

## Лабораторная работа № 3

### ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА УВЛАЖНЕНИЯ ВОЗДУХА ПРИ КОНДИЦИОНИРОВАНИИ

**Цель работы:** Экспериментальное изучение процесса увлажнения воздуха в камере орошения.

#### 1. Теоретические положения

В технике кондиционирования обработка воздуха водой производится в контактных аппаратах: камерах орошения, аппаратах с орошаемым слоем (современные сотовые увлажнители), аппаратах пенного типа. Известны конструкции камер орошения с форсунками, расположенными в один, два и более рядов. Наибольшее распространение получили однорядные и двухрядные камеры орошения. Вода может распыляться по направлению потока воздуха – прямоток, против направления воздуха – противоток и в двух этих направлениях – смешанный режим.

Камеры орошения достаточно универсальны. В них могут проводиться политропические и изоэнтальпические (адиабатические) процессы. В теплый период года в камере орошения воздух чаще охлаждается и осушается за счет использования холодной воды с температурой ниже температуры точки росы. В холодный период года в камере орошения воздух обычно увлажняется в изоэнтальпическом режиме. Эффективная обработка воздуха в камере орошения, как правило, достигается при относительно больших величинах коэффициента орошения  $B$ , который равен отношению массовых расходов разбрызгиваемой воды и обрабатываемого воздуха.

Прямое изоэнтальпическое охлаждение воздуха применяют в системах кондиционирования воздуха (СКВ) в теплый период для районов с сухим и жарким климатом.

Для изоэнтальпического охлаждения воздух направляют в камеру орошения, работающую на рециркуляционной воде. Получение необходимых параметров воздуха ( $t, \varphi$ ) обеспечивает применение регулируемого процесса в камере охлаждения или схемы с байпасированием воздуха.

При регулируемом процессе заданная влажность воздуха на выходе из камеры орошения достигается изменением количества воды, подаваемой в дождевое пространство, и применением форсунок, обеспечивающих необходимое распыление воды в широком диапазоне изменения давления перед ними.

В схемах с байпасированием в оросительное пространство подается часть общего расхода наружного воздуха, в то время как другая его часть проходит по обводному (байпасному) каналу без обработки, после чего происходит их смешивание. Схемы обработки воздуха на  $i-d$ -диаграмме показаны на рис. 1 и 2.

При регулируемом процессе предлагается следующий порядок графического построения на  $i-d$ -диаграмме (рис. 1):

- а) нахождение точек  $H$  и  $B$ , характеризующих состояние наружного и внутреннего воздуха;
- б) определение положения т.  $O$  (то есть состояния воздуха на выходе из оросительной камеры). Для этого проводят вспомогательное построение. От т.  $B$  вниз по линии  $d_B = \text{const}$  откладывают отрезок  $BB'$ , соответствующий  $(1...1,5)^\circ\text{C}$ . Через т.  $B'$  проводят прямую, параллельную лучу процесса в помещении (в соответствии с величиной углового коэффициента  $E_{\text{пом}}$ ) до пересечения с линией  $i_B = \text{const}$  в точке  $O$ .
- в) определение положения т.  $\Pi$  (то есть состояния приточного воздуха). Через т.  $O$  по линии  $d_O = \text{const}$  вверх откладывают отрезок, равный  $(1...1,5)^\circ\text{C}$  (такой же, как и отрезок  $BB'$ ), получая при этом т.  $\Pi$ .
- г) определение положения т.  $У$  (то есть состояния воздуха, уходящего из помещения). Она находится на пересечении линии  $e_{\text{пом}}$  с изотермой  $t_U$ .

На рис. 1 линии изменения состояния влажного воздуха соответствуют следующим процессам:

Отрезок  $ПВУ$  – процесс изменения состояния воздуха в помещении;

Отрезок  $HO$  – процесс изоэнтальпийного охлаждения (увлажнения) воздуха в камере орошения;

Отрезок  $OP$  – процесс нагрева воздуха в вентиляторе.

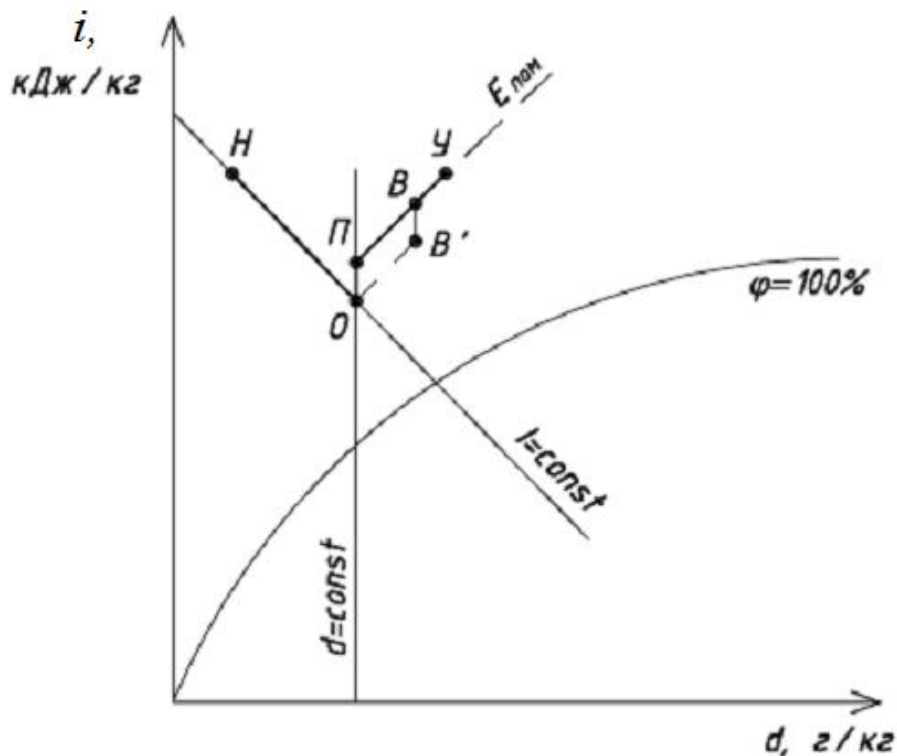


Рис. 1. Схемы прямого изоэнтальпийного охлаждения воздуха с применением регулируемого процесса

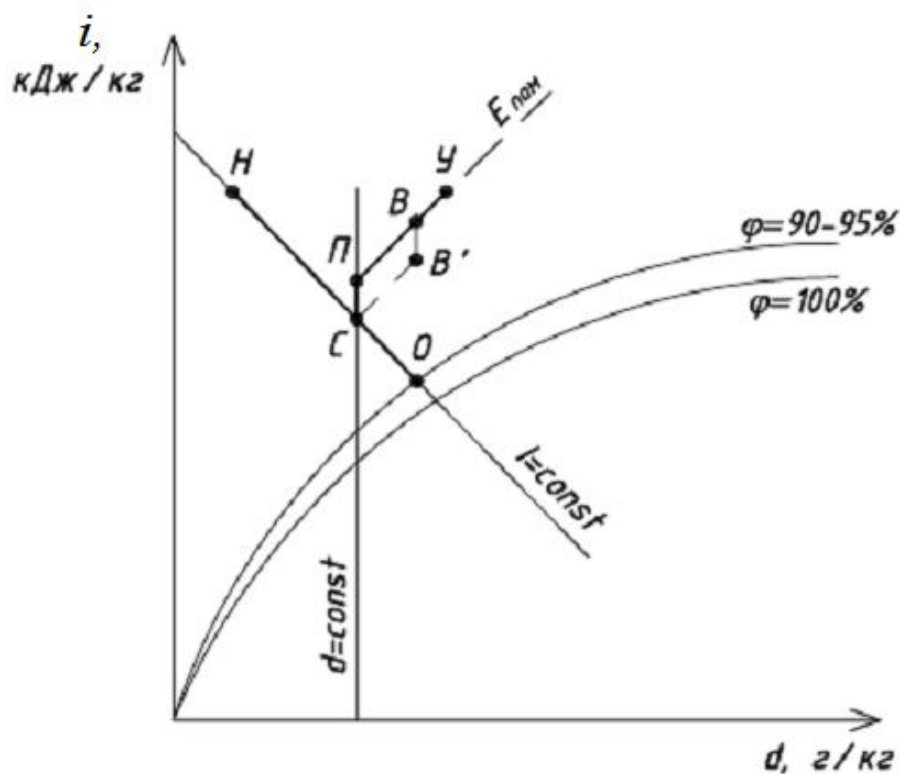


Рис. 2. Схемы прямого изоэнтальпийного охлаждения воздуха с применением байпасирования воздуха

При байпасировании части наружного воздуха порядок построения процесса на  $i-d$ -диаграмме следующий (рис. 2):

а) нахождение точек  $H$  и  $B$ ;

б) определение положения т.О. Она находится на пересечении изоэнтальпии  $i_H$  с линией  $\varphi = 90\%$  (характеризует состояние воздуха на выходе из камеры охлаждения);

в) определение положения т.С (то есть состояния воздуха после смешения наружного (байпасированного) воздуха с воздухом из оросительной камеры. Для этого от т.В вниз по линии  $d_B = \text{const}$  откладывают отрезок  $BB'$ , соответствующий  $1 \dots 1,5$  °С. Через т.В' проводят прямую, параллельную лучу процесса в помещении (в соответствии с  $E_{ПOM}$ ), до пересечения с линией  $i = \text{const}$  в т.С;

г) определение т.П (то есть состояния приточного воздуха). Через т.С по линии  $d_C = \text{const}$  вверх откладывают отрезок  $1 \dots 1,5$  °С, получая при этом т.П;

д) определение положения т.У (то есть состояния воздуха, удаляемого из помещения). Она находится на пересечении линии  $e_{ПOM}$  с изотермой  $t_U$ .

На рис. 2 линии изменения состояния влажного воздуха соответствуют следующим процессам:

Отрезок  $HO$  – процесс смешения наружного воздуха с воздухом из оросительной камеры;

Отрезок  $СП$  – процесс нагрева воздуха в вентиляторе;

Отрезок  $ПВУ$  – процесс изменения параметров воздуха в помещении.

Поскольку в ходе взаимодействия с воздухом вода может изменять свое состояние, реальный процесс изменения состояния воздуха может несколько отклоняться от первоначального направления. Из-за ограниченной поверхности и времени контакта между воздухом и водой реальные процессы являются незавершенными, на  $i-d$  диаграмме конечное состояние воздуха не достигает линии насыщения ( $\varphi = 100\%$ ).

В инженерных методах расчета камер орошения используются коэффициенты эффективности, которые характеризуют степень завершенности процессов: для политропического процесса  $E$ , для адиабатического  $E_A$ , универсальный коэффициент  $E'$ .

Считается, что коэффициенты эффективности зависят от массовой скорости воздуха и коэффициента орошения.

## 2. Описание лабораторной установки

Схема экспериментального стенда показана на рис. 3

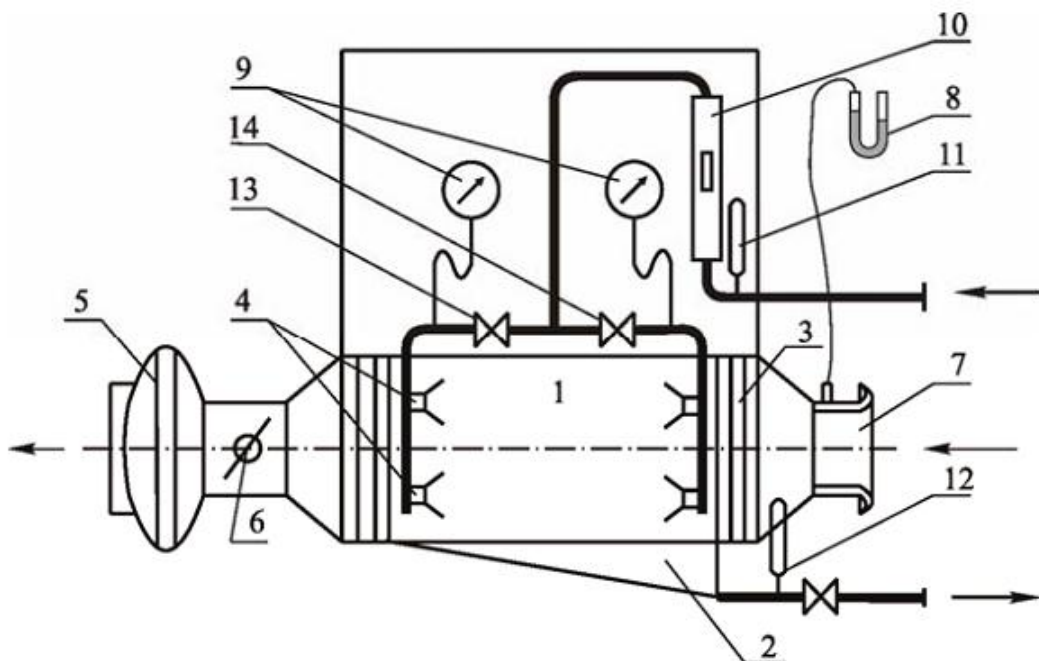


Рис. 3. Схема лабораторного стенда с камерой орошения:

1 – камера орошения; 2 – поддон; 3 – пластины сепараторов; 4 – форсунки ШФ9/5;

5 – вентилятор; 6 – дроссель-клапан; 7 – коллектор; 8 – микроманометр;

9 – манометры; 10 – ротаметр; 11, 12 – термометры; 13, 14 – вентили

Установка состоит из камеры орошения 1 с поддоном 2. На входе и выходе воздуха в камеру установлены сепараторы 3, улавливающие капли воды и равномерно распределяющие воздух по сечению камеры. Для регулирования расхода воздуха на всасывающей линии вентилятора 5 установлен дроссель-клапан 6. Определение расхода воздуха производится по показаниям микроманометра 8, присоединенного к штуцеру на коллекторе с плавным входом 7.

Включение подачи воды в стояки с форсунками выполняется с помощью вентилей 13, 14. Расход разбрызгиваемой воды определяется по показаниям ротаметра 10. Для определения температур воды до и после взаимодействия с воздухом на входе и выходе из камеры орошения установлены термометры 11, 12. Параметры воздуха до и после обработки в камере орошения определяются по показаниям психрометра.

### 3. Порядок проведения работы

Исследуется несколько режимов работы камеры орошения. После включения вентилятора подают воду в форсунки первого или второго или двух рядов. С помощью дроссель - клапана 6 регулируют расход воздуха (устанавливают желаемую величину коэффициента орошения  $B$ ) и производят замеры, результаты которых заносят в таблицу 1.

Количество обрабатываемого воздуха  $G$  (кг/ч) находится в зависимости от измеряемого микроманометром динамического давления  $P_D$  (Па) по формуле:

$$G = 3600 \cdot \rho \cdot F \cdot 1,29 \sqrt{P_D} \quad (1)$$

где  $\rho$  – плотность воздуха,  $\rho = 1,2$  кг/м<sup>3</sup>;

$F$  – площадь поперечного сечения коллектора, м<sup>2</sup>.

Таблица 1

№ опыта	Динамическое давление $P_D$ , Па	Расход воздуха, $G$ , кг/ч	Показания ротаметра, %	Расход воды, $G_{в}$ , кг/ч	Начальн. температура		Конечн. температура		Начальные параметры воздуха			Конечные параметры воздуха		
					воздуха, $t_1$ , °C	воздуха по мокрому термом. $t_{м1}$ , °C	воздуха, $t_2$ , °C	воздуха по мокрому термом. $t_{м2}$ , °C	$I_1$ , кДж/кг	$d_1$ , г/кг	$\varphi_1$ , %	$I_2$ , кДж/кг	$d_2$ , г/кг	$\varphi_2$ , %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

Температ. воды		Энтальпия воды		Охлажд. мощность камеры $Q_{охл}$ , кДж/ч	Кол-во конденсир. воды $W$ , г/ч	Коэффициент орошения $B$ , кг/кг	Коэффициент эффективн. теплообмена			Примечания
начальная $t_{w1}$ , °C	конечная $t_{w2}$ , °C	начальная $I_{w1}$ , кДж/кг	конечная $I_{w2}$ , кДж/кг				полного $E$	универсальн. $E'$	адиабатич. $E_a$	
16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26

Расход воды, разбрызгиваемой форсунками, определяется по положению поплавка на шкале ротаметра, (%), с помощью тарировочного графика, типичный вид которого показан на рис. 4.

Психрометром Ассмана замеряются начальные температуры воздуха по сухому и мокрому термометрам  $t_1$ ,  $t_{M1}$ , а также параметры воздуха после обработки в камере орошения – конечные  $t_2$ ,  $t_{M2}$ .

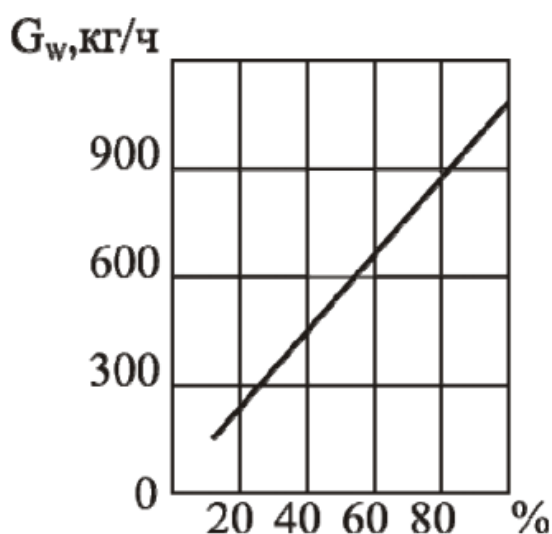


Рис. 4. Тарировочный график ротаметра

На  $i-d$  диаграмму наносятся точки 1 и 2, соответствующие начальному и конечному состоянию воздуха и находятся все остальные параметры ( $i$ ,  $d$ ,  $\varphi$ ). По показаниям термометров 11 и 12 находят начальную  $t_{w1}$  и конечную  $t_{w2}$  температуры воды. Параметры состояния воды также наносятся на  $i-d$  диаграмму на кривую насыщения.

Затем рассчитываются следующие величины, характеризующие процесс обработки в камере орошения:

- 1) Охлаждающая мощность камеры (кДж/ч)

$$Q_{охл} = G(I_1 - I_2) \quad (2)$$

- 2) Количество конденсирующейся (или испаряющейся) воды (г/ч):

$$W = G(d_1 - d_2) \quad (3)$$

3) Коэффициент орошения:

$$B = \frac{G_w}{G} \quad (4)$$

4) Коэффициенты эффективности:

а) полного теплообмена:

$$E = 1 - \left( \frac{t_{m2} - t_{w2}}{t_{m1} - t_{w1}} \right) \quad (5)$$

б) универсальный:

$$E' = 1 - \left( \frac{t_2 - t_{m2}}{t_1 - t_{m1}} \right) \quad (6)$$

в) коэффициент эффективности адиабатического (изоэнтальпического) процесса при  $I_1 \approx I_2$ :

$$E_a = 1 - \left( \frac{t_2 - t_{m1}}{t_1 - t_{m1}} \right) \quad (7)$$

5) Проверятся приближенный тепловой баланс камеры орошения:

$$G(I_1 - I_2) \approx G_w c_w (t_{w2} - t_{w1}) \quad (8)$$

где  $c_w$  – теплоемкость воды,  $c_w = 4,19$  кДж/(кг·К).

При выполнении работы баланс должен выполняться с погрешностью не более 15%.

Процессы обработки строятся на  $i-d$  диаграмме. Результаты расчетов заносятся в таблицу 1. После выполнения работы делаются выводы об эффективности работы камеры в исследованных режимах.

## 5. Контрольные вопросы

- 1) Что такое влажный воздух и, какими параметрами его характеризуют?
- 2) Для чего производят увлажнение воздуха?
- 3) Какие бывают способы увлажнения воздуха?
- 4) Какие показатели характеризуют завершенность процессов увлажнения воздуха?
- 5) Чем определяется эффективность камер орошения?