результаты поверочного расчета водяного воздухонагревателя

Метод определения температуры	Значение температуры на выходе из аппарата, °С	
	воздуха	воды
Экспериментальный		
Графоаналитический		
Номограммный		
Среднее значение		

Контрольные вопросы

Классификация поверхностных воздухонагревателей.

Водяные воздухонагреватели систем вентиляции и кондиционирования воздуха.

Принципиальные схемы движения воды и воздуха в поверхностных теплообменниках и воздухонагревательных установках.

Графоаналитический метод поверочного расчета водяных воздухонагревателей.

Номограммный расчет водяных воздухонагревателей.

Лабораторная работа № 5

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВОДЯНОГО ВОЗДУХООХЛАДИТЕЛЯ

Цель работы: ознакомиться с общеизвестной классификацией и конструктивными особенностями воздухоохладителей, применяемых в системах вентиляции и кондиционирования воздуха. Исследовать основные режимы работы и определить коэффициент теплопередачи водяного воздухоохладителя поверхностного типа, входящего в состав компактного панельного кондиционера.

Краткие теоретические сведения

Воздухоохладителем принято называть теплообменный аппарат, предназначенный для охлаждения (а в большинстве случаев и для осушения) воздуха. По способу охлаждения воздухоохладители делятся на поверхностные (сухие), контактные (мокрые) и смешанные.

В наиболее широко распространенных **поверхностных воздухоохладителях** воздух отдает теплоту холодоносителю либо холодильному агенту, циркулирующему внутри трубок. Аппарат, в трубках которого кипит холодильный агент, называют воздухоохладителем непосредственного охлаждения (фреоновым воздухоохладителем), который является испарителем в схеме холодильной машины. Воздухоохладителями водяного/рассольного охлаждения именуют теплообменники, по трубкам которых протекает вода/рассол.

Поверхностные воздухоохладители могут исполняться гладкотрубными и ребристыми. Ребриение позволяет значительно уменьшить сопротивление теплоотдаче от воздуха к наружной поверхности трубок и сделать аппарат более компактным.

В **контактных воздухоохладителях** воздух непосредственно соприкасается с холодоносителем, чаще всего с водой. Конструктивно они выполняются форсуночными либо с орошаемой насадкой. Возможно также создание контактных воздухоохладителей с пенным режимом.

В **воздухоохладителях смешанного типа** внутри трубок кипит холодильный агент. Снаружи трубки орошаются рассолом либо другим раствором, имеющим низкую температуру замерзания. В воздухоохладителях систем кондиционирования воздуха возможно ороше-

ние трубок водой. Орошение увеличивает поверхность теплообмена, воспринимающую теплоту от воздуха. Кроме того, в низкотемпературных воздухоохладителях рассол удаляет снеговую шубу с трубок. В некоторых случаях орошение трубок может осуществляться с помощью пены, образующейся при нагнетании воздуха в поддон воздухоохладителя.

Аппараты, служащие для охлаждения воздуха в помещениях (камерах), где отсутствует вынужденная циркуляция воздуха, называются охлаждающими батареями.

Гладкотрубные поверхностные воздухоохладители используются крайне редко. Тем не менее их использование бывает целесообразным тогда, когда при охлаждении воздуха одновременно требуется и его значительное осушение. В этом случае более низкая температура наружной поверхности гладкотрубного аппарата по сравнению со средней температурой наружной поверхности ребренного теплообменника позволяет достичь большей конденсации влаги в процессе охлаждения воздуха. Иногда приходится применять гладкотрубные аппараты из-за повышенной влажности обрабатываемого воздуха и, соответственно, значительного осаждения инея или образования льда на поверхности трубок.

Ребристые воздухоохладители выполняются обычно из круглых стальных, медных или алюминиевых трубок. В отдельных случаях, когда необходимо существенно повлиять на такие характеристики ребренного пучка труб, как компактность или аэродинамическое сопротивление, можно применять плоские или каплеобразные трубки. Применяемые в трубчатых воздухоохладителях ребристые поверхности можно разделить на пластинчатые, спирально-навивные, спирально-накатные, с отдельными насадными ребрами.

Несмотря на то что конструкция поверхностного воздухоохладителя подобна конструкции поверхностного воздухонагревателя, имеют место некоторые отличия, определяемые **особенностями работы охладителя воздуха**, а именно: необходимость организации отвода конденсата, выпадающего из воздуха в процессе его охлаждения воздухоохладители работают при меньших значениях перепада температур холодоносителя по сравнению с перепадом температур теплоносителя в воздухонагревателе, вследствие чего расходы воды (либо незамерзающего рассола) через теплообменник всегда значительны и количество рядов трубок по ходу воздуха всегда больше.

В поверхностных водяных воздухоохладителях направление процесса охлаждения воздуха и его конечные параметры зависят от

температуры поверхности теплообмена, которая, в свою очередь, определяется температурой охлаждающей воды. При температуре поверхности выше температуры точки росы исходного состояния влажного воздуха реализуется процесс «сухого» охлаждения; при температуре поверхности ниже температуры точки росы имеет место «мокрое» охлаждение, сопровождающееся конденсацией содержащихся в воздухе водяных паров и его осушением. При этом количество теплоты, передаваемое в теплообменном аппарате, повышается на величину скрытой теплоты, выделяющейся при конденсации водяных паров. Коэффициент осложненной массообменом теплопередачи выше коэффициента теплопередачи при «сухом» (без осушения) охлаждении. Точный расчет поверхностных воздухоохладителей при «мокрым» (с осушением) охлаждении выполняют по методу безразмерных комплексов, определяемых с учетом массообмена.

В инженерной практике весьма удобен упрощенный графоаналитический метод расчета, основанный на представлении об условном процессе «сухого» охлаждения, которым заменяют реальный процесс «мокрого» охлаждения при равенстве явного количества теплоты при условно «сухом» охлаждении и полного количества теплоты при «мокрым» охлаждении.

Для построения условного «сухого» процесса через точки начального 1 (t'_B ; ϕ') и конечного 2 (t''_B ; ϕ'') состояния воздуха процесса «мокрого» охлаждения проводят линии постоянной энтальпии $h'_B = \text{const}$ и $h''_B = \text{const}$ (рис. 5.1). Здесь приняты следующие обозначения: t'_B и t''_B – экспериментальные значения температур воздуха на входе и выходе из воздухоохладителя, °С; ϕ' и ϕ'' – экспериментальные значения относительных влажностей воздуха на входе и выходе из воздухоохладителя, %. Далее через точку предельного состояния L на линии $\phi = 100\%$ при температуре поверхности проводят линию постоянного влагосодержания $d_L = \text{const}$, которая пересекает изоэнтальпы $h'_B = \text{const}$ и $h''_B = \text{const}$ в точках 3 и 4. Значения температур \tilde{t}'_B и \tilde{t}''_B , отвечающих точкам 3 и 4, являются расчетными, а сама линия 3–4 характеризуют условный процесс «сухого» охлаждения.

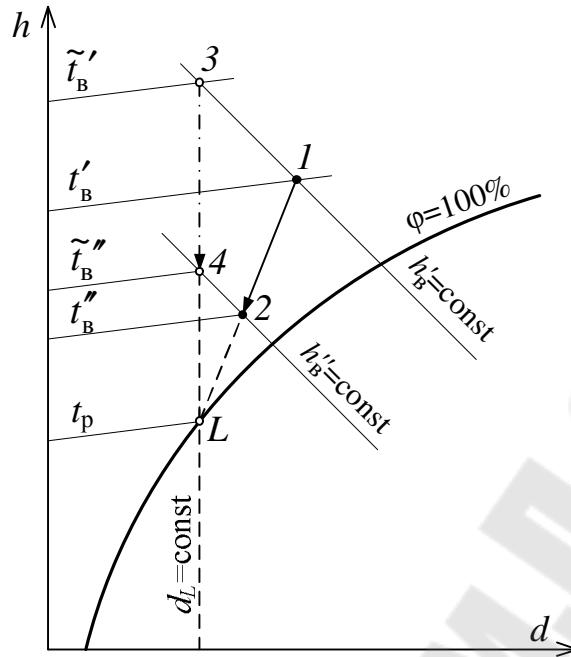


Рис. 5.1. Построение процесса «условно сухого» охлаждения

Уравнение теплового баланса, соответствующее вышеозначенному процессу «условно сухого» охлаждения, имеет вид:

$$c_{\text{в.в}} m_{\text{в.в}} (\tilde{t}'_{\text{в}} - \tilde{t}''_{\text{в}}) = c_{\text{в}} m_{\text{в}} (t''_{\text{в}} - t'_{\text{в}}),$$

где $c_{\text{в.в}}$ – среднее значение удельной теплоемкости влажного воздуха, кДж/(кг · К); $m_{\text{в.в}}$ – массовый расход влажного воздуха, кг/с; $\tilde{t}'_{\text{в}}$ и $\tilde{t}''_{\text{в}}$ – расчетные значения температур воздуха на входе и выходе из воздухоохладителя, °С; $c_{\text{в}}$ – среднее значение удельной теплоемкости воды, кДж/(кг · К); $t'_{\text{в}}$ и $t''_{\text{в}}$ – экспериментальные значения температур воды на входе и выходе из воздухоохладителя, °С.

Приборы и оборудование: электронный термоанемометр; цифровой термогигрометр; расходомер холодной воды интегрального типа; датчики температуры воды и воздуха; водяной воздухоохладитель компактного панельного кондиционера.

Схема и описание лабораторной установки

Объектом исследования в данной работе является поверхностный водяной воздухоохладитель ВОВ 243.1, входящий в состав ком-

пактного панельного кондиционера, обстоятельное описание функциональной схемы и устройства которого приведено в лабораторной работе № 3.

Водяной воздухоохладитель ВОВ 243.1-078-030-04-2,5-06-2 представляет собой теплообменный аппарат поверхностного типа с медными трубками, снаружи оребренными гофрированными алюминиевыми пластинами. Трубки объединены в группы, концы которых впаяны в коллекторы для входа и выхода холодоносителя. Для соединения с внешней системой на коллекторах имеются специальные патрубki, обеспечивающие резьбовое соединение.

Расшифровка буквенно-цифровых обозначений и основные технические характеристики исследуемого воздухоохладителя приведены в табл. П.3.1 (Приложение 3).

Порядок выполнения работы

Контур воздухоохладителя имеет открытую систему циркуляции жидкости, требующую постоянного подключения к водопроводу. Для заполнения контура воздухоохладителя водой необходимо поочередно открыть вентили $B9$, $B10$, $B11$ и $B2$. Все остальные вентили должны быть закрыты.

Выполнить подключение кондиционера к электрической сети.

Включить блок вентиляторов и по достижении установившихся аэродинамического и теплового режимов произвести измерение объемного расхода воды G_w и скорости движения воздуха v_B на выходе из кондиционера.

Снять показания датчиков температуры воды на входе t'_w и выходе t''_w из воздухоохладителя; термогигрометром измерить температуры и относительные влажности воздуха до (t'_B, ϕ') и после (t''_B, ϕ'') воздухоохладителя.

Выключить вентиляторный блок и закрыть вентили $B2$, $B9$, $B10$, $B11$.

Отключить установку кондиционирования воздуха от электрической сети.

Вышеозначенные измерения провести для x значений расхода воды при постоянном расходе воздуха, а также для y значений расхода воздуха при постоянном расходе воды. Количество рабочих точек x и y задается преподавателем. Результаты измерений занести в табл. 5.1.

Результаты измерений

Наименование характеристики	Обозначение, размерность	Показания измерений				Среднее значение
		1	2	...	x (y)	
Температура воздуха	$t'_{\text{в}}, ^\circ\text{C}$					
	$t''_{\text{в}}, ^\circ\text{C}$					
Температура воды	$t'_{\text{в}}, ^\circ\text{C}$					
	$t''_{\text{в}}, ^\circ\text{C}$					
Скорость воздуха	$\vartheta_{\text{в}}, \text{м/с}$					
Расход воды	$G_{\text{в}}, \text{м}^3/\text{с}$					

Обработка результатов измерений

Опираясь на результаты измерений, выполнить построение процесса «условно сухого» охлаждения воздуха на $h-d$ -диаграмме и рассчитать коэффициент теплопередачи воздухоохладителя, используя найденные при данном построении вспомогательные температуры воздуха на входе $\tilde{t}'_{\text{в}}$ и выходе $\tilde{t}''_{\text{в}}$ из теплообменного аппарата.

Рассчитать массовые расходы воздуха $m_{\text{в}}$ и воды $m_{\text{в}}$:

$$m_{\text{в}} = \vartheta_{\text{в}} n_{\text{п}} F_{\text{вых}} \rho_{\text{в}}, \text{ кг/с};$$

$$m_{\text{в}} = G_{\text{в}} \rho_{\text{в}}, \text{ кг/с},$$

где $n_{\text{п}} = 2$ – число выходных патрубков вентиляторного агрегата; $F_{\text{вых}}$ – площадь поперечного сечения одного патрубка, $F_{\text{вых}} = 0,042 \text{ м}^2$; $\rho_{\text{в}}$ и $\rho_{\text{в}}$ – средние значения плотностей воздуха и воды, определяемые из табл. П.2.1 и П.2.2 (Приложение 2) по усредненным экспериментальным значениям соответствующих температур воздуха и воды, кг/м^3 .

Определить массовую скорость движения воздуха:

$$w_{\text{в}} = m_{\text{в}} / f_{\text{во}}, \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с}),$$

где $f_{\text{во}}$ – площадь живого сечения для прохода воздуха, м^2 .

Найти скорость движения воды в трубках воздухоохладителя:

$$w_{\text{в}} = m_{\text{в}} / (\rho_{\text{в}} f_{\text{в}}), \text{ м/с},$$

где $f_{\text{в}}$ – площадь живого сечения для прохода воды, м^2 .

Рассчитать коэффициент теплопередачи поверхностного воздухоохладителя по эмпирическому соотношению

$$k_{\text{BO}}^{\text{эмп}} = \tilde{a} w_{\text{B}}^{0,37} w_{\text{w}}^{0,18}, \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}),$$

где \tilde{a} – эмпирический коэффициент, зависящий от количества рядов трубок по ходу воздуха и шага пластин, $\tilde{a} = 21,68$.

Вычислить аэродинамическое Δp_{B} и гидродинамическое Δp_{w} сопротивления воздухоохладителя:

$$\Delta p_{\text{B}} = \tilde{b} w_{\text{B}}^{\tilde{c}}, \text{ Па};$$

$$\Delta p_{\text{w}} = 1,968 l_{\text{x}} w_{\text{w}}^{1,69}, \text{ кПа},$$

где \tilde{b} и \tilde{c} – эмпирические коэффициенты, зависящие от количества рядов трубок по ходу воздуха и шага пластин (для исследуемого воздухоохладителя $\tilde{b} = 6,069$, $\tilde{c} = 1,64$); $l_{\text{x}} = n_{\text{T}} l$ – приведенная длина хода воды в трубках, м; n_{T} – число ходов трубок; l – длина трубки, м.

Определить водяные эквиваленты по воздуху W_{B} и воде W_{w} :

$$W_{\text{B}} = \tilde{c}_{\text{B}} m_{\text{B}}, \text{ Вт}/\text{К};$$

$$W_{\text{w}} = c_{\text{w}} m_{\text{w}}, \text{ Вт}/\text{К},$$

где \tilde{c}_{B} – изобарная теплоемкость воздуха, отыскиваемая по среднему значению расчетной температуры \tilde{t}_{B} , соответствующей процессу «условно сухого» охлаждения, Дж/(кг · К); c_{w} – изобарная теплоемкость воды, определяемая по значению ее средней экспериментальной температуры t_{w} , Дж/(кг · К).

Найти относительный водяной эквивалент:

$$\bar{W} = W_{\text{B}} / W_{\text{w}}.$$

Вычислить термические коэффициенты эффективности работы охладителя по воздуху:

$$\epsilon_{\text{B}} = \frac{\tilde{t}_{\text{B}}' - \tilde{t}_{\text{B}}''}{\tilde{t}_{\text{B}}' - t_{\text{w}}'}$$

и по воде:

$$\epsilon_{\text{w}} = \epsilon_{\text{B}} \bar{W}.$$

Используя найденные параметры \bar{W} и ε_B , определить число единиц переноса теплоты:

$$NTU = \ln \left(\frac{\bar{W}}{\bar{W} + \ln(1 - \varepsilon_B \bar{W})} \right).$$

Рассчитать коэффициент теплопередачи по соотношению, вытекающему из уравнений теплового баланса для воздуха и воды и уравнения теплопередачи:

$$k_{\text{во}} = \frac{W_B NTU}{F_{\Sigma}}, \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}),$$

где F_{Σ} – суммарная площадь поверхности теплообмена с воздушной стороны, м^2 .

Определить относительную степень расхождения между коэффициентами теплопередачи воздухоохладителя, найденными разными способами:

$$\delta_k = \frac{|k_{\text{во}} - k_{\text{во}}^{\text{ЭМП}}|}{k_{\text{во}} + k_{\text{во}}^{\text{ЭМП}}} 200, \%$$

Все вышеописанные расчеты необходимо произвести для заданного преподавателем числа наборов данных (рабочих точек x и y). Результаты расчетов представить в табличной форме.

Контрольные вопросы

Классификация воздухоохладителей.

Поверхностные воздухоохладители систем вентиляции и кондиционирования воздуха.

Характерные отличия между охладителями и нагревателями воздуха.

Построение процесса «условно сухого» охлаждения на $h-d$ -диаграмме.

Расчет водяного воздухоохладителя поверхностного типа.

Лабораторная работа № 6

ОПРЕДЕЛЕНИЕ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОМПАКТНОГО ПАНЕЛЬНОГО КОНДИЦИОНЕРА

Цель работы: ознакомиться с классификацией фильтров, выполняющих функции обеспыливания воздуха в помещениях различного назначения. Приобрести навыки экспериментального и аналитического определения аэродинамических характеристик ячейкового фильтра и других составных элементов компактного панельного кондиционера.

Краткие теоретические сведения

Необходимость очистки воздуха, подаваемого в помещения системами приточной вентиляции, устанавливается в зависимости от его состояния в месте забора и требований к его чистоте в обслуживаемых помещениях. В большинстве случаев воздух очищают:

- для уменьшения запыленности подаваемого в здания воздуха в случаях, когда концентрация пыли в окрестности расположения здания либо рядом с местом забора воздуха регулярно превышает установленную нормами предельно допустимую концентрацию;
- для защиты теплообменников, оросительных камер, приборов автоматики и другого оборудования от запыления;
- для поддержания в помещениях заданной технологическими требованиями чистоты воздуха.

Оборудование, реализующее функции обеспыливания воздуха, подразделяют на два основных вида:

- **воздушные фильтры**, применяемые для очистки от пыли наружного и рециркуляционного воздуха, подаваемого в помещения системами приточной вентиляции и кондиционирования воздуха;
- **пылеуловители**, применяемые для улавливания пыли из воздушных выбросов вытяжных (аспирационных) вентиляционных систем, содержание пыли в которых превышает допустимое по санитарным нормам.

Воздушные фильтры характеризуются умеренным сопротивлением и небольшим относительным объемом. Однако из-за ограниченной пылеемкости такие фильтры, как правило, не могут быть исполь-

зованы для очистки воздуха в системах вытяжной вентиляции. Пылеуловители, напротив, отличаются большим сопротивлением и значительной пылеемкостью, но меньшей по сравнению с фильтрами эффективностью улавливания мелкодисперсных частиц, вследствие чего они весьма редко используются для очистки приточного воздуха. При очень больших концентрациях пыли в наружном (либо рециркуляционном) воздухе и наличии в нем значительного количества крупнодисперсных частиц некоторые виды пылеуловителей могут быть использованы для предварительной очистки воздуха перед воздушными фильтрами.

Для очистки приточного воздуха от пыли применяют пористые воздушные фильтры и электрические воздушные фильтры промывного типа. **Пористые фильтры** подразделяют на смоченные и сухие. К смоченным пористым фильтрам относятся фильтры с заполнением (покрытым тонкими пленками вязких нелетучих замасливателей) из металлических пластинок, проволочных либо полимерных сеток и нетканых волокнистых слоев. К сухим пористым фильтрам относятся фильтры с заполнением из нетканых волокнистых слоев, гофрированных полимерных сеток и не смоченные замасливателем губчатые фильтры.

Масляные фильтры подразделяют на самоочищающиеся и ячейковые. Самоочищающийся масляный фильтр состоит из двух последовательно установленных панелей, каждая из которых представляет непрерывную ленту из сетки. При монтаже панели натягиваются между двумя валиками, верхний из которых является ведущим, а нижний – натяжным. Верхние валики закреплены в подшипниках и приводятся во вращение от электродвигателя через двухступенчатый червячный редуктор. На пути движения панели проходят через масляную ванну, в которой очищаются от осевшей пыли. Ячейковые масляные фильтры являют собой металлические разъемные коробки, заполненные фильтрующим слоем, масляное покрытие которого периодически обновляют.

Волокнистые фильтры снаряжаются неткаными волокнистыми слоями машинной выработки. После использования запыленный материал выбрасывают либо осуществляют его регенерацию путем промывки. По конструкции различают рулонные и ячейковые волокнистые фильтры. Губчатые фильтры изготавливают из пористого пенополиуретана, подвергаемого специальной обработке с целью снижения его сопротивления.

В электрическом фильтре, принципиальная схема которого проиллюстрирована на рис. 6.1, поток очищаемого воздуха вначале проходит через ионизационную зону, представляющую собой решетку, составленную из металлических пластинок с натянутыми между ними вертикальными коронирующими электродами из тонкой проволоки. К коронирующим электродам подводится напряжение от положительного полюса питающего электрического агрегата. В ионизационной зоне пылевые частицы приобретают электрический заряд. Затем воздух поступает в зону осаждения – пакет параллельно установленных металлических пластин, к которым через одну подводится напряжение положительного знака, а на промежуточных (заземленных) пластинах осуществляется осаждение заряженных частиц.

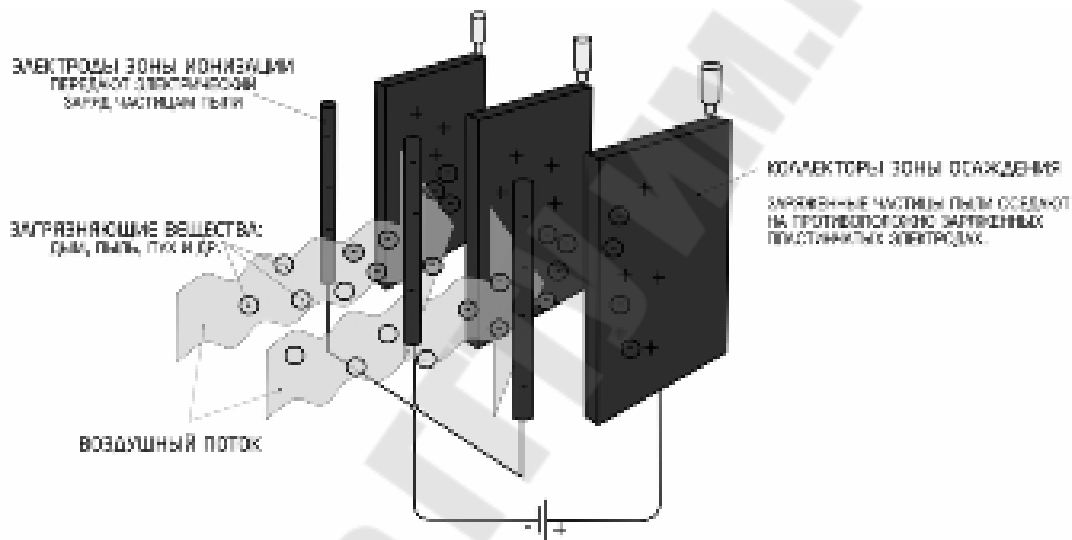


Рис. 6.1. Принципиальная схема электрического фильтра воздуха

Степень очистки (эффективность пылеулавливания) фильтра (либо пылеуловителя) определяется отношением массового расхода задержанной пыли к массовому расходу поступающей с воздухом пыли:

$$\eta = \frac{G_{\text{ул}}}{G_{\text{н}}} 100 \% = \frac{G_{\text{н}} - G_{\text{к}}}{G_{\text{н}}} 100 \%,$$

где $G_{\text{ул}}$ – массовый расход уловленной пыли, г/ч; $G_{\text{н}}$ – начальный массовый расход пыли, г/ч; $G_{\text{к}}$ – массовый расход пыли после фильтра, г/ч.

В зависимости от размеров улавливаемых пылевых частиц различают фильтры грубой, тонкой и особо тонкой очистки. В фильтрах грубой очистки эффективно улавливаются частицы размерами 10 мкм

и более; в фильтрах тонкой очистки – 1 мкм и более; в фильтрах особо тонкой очистки – частицы до 0,1 мкм. Эффективность пылеулавливания достигает 65–90 % для фильтров грубой и тонкой очистки и 97–99,9 % для фильтров особо тонкой очистки.

Приборы и оборудование: электронный термоанемометр, датчик температуры воздуха, измерительные преобразователи давления с цифровой индикацией; ячейковый фильтр, воздухонагреватель, воздухоохладитель и вентиляторный блок компактного панельного кондиционера.

Схема и описание лабораторной установки

В данной работе выполняется исследование аэродинамических характеристик компактного панельного кондиционера, описание принципиальной схемы и устройства функциональных блоков которого подробно изложено в лабораторной работе № 3.

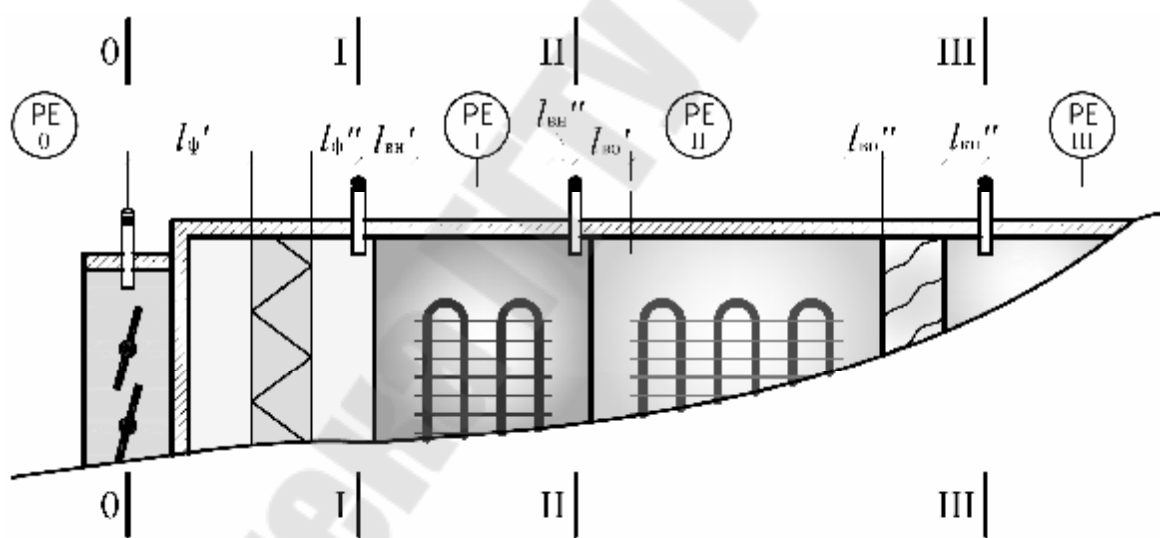


Рис. 6.2. Схема подключения датчиков давления

Порядок выполнения работы

Произвести измерение температуры воздуха t_v в помещении учебной лаборатории.

Подать питающее напряжение на установку кондиционирования воздуха.

Включить блок вентиляторов и по достижении установившегося аэродинамического режима при полностью открытом воздухозаборном клапане (степень открытия $\phi_{\text{кл}} = 100\%$) анемометром измерить среднюю скорость движения воздуха $v_{\text{вых}}$ в выходных патрубках вентиляторного агрегата.

Измерить статические давления воздуха $p_{\text{ст}}^i$ в характерных сечениях кондиционера ($i = 0, \text{I, II}$ либо III) посредством датчиков, обозначенных на рис. 6.2 через PE-0, PE-I, PE-II и PE-III.

Снизить расход проходящего через кондиционер воздуха путем уменьшения степени открытия клапана до заданных преподавателем значений ($\phi'_{\text{кл}}$ и $\phi''_{\text{кл}}$) и по прошествии некоторого времени, необходимого для достижения установившегося аэродинамического режима, повторить измерения выходной скорости ($v'_{\text{вых}}$ и $v''_{\text{вых}}$) и статических давлений воздуха в упомянутых сечениях.

Все вышеописанные измерения повторить x раз; количество повторных замеров задается преподавателем.

Выключить вентиляторный агрегат и отключить кондиционер от электрической сети.

Результаты измерений занести в табл. 6.1.

Таблица 6.1

Результаты измерения аэродинамических характеристик кондиционера

Номер	Обозначение и размерность измеренного параметра														
	при $v_{\text{вых}}$, м/с; $\phi_{\text{кл}}$, %					при $v'_{\text{вых}}$, м/с; $\phi'_{\text{кл}}$, %					при $v''_{\text{вых}}$, м/с; $\phi''_{\text{кл}}$, %				
	$t_{\text{в}}$	$p_{\text{ст}}^0$	$p_{\text{ст}}^{\text{I}}$	$p_{\text{ст}}^{\text{II}}$	$p_{\text{ст}}^{\text{III}}$	$t_{\text{в}}$	$p_{\text{ст}}^0$	$p_{\text{ст}}^{\text{I}}$	$p_{\text{ст}}^{\text{II}}$	$p_{\text{ст}}^{\text{III}}$	$t_{\text{в}}$	$p_{\text{ст}}^0$	$p_{\text{ст}}^{\text{I}}$	$p_{\text{ст}}^{\text{II}}$	$p_{\text{ст}}^{\text{III}}$
	°С	Па				°С	Па				°С	Па			
1															
2															
...															
x															
Среднее															

Обработка результатов измерений

Опираясь на результаты выполненных измерений, рассчитать динамические и полные давления в соответствующих сечениях кондиционера, а также аэродинамические сопротивления его функциональных блоков.

Для этого вначале вычислить объемный расход проходящего через кондиционер воздуха:

$$G_B = \vartheta_{\text{ВЫХ}} n_{\text{П}} F_{\text{ВЫХ}}, \text{ м}^3/\text{с},$$

где $\vartheta_{\text{ВЫХ}}$ – средняя скорость движения воздуха в выходных патрубках вентиляторного агрегата, м/с; $n_{\text{П}} = 2$ – число выходных патрубков; $F_{\text{ВЫХ}}$ – площадь поперечного сечения одного патрубка, $F_{\text{ВЫХ}} = 0,042 \text{ м}^2$.

Найти среднюю скорость движения воздуха в характерных сечениях компактного кондиционера:

$$\vartheta_{\text{К}} = \vartheta_{\text{ВЫХ}} \frac{F_{\text{ВЫХ}}}{F_{\text{К}}}, \text{ м/с},$$

где $F_{\text{К}}$ – площадь поперечного сечения для прохода воздуха через функциональные блоки кондиционера, совпадающая с площадью поперечного сечения его воздухозаборного клапана, $F_{\text{К}} = 0,315 \text{ м}^2$.

Рассчитать удельную воздушную нагрузку ячеякового фильтра:

$$G_{\text{Ф}} = G_B / F_{\text{Ф}}, \text{ м}^3/(\text{с} \cdot \text{м}^2),$$

где $F_{\text{Ф}}$ – площадь фильтра, м^2 ; для исследуемого кондиционера $F_{\text{Ф}} = F_{\text{К}}$.

Определить динамические давления в i -х [здесь $i = 0, \text{ I, II}$ либо III] сечениях кондиционера:

$$p_{\text{д}}^i = \frac{\vartheta_{\text{К}}^2}{2g} \rho_{\text{В}}, \text{ Па},$$

где $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – ускорение свободного падения; $\rho_{\text{В}}$ – плотность воздуха, соответствующая температуре $t_{\text{В}}$, кг/м^3 .

Рассчитать полные давления в i -х сечениях кондиционера:

$$p_{\text{П}}^i = p_{\text{СТ}}^i + p_{\text{д}}^i, \text{ Па},$$

где $p_{\text{СТ}}^i$ – экспериментальные значения статических давлений в i -х сечениях кондиционера, Па.

Найти полные давления воздуха на входе $p'_{\text{П(Ф)}}$ и выходе $p''_{\text{П(Ф)}}$ из фильтра:

$$p'_{\text{П(Ф)}} = p_{\text{П}}^0 - r_{\text{ТР}} l'_{\text{Ф}}, \text{ Па};$$

$$p''_{п(ф)} = p^I_{п} + r_{тр} l''_{ф}, \text{ Па,}$$

где $p^0_{п}$ – полное давление на входе в воздухозаборный клапан, Па; $r_{тр}$ – удельные потери давления на трение, Па/м, определяемые для исследуемого кондиционера по табл. П.5.1 (Приложение 5) в зависимости от значения ϑ_k ; $l'_{ф}$ и $l''_{ф}$ – длины отрезков от точек подключения датчиков давления РЕ-0 и РЕ-1 до соответствующих линий входа воздуха в фильтр и выхода из него, м (рис. 6.2).

Определить потери полного давления воздуха в фильтре:

$$\Delta p_{ф} = p'_{п(ф)} - p''_{п(ф)}, \text{ Па.}$$

Вычислить полные давления воздуха на входе $p'_{п(вн)}$ и выходе $p''_{п(вн)}$ из воздухонагревателя:

$$p'_{п(вн)} = p^I_{п} - r_{тр} l'_{вн}, \text{ Па;}$$

$$p''_{п(вн)} = p^II_{п} + r_{тр} l''_{вн}, \text{ Па,}$$

где $l'_{вн}$ и $l''_{вн}$ – длины отрезков от точек подключения датчиков давления РЕ-1 и РЕ-2 до соответствующих мест входа и выхода воздуха из воздухонагревателя, м (рис. 6.2).

Найти потери полного давления воздуха в воздухонагревателе:

$$\Delta p_{вн} = p'_{п(вн)} - p''_{п(вн)}, \text{ Па.}$$

Рассчитать полные давления воздуха на входе $p'_{п(во)}$ и выходе $p''_{п(во)}$ из воздухоохладителя:

$$p'_{п(во)} = p^II_{п} - r_{тр} l'_{во}, \text{ Па;}$$

$$p''_{п(во)} = p^III_{п} + r_{тр} (l''_{во} + l''_{кп}) + \Delta p_{кп}, \text{ Па,}$$

где $l'_{во}$ – длина отрезка от точки подключения датчика давления РЕ-2 до линии входа воздуха в воздухоохладитель, м; $l''_{во}$ – длина отрезка от линии выхода воздуха из воздухоохладителя до каплеуловителя, м; $l''_{кп}$ – длина отрезка от точки подключения датчика давления РЕ-3 до линии выхода воздуха из каплеуловителя, м (рис. 6.2); $\Delta p_{кп}$ – потери давления в блоке каплеуловителя, Па.

Найти потери полного давления воздуха в воздухоохладителе:

$$\Delta p_{\text{во}} = p'_{\text{п(во)}} - p''_{\text{п(во)}}, \text{ Па.}$$

Определить аэродинамические сопротивления воздухонагревателя и воздухоохладителя с использованием эмпирических соотношений':

$$\Delta \tilde{p}_{\text{вн}} = \tilde{b} (G_{\text{в}} \rho_{\text{в}} / f_{\text{вн}})^{\tilde{c}}, \text{ Па;}$$

$$\Delta \tilde{p}_{\text{во}} = \tilde{b} (G_{\text{в}} \rho_{\text{в}} / f_{\text{во}})^{\tilde{c}}, \text{ Па,}$$

где \tilde{b} и \tilde{c} – эмпирические' константы (для воздухонагревателя $\tilde{b} = 3,035$, $\tilde{c} = 1,72$; для воздухоохладителя $\tilde{b} = 6,069$, $\tilde{c} = 1,64$); $f_{\text{вн}}$ и $f_{\text{во}}$ – площади живого сечения для прохода воздуха через воздухонагреватель и воздухоохладитель, м^2 .

Определить величину отклонения между аэродинамическими сопротивлениями теплообменных аппаратов, рассчитанными по экспериментальным данным и эмпирическим соотношениям:

$$\delta p = \frac{|\Delta p_j - \Delta \tilde{p}_j|}{\Delta p_j - \Delta \tilde{p}_j} 200, \%$$

где $j \equiv \text{вн}$ для воздухонагревателя и $j \equiv \text{во}$ для воздухоохладителя.

Контрольные вопросы

Устройства обеспыливания воздуха.

Классификация фильтров, применяемых в системах вентиляции и кондиционирования воздуха.

Определение удельной воздушной нагрузки фильтра.

Расчет динамического и полного давлений воздуха.

Расчет аэродинамических сопротивлений функциональных блоков кондиционера.

Лабораторная работа № 7

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК РАДИАЛЬНОГО ВЕНТИЛЯТОРА

Цель работы: ознакомиться с принципом работы и конструктивными особенностями радиальных вентиляторов. Исследовать рабочие характеристики сдвоенного вентиляторного агрегата, входящего в состав компактного панельного кондиционера.

Краткие теоретические сведения

В настоящее время радиальные (центробежные) вентиляторы имеют широкое применение в системах вентиляции и кондиционирования воздуха помещений различного назначения.

Принцип работы **радиального вентилятора** (рис. 7.1) заключается в следующем. При вращении рабочего колеса вентилятора воздух, находящийся между лопатками колеса, под действием центробежной силы перемещается в кожух. На место переместившегося воздуха через входное отверстие поступают новые порции воздуха. Собирающийся в спиральном кожухе воздух направляется к выходному отверстию по непрерывно расширяющемуся каналу между рабочим колесом и спиральным кожухом. Спиральная форма кожуха рассчитана на поступление из межлопаточных каналов все новых порций воздуха и способствует, благодаря диффузорному эффекту, формированию статического давления.

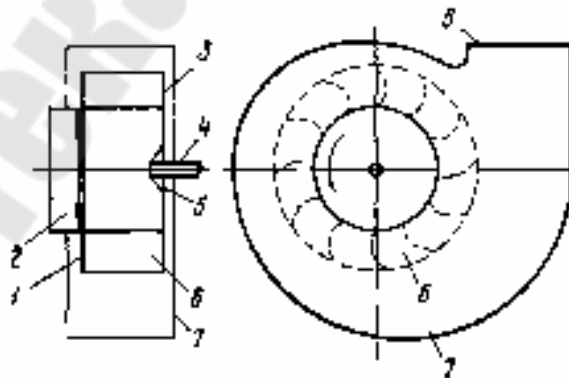


Рис. 7.1. Радиальный вентилятор:

- 1 – передний диск; 2 – входное (всасывающее) отверстие; 3 – задний диск;
4 – вал; 5 – ступица; 6 – рабочее колесо с лопатками; 7 – спиральный кожух;
8 – выходное (нагнетательное) отверстие

Разворот спирального кожуха может выполняться влево и вправо. Соответственно, различают вентиляторы правого вращения (правые) и левого вращения (левые). Если смотреть со стороны, противоположной всасывающему отверстию (со стороны привода), то в правых вентиляторах рабочее колесо будет вращаться по часовой стрелке, а в левых вентиляторах – против часовой стрелки.

Рабочее колесо вентилятора состоит из дисков: заднего (чаще всего сплошного) и переднего (с отверстием для поступления воздуха и поэтому выполненного в виде кольца). К дискам приклепывают (реже приваривают) лопасти, которые для этой цели имеют уголки или отбортовку. К заднему диску приклепывают, крепят болтами или приваривают ступицу, предназначенную для насаживания рабочего колеса на вал. Помимо означенной конструкции рабочего колеса, цилиндрического по своей форме, в вентиляторах некоторых типов могут использоваться конические рабочие колеса.

По величине **полного давления**, развиваемого радиальными вентиляторами, их подразделяют на вентиляторы низкого (менее 1 кПа), среднего (от 1 до 3 кПа) и высокого (выше 3 кПа) давления. Вместе с тем следует понимать, что данная классификация несколько условна, так как один и тот же вентилятор может развивать различное давление в зависимости от числа оборотов рабочего колеса.

Основными достоинствами радиальных вентиляторов являются возможность применения для их привода высокоскоростных электродвигателей, высокий КПД (более 80 %), простота изготовления, высокая равномерность подачи и относительная простота ее регулирования. К недостаткам следует отнести зависимость подачи радиальных вентиляторов от сопротивления сети.

Приборы и оборудование: электронный термоанемометр; датчики давления воздуха; сдвоенный вентиляторный агрегат компактного кондиционера.

Схема и описание лабораторной установки

Объектом исследования в данной лабораторной работе является вентиляторный агрегат Nicotra ADH G2R–0160, входящий в состав компактного панельного кондиционера, принципиальная схема и описание устройства которого представлены в лабораторной работе № 3.

Сдвоенный вентиляторный агрегат Nicotra ADH G2R–0160 включает в себе два отдельных радиальных вентилятора ADH R–0160 с двухсторонним всасыванием, соединенных в единый прочный узел. Два барабанных рабочих колеса с загнутыми вперед радиальными лопатками размещены на одном валу.

Чертеж, габаритные размеры и основные технические характеристики исследуемого вентиляторного агрегата представлены в Приложении 6.

Порядок выполнения работы

Измерить температуру воздуха t_v в помещении лаборатории.

Подать питающее напряжение на кондиционер.

Включить вентиляторный агрегат и по достижении установившегося аэродинамического режима при полностью открытом воздухозаборном клапане измерить скорость движения $v_{\text{вых}}$ и статическое давление $p_{\text{ст}}$ воздуха в выходных патрубках агрегата.

Выключить вентиляторный блок и снять питающее напряжение с установки кондиционирования воздуха.

Обработка результатов измерений

Воспользовавшись измеренным значением t_v по табл. П.2.1 (Приложение 2), определить плотность воздуха ρ_v .

Рассчитать объемный расход воздуха, проходящего через установку:

$$G_v = v_{\text{вых}} n_{\text{п}} F_{\text{вых}}, \text{ м}^3/\text{с},$$

где $n_{\text{п}} = 2$ – число выходных патрубков; $F_{\text{вых}}$ – площадь поперечного сечения одного патрубка, $F_{\text{вых}} = 0,042 \text{ м}^2$.

Определить динамическое p_d и полное $p_{\text{п}}$ давления воздуха на выходе из кондиционера:

$$p_d = \frac{v_{\text{вых}}^2}{2g} \rho_v, \text{ Па};$$

$$p_{\text{п}} = p_{\text{ст}} + p_d, \text{ Па},$$

где $g = 9,81 \text{ м}/\text{с}^2$ – ускорение свободного падения.

По известным параметрам транспортируемого воздуха (t_b и ρ_b) и значению объемного расхода G_b определить основные рабочие характеристики как одиночного вентилятора, так и сдвоенного вентиляторного агрегата, а именно: скорость вращения, уровень звуковой мощности, мощность привода и коэффициент полезного действия.

Найти повышение статического давления при свободном дутье:

$$p'_{ст} = p'_п - 1,9 p'_д, \text{ Па},$$

где $p'_п$ – общее повышение давления, Па; $p'_д$ – номограммное значение динамического давления, относящегося к сечению по фланцу на выходе из вентилятора, Па. Значения $p'_п$ и $p'_д$ определяют по представленной на рис. П.6.2 (Приложение б) номограмме в зависимости от величины объемного расхода воздуха G_b .

Рассчитать фактический КПД, учитывающий потери мощности в подшипниках:

$$\eta_{\phi} = \eta_b \frac{N_b}{N_b + N_{п}}, \%,$$

где η_b – КПД вентилятора без учета потерь мощности в подшипниках, %; N_b – мощность на валу вентилятора (потребляемая мощность рабочего колеса), кВт; $N_{п}$ – потери мощности в подшипниках, кВт. Параметры η_b , N_b и $N_{п}$ определяют из номограммы на рис. П.6.2 (Приложение б) по значениям величин $p'_п$ и G_b для заданной скорости вращения вентилятора. Показанные на номограмме границы применения (заштрихованы синими линиями) ограничивают область применения вентиляторов, в которой можно ожидать стабильную работу при высоком коэффициенте полезного действия.

Оценить величину необходимой мощности приводного электродвигателя:

$$N_{эд} = k_3 N_b, \text{ кВт},$$

где $k_3 = 1,23$ – коэффициент запаса, учитывающий потери в ременной передаче и отклонение скорости вращения от номинального значения.

Вычислить время разгона приводного двигателя по формуле

$$t_{эд} = \frac{8n^2 J}{N_{эд}^{ном} \cdot 10^6}, \text{ с},$$

где n – скорость вращения рабочего колеса вентилятора, об./мин;
 J – момент инерции масс, кг · м²; $N_{эд}^{ном}$ – номинальная мощность электродвигателя, кВт.

Определить основную частоту лопаток:

$$f_s = nz/60, \text{ Гц},$$

где z – количество лопаток.

Рассчитать уровень звуковой мощности по шкале А на выходе из вентилятора:

$$L''_W = L'_W + \Delta_A, \text{ дБ},$$

где L'_W – уровень звуковой мощности по шкале А на входе в вентилятор, дБ; Δ_A – поправочный коэффициент, дБ, принимаемый по табл. П.6.3 (Приложение 6) в зависимости от скорости вращения колеса вентилятора и рабочего диапазона объемного расхода.

Определить ненормированные уровни звуковой мощности по октавным полосам:

– для входной стороны вентилятора:

$$L'_{Wf} = L'_W + \Delta'_f, \text{ дБ};$$

– для выходной стороны вентилятора:

$$L''_{Wf} = L''_W + \Delta''_f + \Delta_{3f}, \text{ дБ}.$$

Здесь Δ'_f и Δ''_f – поправочные коэффициенты, дБ, принимаемые по табл. П.6.3 и П.6.4 (Приложение 6) в зависимости от n и G_B ; Δ_{3f} – корректирующий множитель, дБ, учитываемый в случае свободного дутья без подсоединенного канала ($\Delta_{3f} = -14, -9, -4$ дБ для центральных частот октав $f_m = 63, 125, 250$ Гц, соответственно).

Найти следующие характеристики вентиляторного агрегата, исходя из рабочей точки одиночного вентилятора:

– повышение давления: $\tilde{p}'_{п} = p'_{п}$;

– объемный расход: $\tilde{G}_B = 2G_B$;

– мощность на валу: $\tilde{N}_B = 2,15N_B$;

– скорость вращения вентилятора: $\tilde{n} = 1,05n$;

– уровни звуковой мощности: $\tilde{L}'_W = L'_W + 3$ дБ; $\tilde{L}''_W = L''_W + 3$ дБ.

Контрольные вопросы

- Принцип работы радиального вентилятора.
- Конструктивные особенности радиальных вентиляторов.
- Индивидуальная характеристика радиального вентилятора.
- Способы оценки уровня звуковой мощности на входной и выходной сторонах вентилятора.
- Определение КПД радиального вентилятора.

Лабораторная работа № 8

ИССЛЕДОВАНИЕ СХЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ КОМПАКТНОГО ПАНЕЛЬНОГО КОНДИЦИОНЕРА

Цель работы: проанализировать особенности функционирования схем качественного регулирования систем кондиционирования воздуха, в частности, прямооточных и с рециркуляцией воздуха. Исследовать структуру функциональной схемы и основные принципы работы системы автоматического регулирования компактного панельного кондиционера.

Краткие теоретические сведения

В системах кондиционирования воздуха (КВ) применяют методы качественного и количественного регулирования. При **количественном регулировании** требуемые параметры микроклимата помещения достигаются путем изменения расхода воздуха. **Качественное регулирование** основано на варьировании параметров состояния воздуха при постоянстве его расхода. В многозональных системах, как правило, применяется количественное регулирование, в то время как в однозональных системах – качественное регулирование. Для достижения оптимальных параметров воздуха в системах КВ могут быть использованы оба упомянутых подхода.

Регулирование температуры осуществляется при помощи датчиков, непосредственно располагаемых в обслуживаемом помещении. Влажность воздуха контролируется при помощи устанавливаемого в помещении датчика влажности (**прямое регулирование**) либо по датчику температуры точки росы, размещаемому после оросительной камеры (**косвенное регулирование**).

Рассмотрим схемы автоматизации прямооточных систем КВ с двумя нагревателями (рис. 8.1), одним нагревателем (рис. 8.2) и системы КВ с рециркуляцией воздуха (рис. 8.3), базирующиеся на принципах качественного регулирования параметров состояния влажного воздуха.

В процессе регулирования влажности по температуре точки росы в линию обработки воздуха необходимо устанавливать два нагревателя ВН1 и ВН2 (рис. 8.1), после прохождения которых нагретый воздух доводится в камере орошения ОК до параметров, близких к температуре точки росы приточного воздуха.

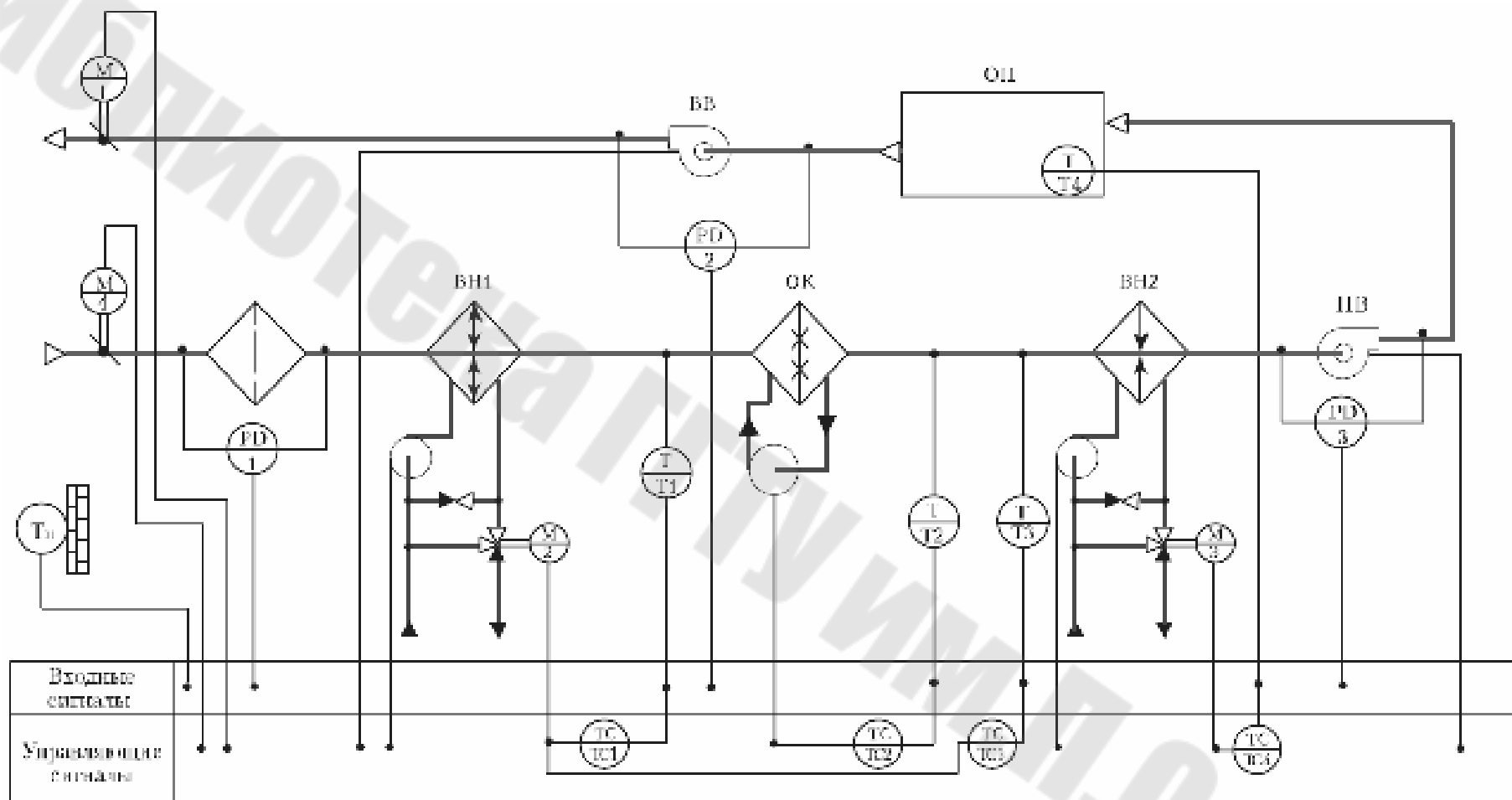


Рис. 8.1. Схема автоматизации прямоточной системы КВ с двумя нагревателями

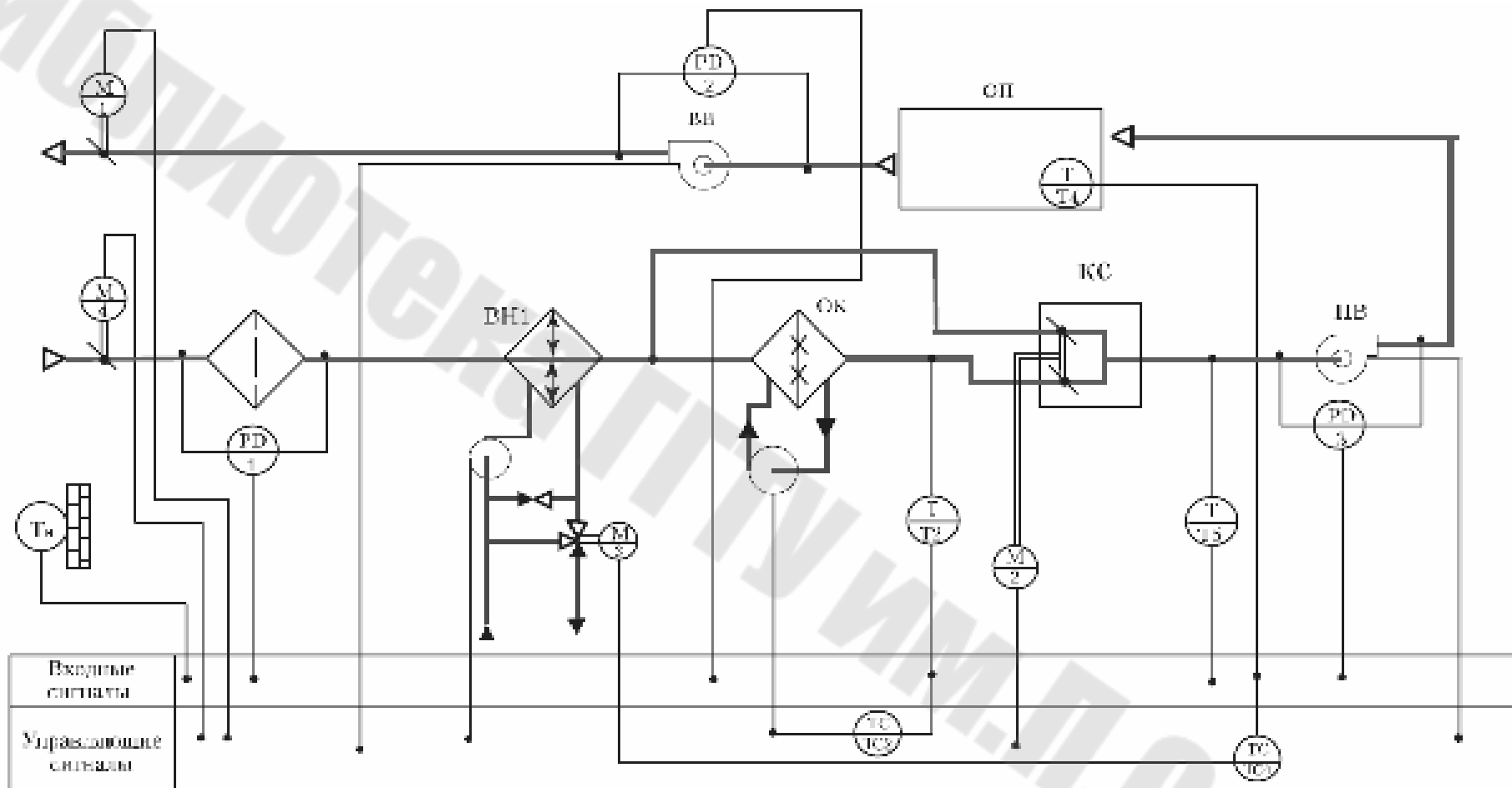


Рис. 8.2. Схема автоматизации проточной системы КВ с одним нагревателем

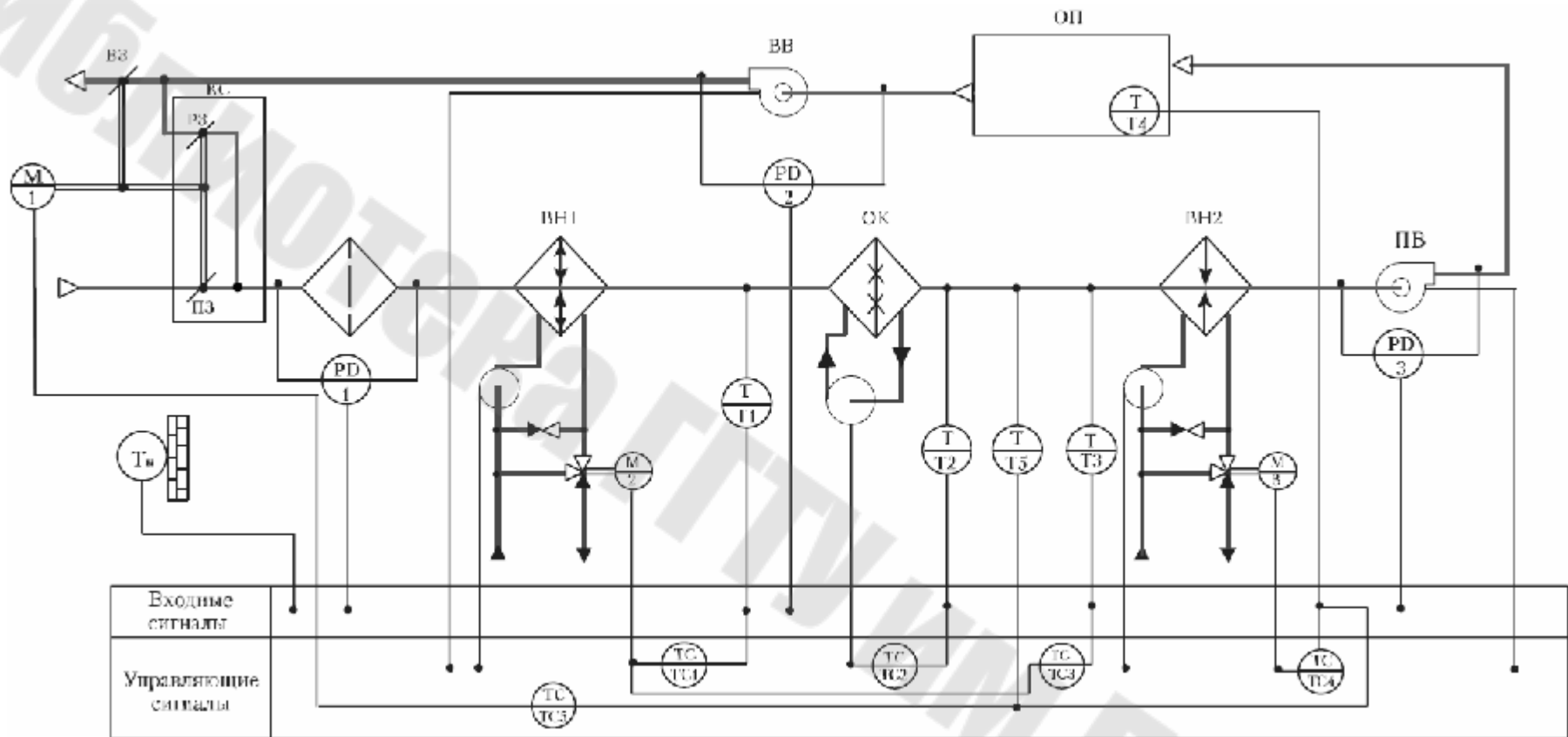


Рис. 8.3. Схема автоматизации системы КВ с рециркуляцией воздуха

Датчик температуры T2, установленный после камеры орошения, регулирует мощность первого воздухонагревателя так, чтобы температура воздуха после камеры орошения ($\phi = 95\%$) стабилизировалась в области точки росы. Воздухонагреватель второго подогрева, расположенный после камеры орошения, доводит до необходимой температуры приточный воздух. Таким образом, косвенное регулирование влажности приточного воздуха осуществляется терморегуляторами без прямого измерения влажности.

При **комбинированном регулировании** влажности воздуха сочетают прямое и косвенное регулирование. Такой метод используют в системах КВ, имеющих обводной канал вокруг камеры орошения, и называют методом оптимальных режимов.

Для исключения второго подогрева необходимо смешать часть нагретого наружного воздуха с увлажненным воздухом после камеры орошения (рис. 8.2). В этом случае наружный воздух вначале нагревают в нагревателе ВН1, увлажняют в оросительной камере до 95 %, после чего смешивают нагретый воздух с увлажненным воздухом в требуемом соотношении. Протекание данного процесса контролируется по датчику температуры либо по датчику влажности после камеры смешения.

Для осуществления возможности работы кондиционера в холодном, теплом и переходном периодах необходимо после камеры орошения установить два датчика, настроенных на температуры точек росы холодного (Т3) и теплого (Т2) периодов.

В **холодный период** датчик Т3 регулирует теплопроизводительность нагревателя ВН1. Терморегулятор ТС4, датчик которого расположен в помещении, стабилизирует температуру второго воздухонагревателя ВН2, обеспечивая требуемую температуру приточного воздуха.

В **переходный период** воздухонагреватель ВН1 выключается. Наружный воздух поступает в камеру орошения. По сигналам датчика Т3 регулируется мощность подогревателя ВН2.

В **теплый период** регулирование параметров состояния влажного воздуха осуществляется при помощи датчика Т2, установленного после камеры орошения. Этот датчик посредством регулятора поддерживает заданный расход холодной воды через камеру орошения. Регулятор ТС4, датчик которого размещен в помещении, регулирует производительность воздухонагревателя.

Схема автоматизации системы КВ с **рециркуляцией воздуха** проиллюстрирована на рис. 8.3. Для уменьшения потерь тепла (холо-

да) часть удаляемого воздуха поступает в камеру смешения (КС), где смешивается со свежим приточным воздухом. Температура смешанного воздуха определяется температурами наружного и удаляемого воздуха, а также их количеством.

Регулирование количества смешанного и приточного воздуха производится с помощью трех заслонок: приточной (ПЗ), вытяжной (ВЗ) и рециркуляционной (РЗ). Заслонки в приточном и вытяжном каналах работают синфазно, а в рециркуляционном канале – противофазно, что позволяет обеспечить любую степень рециркуляции от 0 до 100 %. При полностью открытых ПЗ и ВЗ и полностью закрытой РЗ система становится приточной (степень рециркуляции 0 %), в то время как при полностью закрытых ПЗ и ВЗ и полностью открытой РЗ степень рециркуляции составит 100 %.

Общий расход воздуха находят по его расчетному количеству, необходимому для ассимиляции тепло- и влагоизбытков. Минимальное количество наружного воздуха определяется с учетом ассимиляции вредных паров и газов либо условиями обеспечения санитарных норм.

В холодный период наружный воздух смешивается с рециркуляционным, полученная смесь нагревается в воздухонагревателе первого подогрева ВН1, подвергается адиабатическому увлажнению в камере орошения ОК и догревается в воздухонагревателе ВН2. Терморегулятор ТС4, датчик которого находится в помещении, регулирует теплопроизводительность воздухонагревателя второго подогрева, обеспечивая требуемую температуру приточного воздуха. Заданное влагосодержание приточного воздуха поддерживается посредством регулятора ТС5, датчик которого Т5 расположен после ОК. Регулятор воздействует на воздушные клапаны, регулирующие расход наружного и рециркуляционного воздуха.

В переходный период наружный воздух увлажняется адиабатически и догревается в нагревателе ВН2. Влагосодержание приточного воздуха определяется состоянием наружного воздуха. Температура приточного воздуха регулируется посредством регулятора ТС4, воздействующего на производительность ВН2.

В теплый период обработка воздуха осуществляется путем его охлаждения в камере орошения ОК с последующим нагревом в подогревателе ВН2. Процесс охлаждения воздуха контролируется терморегулятором ТС2, который, в свою очередь, управляет клапаном, регулирующим температуру воды, подаваемой в камеру орошения, и, как следствие, влагосодержание приточного воздуха.

Приборы и оборудование: микроконтроллер, датчик температуры приточного воздуха, накладные датчики температуры воды, датчик-реле перепада давления на вентиляторном агрегате, клапан с электроприводом для управления потоком теплоносителя и прочие технические средства автоматизации компактного панельного кондиционера.

Схема и описание лабораторной установки

В качестве объекта исследования в настоящей лабораторной работе выступает система автоматического регулирования компактного панельного кондиционера, принципиальная схема и устройство которого детально описаны в лабораторной работе № 3.

Изображенная на рис. 8.4 функциональная схема автоматизации компактного панельного кондиционера включает в себе следующие элементы: 1 – привод воздушной заслонки; 2 – датчик-реле перепада давления на фильтре (PDS); 3 – регулирующий клапан теплоносителя; 4 – циркуляционный насос; 5 – термостат угрозы заморозания калорифера по воде (TS); 6 – термостат угрозы заморозания калорифера по воздуху (TS); 7 – регулирующий клапан охладителя; 8 – вентилятор; 9 – датчик-реле перепада давления на вентиляторе (PDS); 10 – датчик температуры приточного воздуха (TE); 11 – датчик температуры воздуха в помещении лаборатории (TS).

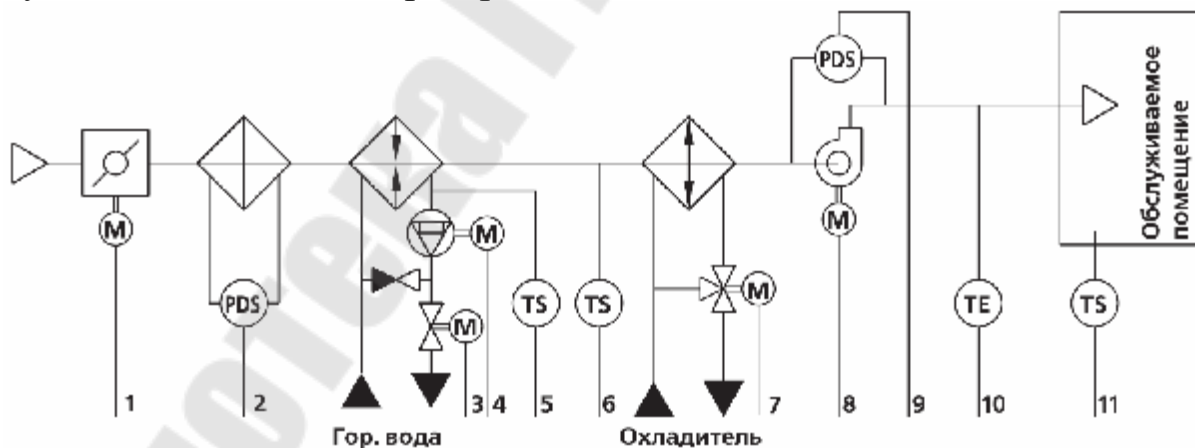


Рис. 8.4. Функциональная схема автоматизации компактного кондиционера

Кондиционер предусматривает два режима запуска: местный с электрического щита и дистанционный посредством выносного пульта управления. Режим выбирается переключателем «Вкл/Выкл/ДУ»

на лицевой панели щита. Местный запуск кондиционера производится установкой переключателя «Пуск» в положение «Вкл».

Кондиционер имеет три режима работы: летний режим, при котором воздух охлаждается в водяном охладителе; зимний режим, когда воздух нагревается в водяном калорифере; дежурный режим, соответствующий нахождению переключателя «Пуск» в положении «Выкл» либо «ДУ». При выключенной системе в дежурном режиме идет контроль от замораживания водяного калорифера; при срабатывании внешнего датчика сигнализации «Пожар» система также переходит в дежурный режим.

Летний режим работы (переключатель на щите в положении «Лето»): привод 1 открывает воздушную заслонку (при открытии заслонки загорается индикатор «Заслонка»), работает датчик-реле 2 перепада давления на фильтре. Далее запускается двигатель вентилятора 8 и через определенный интервал времени включается датчик-реле 9 перепада давления на вентиляторе. При выходе вентилятора на рабочий режим загорается индикатор «Вентилятор». Посредством регулирующего клапана 7 охладителя осуществляется регулирование температуры воздуха, а ее контроль – по каналному датчику 10 температуры приточного воздуха. На протяжении всего времени работы системы в «летнем» режиме происходит контроль по термостату 6 угрозы замерзания калорифера по воздуху. При сливе воды из системы рекомендуется отключить автомат защиты двигателя насоса или предохранитель во избежание пуска насоса с сухим ротором.

Зимний режим работы (переключатель на щите в положении «Зима», переключатель «Насос» в положении «Вкл»): открывается клапан по воде 3, включается насос 4 – происходит прогрев калорифера; привод 1 открывает воздушную заслонку, функционирует датчик-реле 2 перепада давления на фильтре. Затем включается двигатель вентилятора 8 и через некоторый временной промежуток включается датчик-реле 9 перепада давления на вентиляторе, по выходе которого на рабочий режим загорается индикатор «Вентилятор».

Наружный воздух, проходя через открытую воздушную заслонку, попадает на воздушный фильтр. Если перепад давления на фильтре слишком велик, что определяется по датчику-реле 2, то на щите загорается индикатор «Фильтр». Отключение системы при этом не предусмотрено. Датчик-реле 9 контролирует перепад давления воздуха на вентиляторе. Если при запуске системы через определенный интервал времени заданный перепад давления не появляется, система

останавливается. То же происходит, если указанный перепад давления исчезает во время работы системы. При этом загорается индикатор «Авария», а индикатор «Вентилятор» гаснет.

Датчик температуры 10 приточного воздуха предназначен для измерения температуры воздуха в воздуховоде. Он передает электрический сигнал о температуре на контроллер, который, в свою очередь, управляет регулирующим клапаном 3 в режиме «Зима» на теплоносителе калорифера либо клапаном 7 в режиме «Лето» на охладителе. В режиме «Зима» при уменьшении текущей температуры клапан 3 открывается, а при увеличении – закрывается, изменяя количество теплоносителя, поступающего в калорифер. Таким образом осуществляется варьирование степени нагрева воздуха в системе. В режиме «Лето» при уменьшении текущей температуры клапан 7 закрывается, а при увеличении – открывается, изменяя степень охлаждения воздуха.

Насос 4 обеспечивает циркуляцию теплоносителя в калорифере. Он работает в режиме «Зима» постоянно и автоматически запускается по сигналу «Мороз». При работе насоса загорается индикатор «Насос».

Сигнал «Угроза замораживания калорифера» формируется при срабатывании одного из двух либо обоих термостатов 5, 6 в режиме «Зима», в режиме «Лето» – только при срабатывании воздушного термостата 6. При этом загорается индикатор «Мороз». Уставка замораживания по воздуху 6–10 °С; уставка замораживания по воде 30–40 °С. По сигналу угрозы замерзания происходит следующее: выключается электродвигатель вентилятора 8, если он был включен; включается циркуляционный насос 4, причем независимо от положения переключателя «Вкл/Выкл» насоса 4 и от положения переключателя «Зима/Лето»; открывается на 100 % регулирующий клапан 3 на теплоносителе и закрывается входная воздушная заслонка 1.

Порядок выполнения работы

Подать питающее напряжение на установку кондиционирования воздуха и переключателем «Вкл/Выкл/ДУ» выбрать местный режим ее запуска.

Соответствующим переключателем на щите автоматического управления (либо через меню микроконтроллера) выбрать летний режим работы кондиционера и выполнить его запуск.

Зафиксировать моменты времени, отвечающие включению отдельных функциональных устройств компактного панельного конди-

ционерера. Сопоставить полученные результаты с заданными в настройках микроконтроллера временными интервалами между включением отдельных агрегатов кондиционерера.

Зайти в меню микроконтроллера и произвести поочередное повышение/снижение уставки температуры окружающего воздуха. Установить направление отклика системы автоматического регулирования на возникшее отклонение температуры. Зафиксировать время на стабилизацию температурного режима помещения лаборатории.

Снять питающее напряжение с компактного кондиционерера.

По достижении в помещении установившегося теплового состояния запустить кондиционер в зимнем режиме и по аналогии с летним режимом работы установки произвести все необходимые замеры. Отключить установку кондиционирования воздуха от электрической сети.

Обработка результатов эксперимента

Проанализировать структуру функциональной схемы и основные принципы работы системы автоматического регулирования компактного панельного кондиционерера.

Выявить и указать отличительные особенности системы автоматического регулирования кондиционерера, имеющие место при его работе в летнем и зимнем режимах.

Полученные результаты занести в лабораторный журнал.

Контрольные вопросы

Методы регулирования систем кондиционирования воздуха.

Схемы автоматизации прямоточных систем кондиционирования воздуха.

Автоматизация системы кондиционирования с рециркуляцией воздуха.

Схема автоматизации компактного панельного кондиционерера.

Режимы работы компактного панельного кондиционерера.

Литература

1. Аверкин, А. Г. Примеры и задачи по курсу «Кондиционирование воздуха и холодоснабжение» : учеб. пособие / А. Г. Аверкин. – 2-е изд. – М. : АСВ, 2007. – 126 с.
2. Автоматизация систем вентиляции и кондиционирования воздуха : учеб. пособие / Е. С. Бондарь [и др.] ; под общ. ред. Е. С. Бондаря. – Киев : ТОВ «Видавничий будинок «Аванпост-Прим», 2005. – 560 с.
3. Белова, Е. М. Центральные системы кондиционирования воздуха в зданиях / Е. М. Белова. – М. : Евроклимат, 2006. – 640 с.
4. Бурцев, С. И. Влажный воздух. Состав и свойства : учеб. пособие / С. И. Бурцев, Ю. Н. Цветков. – СПб. : СПбГАХПТ, 1998. – 146 с.
5. Вентиляция : лаборатор. практикум для студентов оч. и заоч. форм обучения специальности 1-70 04 02 «Теплогазоснабжение, вентиляция и охрана воздушного бассейна» / сост.: Л. В. Борухова, А. С. Шибеко. – Минск : БНТУ, 2015. – 79 с.
6. Внутренние санитарно-технические устройства : справочник проектировщика : в 3 ч. / В. Н. Богословский [и др.] ; под ред. Н. Н. Павлова и Ю. И. Шиллера. – 4-е изд. – М. : Стройиздат, 1992. – Ч. 3, кн. 1 : Вентиляция и кондиционирование воздуха. – 319 с.
7. Лабораторный практикум по отоплению, вентиляции, газоснабжению, гидравлическим машинам, холодильным установкам и теплообменению / под общ. ред. Э. Х. Одельского. – 2-е изд. – Минск : Выш. шк., 1964. – 277 с.
8. Лабораторный практикум по термодинамике, теплообмену, отоплению, вентиляции и кондиционированию воздуха : учеб. пособие / В. А. Бройда [и др.] ; под. общ. ред. В. Н. Посохиной. – Казань : КГАСУ, 2009. – 158 с.
9. Минин, В. Е. Воздухонагреватели для систем вентиляции и кондиционирования воздуха / В. Е. Минин. – М. : Стройиздат, 1976. – 199 с.
10. Нестеренко, А. В. Основы термодинамических расчетов вентиляции и кондиционирования воздуха / А. В. Нестеренко. – М. : Высш. шк., 1971. – 460 с.
11. Преображенский, В. П. Теплотехнические измерения и приборы : учеб. для вузов / В. П. Преображенский. – 3-е изд. – М. : Энергия, 1978. – 704 с.
12. Семенов, Ю. В. Системы кондиционирования воздуха с поверхностными воздухоохладителями / Ю. В. Семенов. – М. : Техносфера, 2014. – 272 с.

13. Стернзат, М. С. Метеорологические приборы и наблюдения / М. С. Стернзат. – Л. : Гидрометеиздат, 1968. – 464 с.
14. Стефанов, Е. В. Вентиляция и кондиционирование воздуха / Е. В. Стефанов. – СПб. : АВОК Северо-Запад, 2005. – 399 с.
15. Теплообменные аппараты холодильных установок / под ред. Г. Н. Даниловой. – 2-е изд. – Л. : Машиностроение, 1986. – 303 с.
16. Каталог радиальных вентиляторов Nicotra. – Вальденбург, 2015. – 188 с.
17. Каталог систем автоматического управления установками кондиционирования воздуха компании ООО «Веза». – М., 2014. – 38 с.
18. Каталог теплообменных аппаратов компании ООО «Веза». – М., 2014. – 99 с.
19. Санитарные нормы и правила «Требования к микроклимату рабочих мест в производственных и офисных помещениях», Гигиенический норматив «Показатели микроклимата производственных и офисных помещений». – Взамен СанПиН 9-80 РБ-98. – Введ. 2013-04-30. – Минск : М-во здравоохранения Респ. Беларусь, 2013. – 15 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

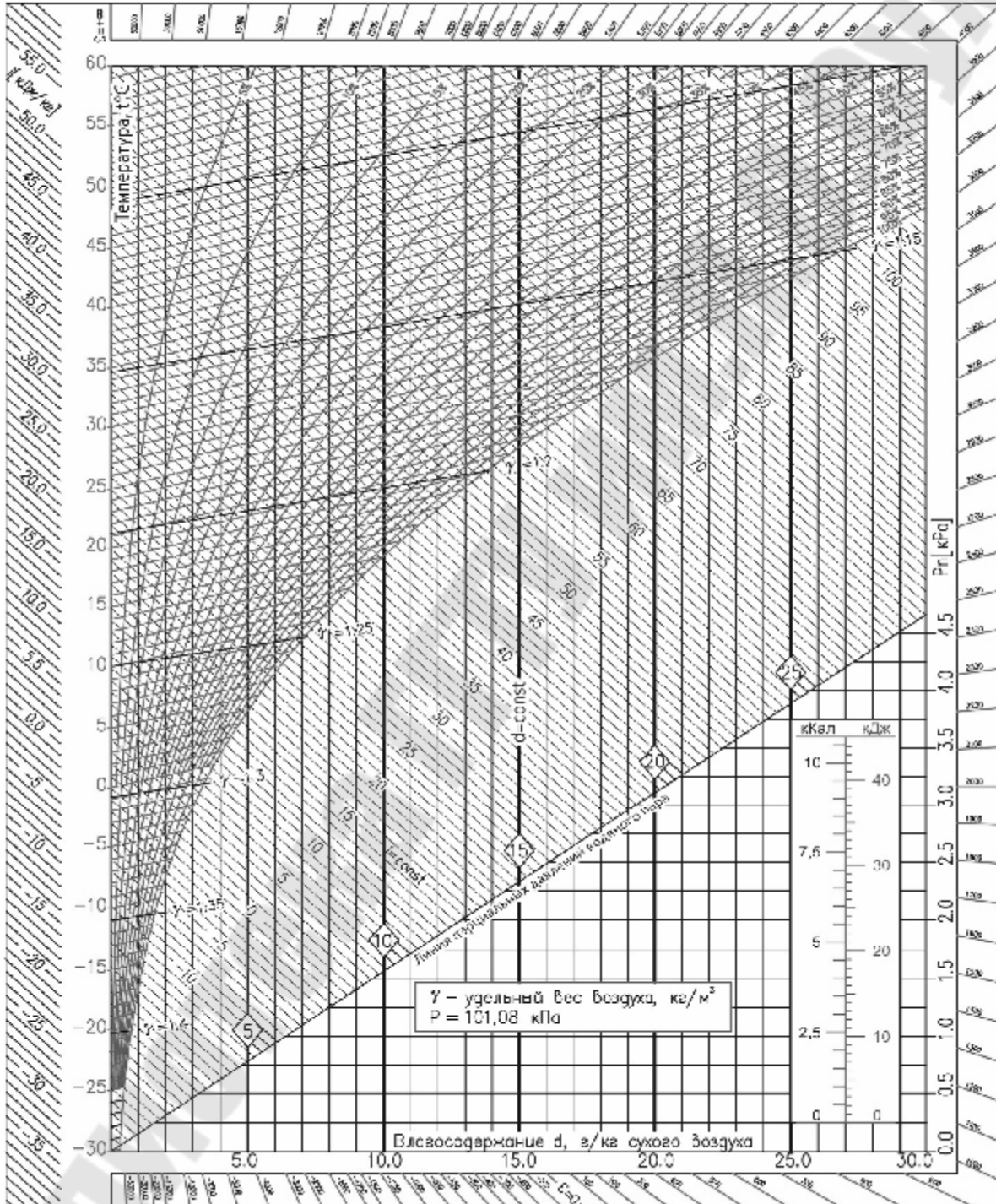


Рис. П.1.1. h-d-диаграмма влажного воздуха

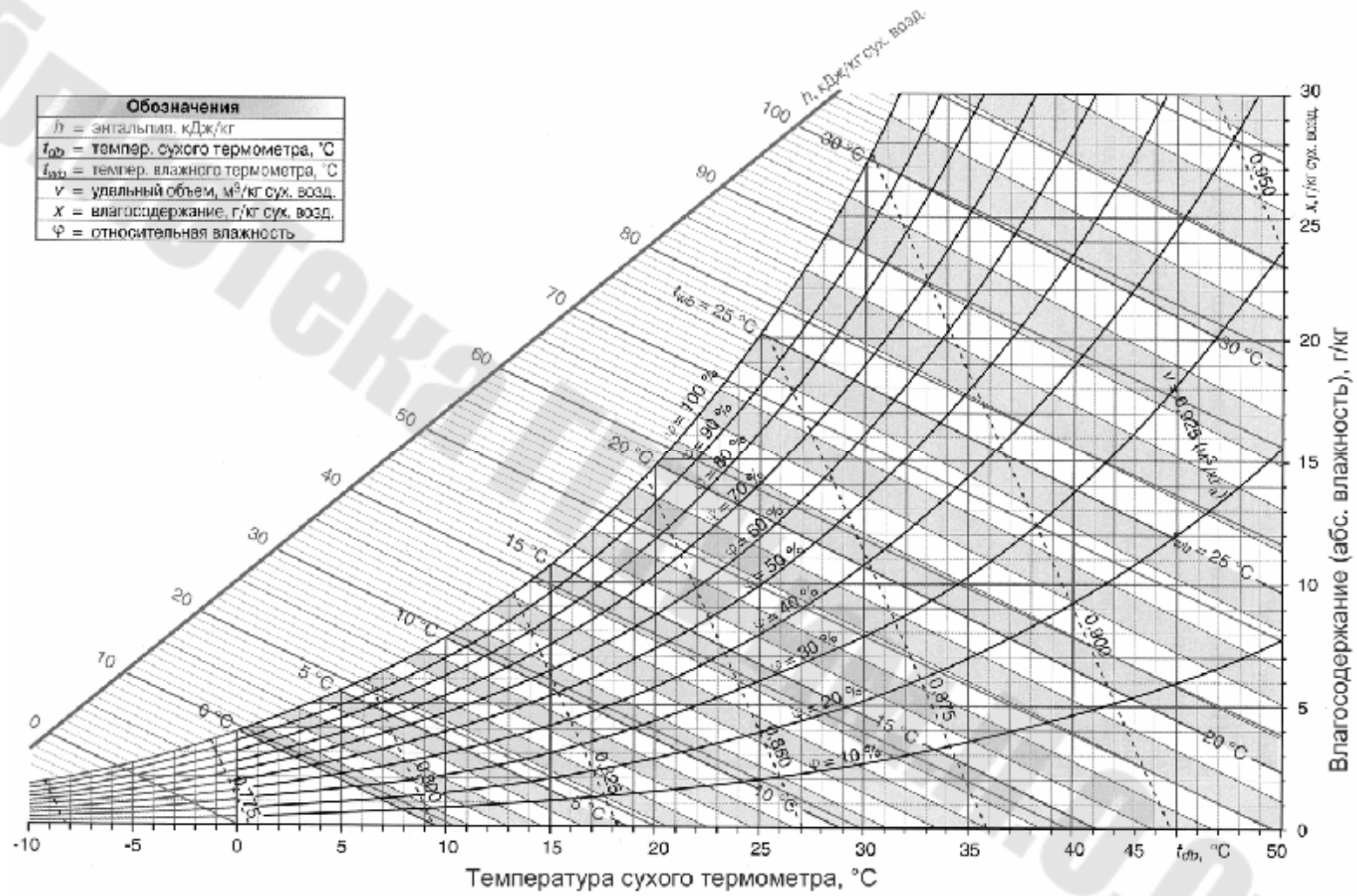


Рис. П.1.2. Психрометрический график влажного воздуха

Приложение 2

Таблица П.2.1

Плотность сухого воздуха при барометрическом давлении 101,3 кПа

$t, ^\circ\text{C}$	$\rho, \text{кг/м}^3$	$t, ^\circ\text{C}$	$\rho, \text{кг/м}^3$	$t, ^\circ\text{C}$	$\rho, \text{кг/м}^3$	$t, ^\circ\text{C}$	$\rho, \text{кг/м}^3$	$t, ^\circ\text{C}$	$\rho, \text{кг/м}^3$	$t, ^\circ\text{C}$	$\rho, \text{кг/м}^3$
-45	1,549	-29	1,447	-13	1,358	3	1,279	19	1,209	35	1,146
-44	1,543	-28	1,441	-12	1,352	4	1,274	20	1,205	36	1,142
-43	1,536	-27	1,435	-11	1,347	5	1,270	21	1,201	37	1,139
-42	1,529	-26	1,429	-10	1,342	6	1,265	22	1,197	38	1,135
-41	1,522	-25	1,423	-9	1,337	7	1,261	23	1,193	39	1,131
-40	1,515	-24	1,418	-8	1,332	8	1,256	24	1,189	40	1,128
-39	1,509	-23	1,412	-7	1,327	9	1,252	25	1,185	41	1,124
-38	1,502	-22	1,406	-6	1,322	10	1,247	26	1,181	42	1,121
-37	1,496	-21	1,401	-5	1,317	11	1,243	27	1,177	43	1,117
-36	1,489	-20	1,395	-4	1,312	12	1,239	28	1,173	44	1,114
-35	1,483	-19	1,390	-3	1,307	13	1,234	29	1,169	45	1,110
-34	1,477	-18	1,384	-2	1,303	14	1,230	30	1,165	46	1,107
-33	1,471	-17	1,379	-1	1,298	15	1,226	31	1,161	47	1,103
-32	1,465	-16	1,374	0	1,293	16	1,221	32	1,157	48	1,100
-31	1,459	-15	1,368	1	1,288	17	1,217	33	1,154	49	1,096
-30	1,453	-14	1,363	2	1,284	18	1,213	34	1,150	50	1,093

Таблица П.2.2

Плотность воды при давлении 0,2 МПа

$t, ^\circ\text{C}$	$\rho, \text{кг/м}^3$	$t, ^\circ\text{C}$	$\rho, \text{кг/м}^3$	$t, ^\circ\text{C}$	$\rho, \text{кг/м}^3$	$t, ^\circ\text{C}$	$\rho, \text{кг/м}^3$	$t, ^\circ\text{C}$	$\rho, \text{кг/м}^3$	$t, ^\circ\text{C}$	$\rho, \text{кг/м}^3$
0	1000	16	999,0	32	995,1	48	989,0	64	981,1	80	971,8
1	1000	17	998,8	33	994,8	49	988,5	65	980,6	81	971,2
2	1000	18	998,6	34	994,4	50	988,1	66	980,1	82	970,6
3	1000	19	998,5	35	994,1	51	987,6	67	979,5	83	970,0
4	1000	20	998,3	36	993,7	52	987,2	68	979,0	84	969,3
5	1000	21	998,0	37	993,4	53	986,7	69	978,4	85	968,7
6	1000	22	997,8	38	993,0	54	986,2	70	977,8	86	968,0
7	1000	23	997,6	39	992,6	55	985,7	71	977,2	87	967,4
8	999,9	24	997,3	40	992,3	56	985,3	72	976,7	88	966,7
9	999,8	25	997,1	41	991,9	57	984,8	73	976,1	89	966,0
10	999,7	26	996,8	42	991,5	58	984,3	74	975,5	90	965,4
11	999,6	27	996,6	43	991,1	59	983,8	75	974,9	91	964,7
12	999,5	28	996,3	44	990,7	60	983,3	76	974,3	92	964,0
13	999,4	29	996,0	45	990,3	61	982,7	77	973,7	93	963,3
14	999,3	30	995,7	46	989,8	62	982,2	78	973,1	94	962,6
15	999,1	31	995,4	47	989,4	63	981,7	79	972,5	95	961,9

Приложение 3

Таблица П.3.1

Характеристики воздухонагревателя ВНВ 243.1-078-030-02-2,5-06-2 и воздухоохладителя ВОВ 243.1-078-030-04-2,5-06-2

Наименование и размерность характеристики	Значение характеристики		
	ВНВ	ВОВ	
Максимально/минимально допустимая температура, °С	180	3	
Рекомендуемая верхняя температура, °С	–	8	
Максимально допустимое давление, МПа	1,6		
Рекомендуемый диапазон скорости течения воды в трубках, м/с	0,5–2,0	0,6–1,0	
Площадь фронтального сечения для прохода воздуха, м ²	0,234		
Площадь живого сечения для прохода воды, м ²	0,00019	0,00019	
Суммарная площадь поверхности теплообмена, м ²	9,44	18,88	
Эмпирические константы	\tilde{a}	21,68	21,68
	\tilde{b}	3,035	6,069
	\tilde{c}	1,72	1,64

Расшифровка буквенно-цифровых обозначений теплообменных аппаратов: 243 – конструктивное исполнение поверхности теплообмена и материалов; 1 – встраиваемый способ монтажа; 078 – длина оребренных трубок, см; 030 – высота трубной решетки, см; 02 (04 для ВОВ) – число рядов трубок по ходу движения воздуха; 2,5 – шаг оребрения, мм; 06 – число ходов по воде; 2 – правое исполнение патрубков входа/выхода воды.

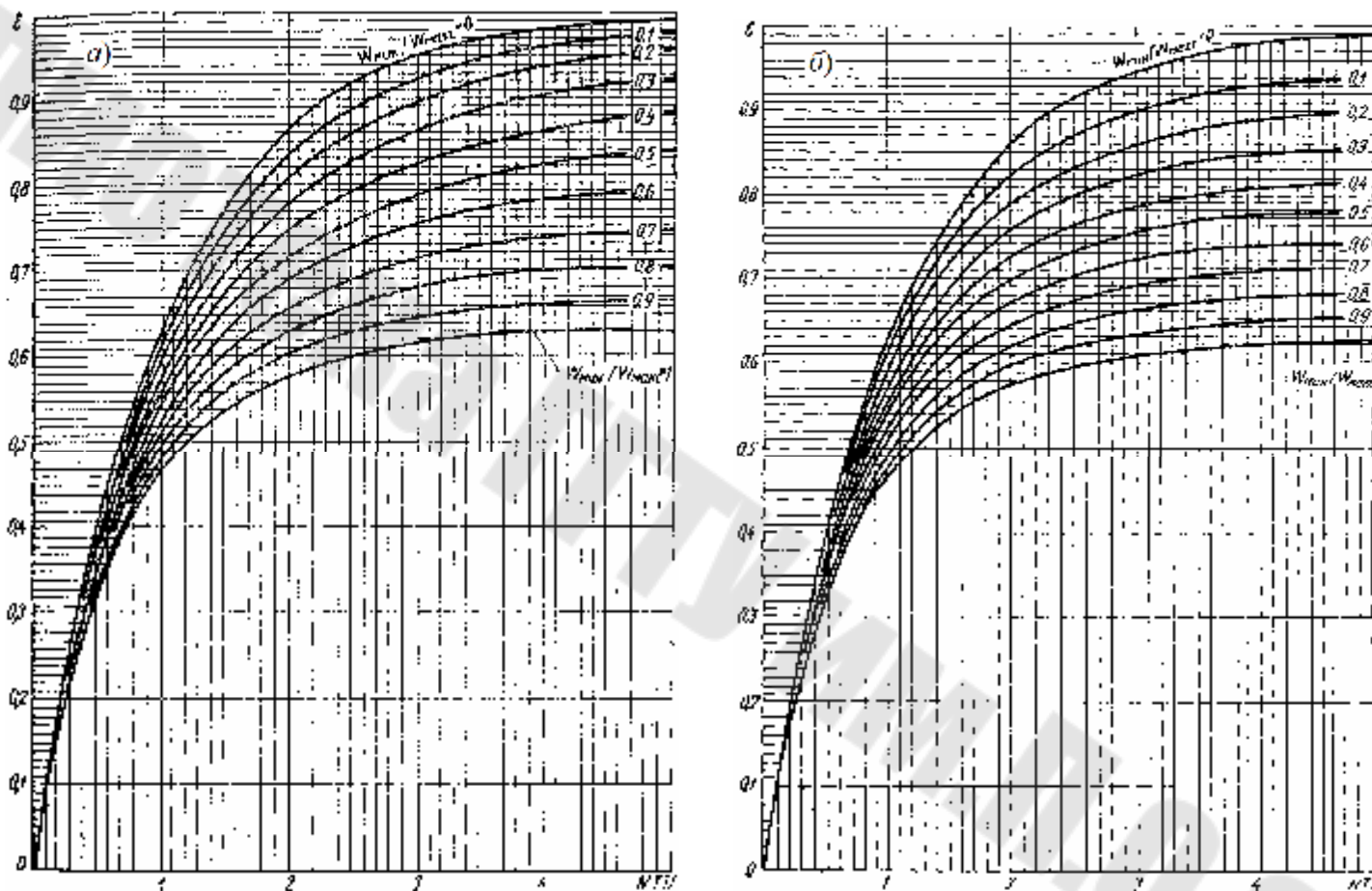


Рис. П.4.1. Коэффициент эффективности теплообмена ϵ для перекрестно-точной схемы движения:
 a – при $W_B < W_w$; b – при $W_B > W_w$

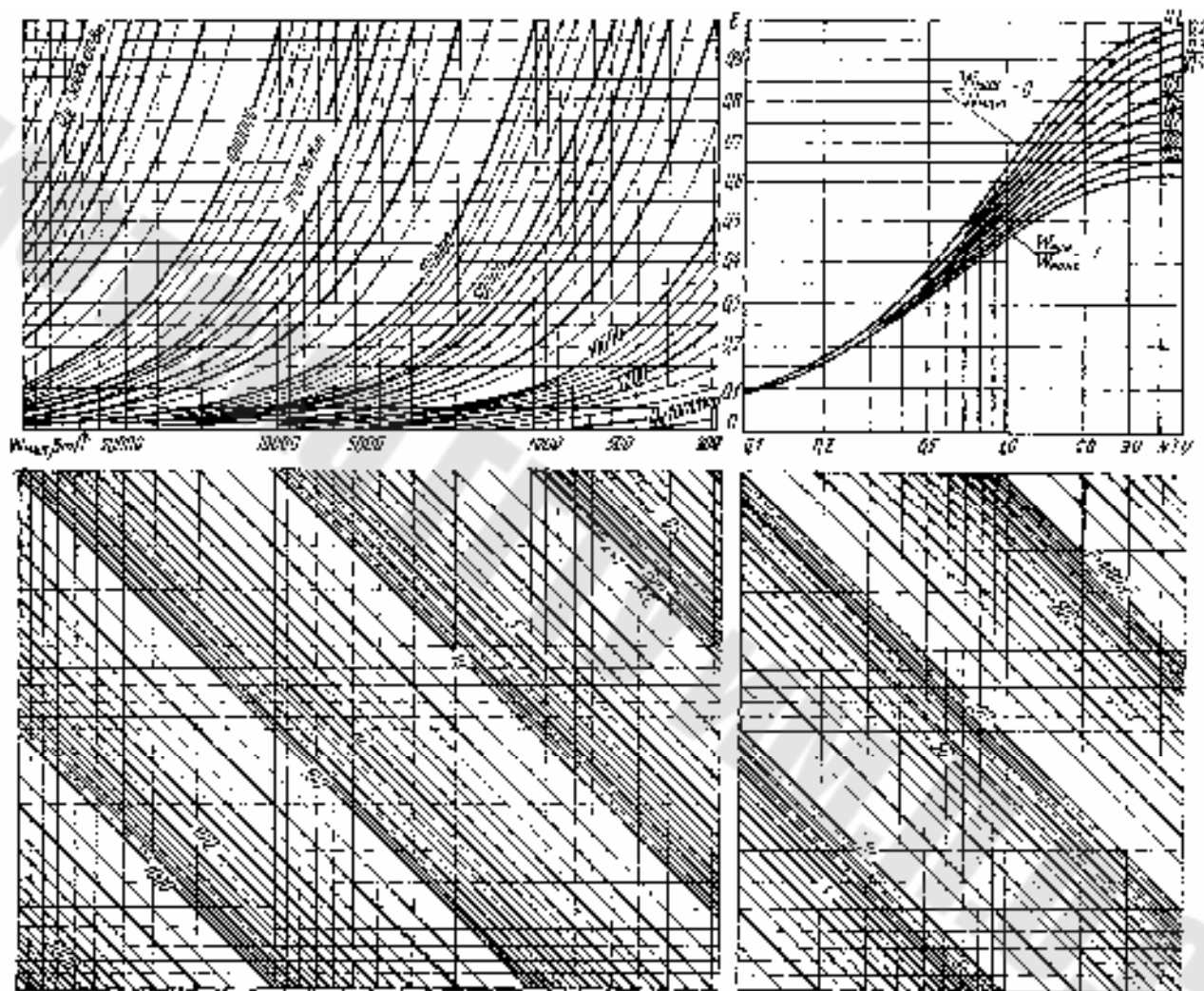


Рис. П.4.2. Основная номограмма для перекрестно-точной схемы движения при $W_B < W_W$

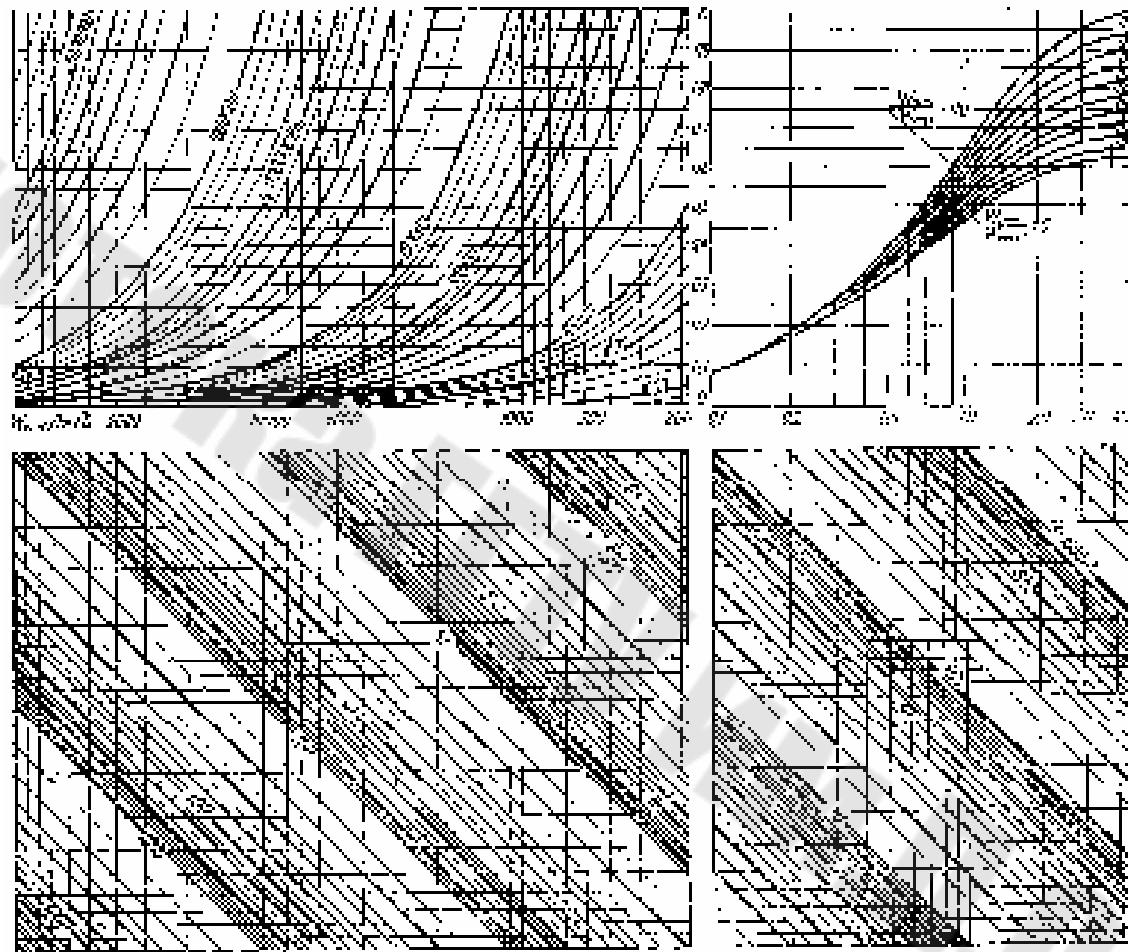


Рис. П.4.3. Основная номограмма для перекрестно-точной схемы движения при $W_B > W_W$

Приложение 5

Таблица П.5.1

**Удельные потери давления на трение
в приточной камере кондиционера $r_{тр}$, Па/м**

$\vartheta_{к}$, м/с	Десятые →									
	Целые ↓	0	1	2	3	4	5	6	7	8
0	0,000	0,0004	0,001	0,003	0,004	0,007	0,009	0,012	0,015	0,019
1	0,022	0,027	0,031	0,036	0,041	0,046	0,052	0,058	0,064	0,070
2	0,077	0,084	0,091	0,099	0,107	0,115	0,123	0,130	0,140	0,150
3	0,160	0,170	0,180	0,190	0,200	0,210	0,220	0,230	0,250	0,260
4	0,270	0,280	0,290	0,310	0,320	0,330	0,350	0,360	0,380	0,390
5	0,400	0,420	0,430	0,450	0,470	0,480	0,500	0,510	0,530	0,550
6	0,570	0,580	0,600	0,620	0,640	0,660	0,670	0,690	0,710	0,730
7	0,750	0,770	0,790	0,810	0,830	0,850	0,880	0,900	0,920	0,940
8	0,960	0,990	1,010	1,030	1,050	1,080	1,100	1,130	1,150	1,170
9	1,200	1,220	1,250	1,270	1,300	1,330	1,350	1,380	1,410	1,430
10	1,460	1,490	1,520	1,540	1,570	1,600	1,630	1,660	1,690	1,720
11	1,750	1,780	1,810	1,840	1,870	1,900	1,930	1,960	1,990	2,020
12	2,060	2,090	2,120	2,160	2,190	2,220	2,260	2,290	2,320	2,360
13	2,390	2,430	2,460	2,500	2,530	2,570	2,610	2,640	2,680	2,720
14	2,750	2,790	2,830	2,870	2,900	2,940	2,980	3,020	3,060	3,100
15	3,140	3,180	3,220	3,260	3,300	3,340	3,380	3,420	3,460	3,500
16	3,550	3,590	3,630	3,670	3,720	3,760	3,800	3,850	3,890	3,940
17	3,980	4,030	4,070	4,120	4,160	4,210	4,250	4,300	4,350	4,390
18	4,440	4,490	4,530	4,580	4,630	4,680	4,730	4,780	4,820	4,870
19	4,920	4,970	5,020	5,070	5,120	5,170	5,220	5,280	5,330	5,380
20	5,430	5,480	5,530	5,590	5,640	5,690	5,750	5,800	5,850	5,910
21	5,960	6,020	6,070	6,130	6,180	6,240	6,290	6,350	6,410	6,460
22	6,520	6,580	6,630	6,690	6,750	6,810	6,870	6,920	6,980	7,040
23	7,100	7,160	7,220	7,280	7,340	7,400	7,460	7,520	7,580	7,650
24	7,710	7,770	7,830	7,890	7,960	8,020	8,080	8,150	8,210	8,270
25	8,340	8,400	8,470	8,530	8,600	8,660	8,730	8,790	8,860	8,930
26	8,990	9,060	9,130	9,190	9,260	9,330	9,400	9,470	9,530	9,600
27	9,670	9,740	9,810	9,880	9,950	10,02	10,09	10,16	10,23	10,30
28	10,38	10,45	10,52	10,59	10,66	10,74	10,81	10,88	10,96	11,03
29	11,10	11,18	11,25	11,33	11,40	11,48	11,55	11,63	11,71	11,78
30	11,86	11,93	12,01	12,09	12,17	12,24	12,32	12,40	12,48	12,56

Приложение 6

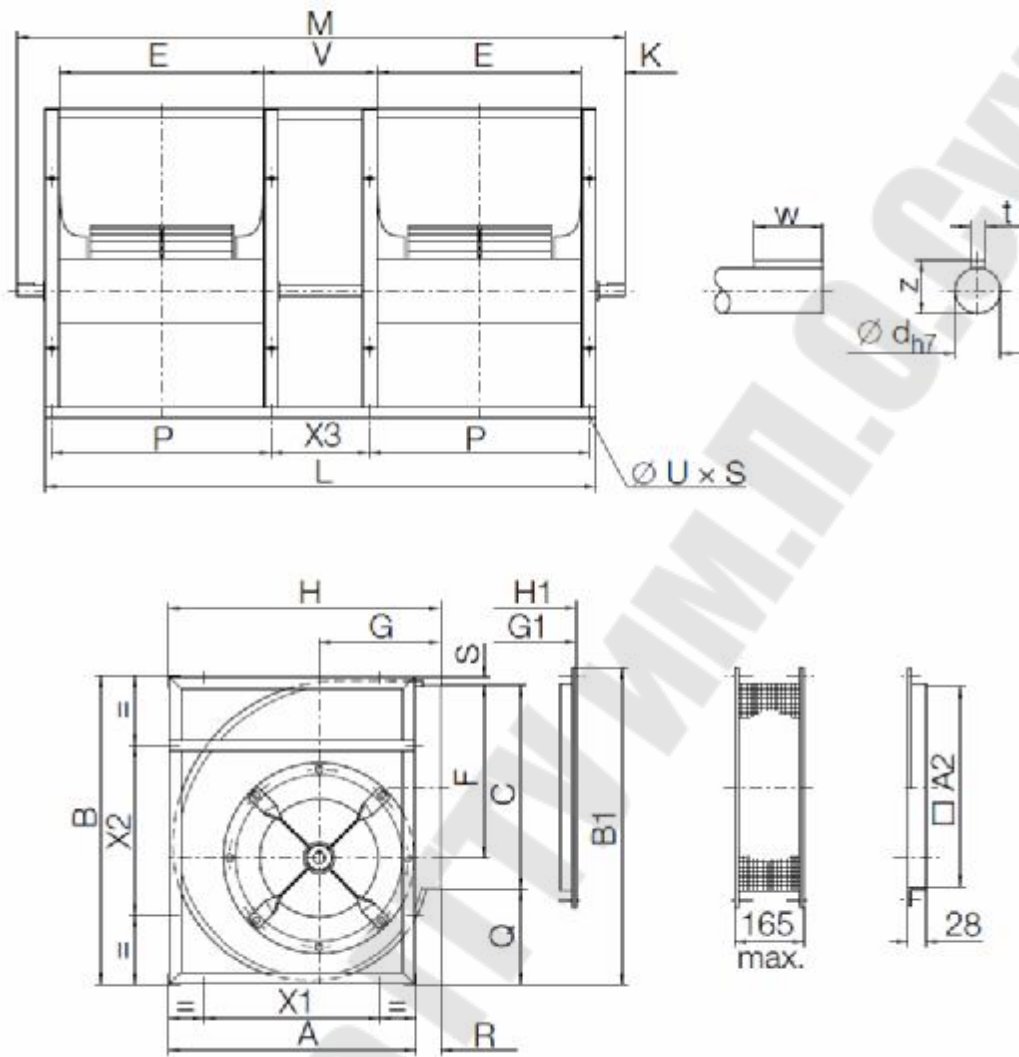


Рис. П.6.1. Вентиляторный агрегат Nicotra ADH G2R-0160

Таблица П.6.1

Габаритные размеры вентиляторного агрегата Nicotra ADH G2R-0160

Габаритные размеры, мм								
<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>E</i>	<i>F</i>	<i>G</i>	<i>H</i>	<i>L</i>	<i>M</i>
267	315	205	205	173	141	293	610	710
<i>P</i>	<i>Q</i>	<i>R</i>	<i>S</i>	<i>V</i>	<i>K</i>	<i>X1</i>	<i>X2</i>	<i>X3</i>
229	98	26	10	160	50	180	180	136
<i>t</i>	<i>w</i>	<i>z</i>	<i>d</i>	<i>u × s</i>	<i>B1</i>	<i>H1</i>	<i>G1</i>	<i>A2</i>
6	30	22,5	20	9 × 14	331	296	144	205

Таблица П.6.2

**Технические характеристики вентиляторного агрегата
Nicotra ADH G2R-0160**

Наименование характеристики	Значение характеристики
Диаметр рабочего колеса, мм	160
Площадь поперечного сечения выходного патрубка, мм ²	42845
Количество лопаток	36
Момент инерции масс, кг · м ²	0,006
Плотность среды, кг/м ³	1,2
Диапазон допустимых температур транспортируемой среды, °С	[-20; +80]
Допустимая номинальная мощность двигателя, кВт	4
Допустимая скорость вращения рабочего колеса, об./мин	3400
Допустимая нагрузка на подшипники, Н	420
Масса рабочего колеса, кг	1,1
Масса вентиляторного агрегата, кг	14,5

Таблица П.6.3

Значения поправочных коэффициентов Δ_A и Δ'_f

Рабочая точка	n, об./мин	Δ_A , дБ	Δ'_f , дБ							
			центральная частота октавы f_m , Гц							
			63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
SX	3500	2	0	-9	-3	-5	-7	-7	-8	-11
SX	2200	1	-5	-4	-3	-11	-4	-6	-9	-14
SX	1400	-1	-5	-1	-5	-4	-5	-6	-11	-17
G _B	3500	2	-4	-10	-4	-5	-7	-6	-7	-12
G _B	2200	0	-8	-5	-3	-11	-5	-6	-8	-13
G _B	1400	-1	-7	-2	-6	-5	-5	-6	-11	-16
DX	3500	2	-10	-15	-6	-7	-10	-6	-7	-7
DX	2200	1	-14	-8	-6	-13	-7	-6	-6	-9
DX	1400	0	-11	-5	-8	-8	-6	-6	-7	-11

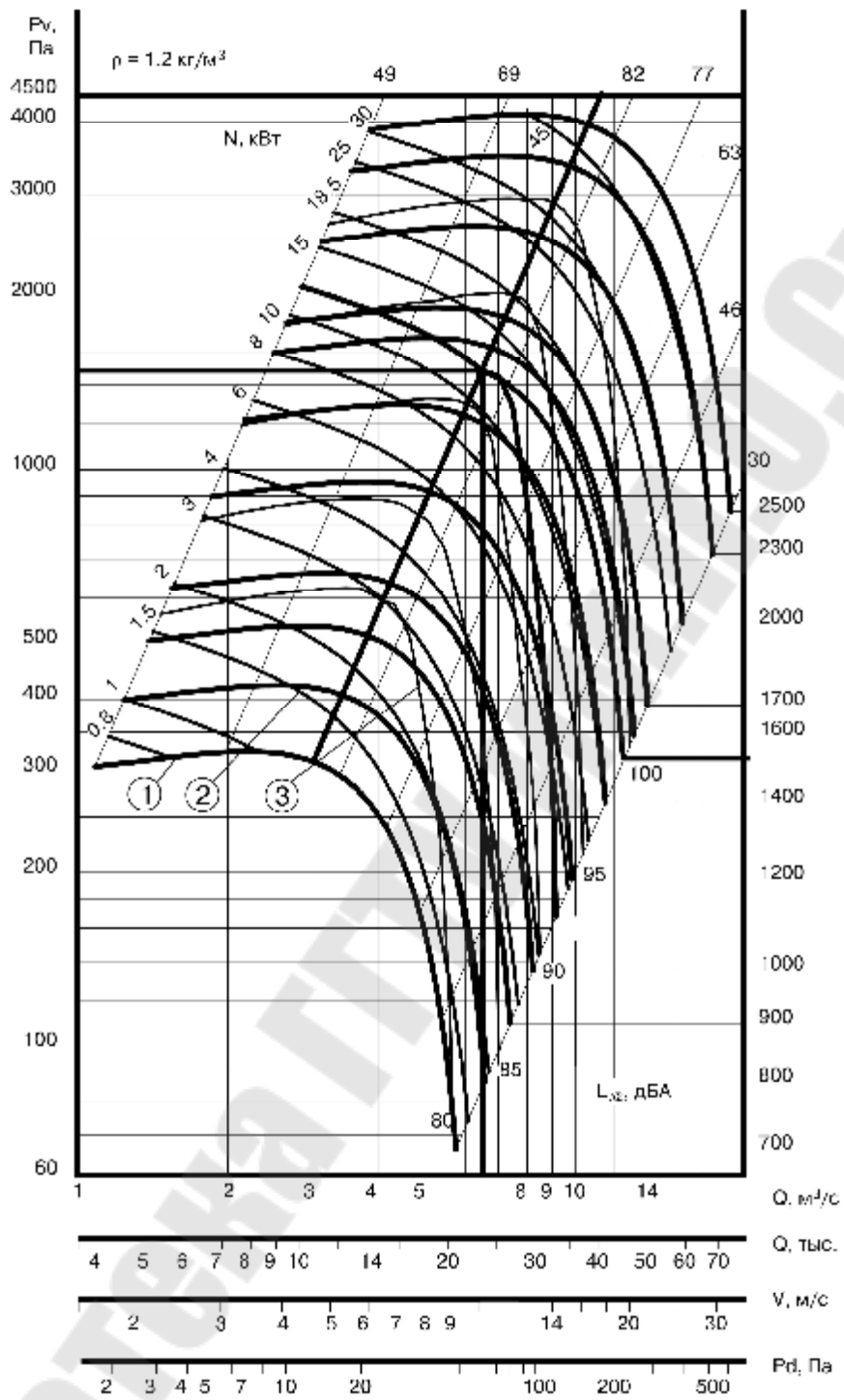


Рис. П.6.2. Индивидуальная характеристика радиального вентилятора ADH R-0160

Значения поправочного множителя Δ''_f

Рабочая точка	n , об./мин	Δ''_f , дБ							
		центральная частота октавы f_m , Гц							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
<i>SX</i>	3500	9	8	6	-3	-5	-8	-10	-13
<i>SX</i>	2200	9	8	1	-4	-6	-9	-11	-16
<i>SX</i>	1400	10	5	-1	-4	-7	-9	-13	-19
G_B	3500	8	6	4	-3	-5	-8	-10	-12
G_B	2200	7	6	-0	-4	-6	-9	-10	-15
G_B	1400	7	4	-2	-4	-7	-9	-12	-18
<i>DX</i>	3500	-2	2	4	-4	-6	-6	-8	-8
<i>DX</i>	2200	0	5	-3	-5	-5	-8	-8	-11
<i>DX</i>	1400	5	1	-4	-6	-6	-8	-9	-13

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Лабораторная работа № 1.</i> Определение температуры, барометрического давления и скорости движения воздуха	3
<i>Лабораторная работа № 2.</i> Определение параметров состояния влажного воздуха	8
<i>Лабораторная работа № 3.</i> Исследование рабочих характеристик компактного панельного кондиционера	15
<i>Лабораторная работа № 4.</i> Определение теплотехнических характеристик поверхностного воздухонагревателя	23
<i>Лабораторная работа № 5.</i> Исследование теплотехнических характеристик водяного воздухоохладителя.....	32
<i>Лабораторная работа № 6.</i> Определение аэродинамических характеристик компактного панельного кондиционера.....	40
<i>Лабораторная работа № 7.</i> Определение характеристик радиального вентилятора.....	48
<i>Лабораторная работа № 8.</i> Исследование схемы автоматизации компактного панельного кондиционера	54
Литература.....	64
Приложения.....	66

Учебное электронное издание комбинированного распространения

Учебное издание

Овсянник Анатолий Васильевич
Шаповалов Александр Валерьевич
Киселевич Валентин Владимирович

ВЕНТИЛЯЦИЯ И КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА

**Практикум
по выполнению лабораторных работ
по одноименной дисциплине
для студентов специальности
1-43 01 05 «Промышленная теплоэнергетика»
дневной и заочной форм обучения**

Электронный аналог печатного издания

Редактор *А. В. Власов*
Компьютерная верстка *И. П. Минина*

Подписано в печать 05.03.18.

Формат 60x84/16. Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс».

Ризография. Усл. печ. л. 4,42. Уч.-изд. л. 4,80.

Изд. № 12.

<http://www.gstu.by>

Издатель и полиграфическое исполнение
Гомельский государственный
технический университет имени П. О. Сухого.
Свидетельство о гос. регистрации в качестве издателя
печатных изданий за № 1/273 от 04.04.2014 г.
пр. Октября, 48, 246746, г. Гомель