

Лабораторная работа

ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ ВЛАЖНОГО ВОЗДУХА

1. Цель работы

Изучение характеристик влажного воздуха и процессов, происходящих во влажном воздухе.

2. Задачи работы

Определение характеристик состояния влажного воздуха по температурам «сухого» и «мокрого» термометров. Исследование изменения характеристик влажного воздуха в процессах подогрева воздуха и испарения влаги. Изучение процессов в диаграмме $h-d$.

3. Теоретические положения

Воздух, не содержащий водяного пара, называется сухим; если же в его состав входит водяной пар, то воздух называется влажным. Таким образом, влажный воздух можно рассматривать как смесь сухого воздуха и водяного пара.

Влажный воздух обычно рассматривают при атмосферном давлении (сушильные установки, вентиляционные системы, установки кондиционирования воздуха и т. д.), поэтому водяной пар, содержащийся в нем, можно с достаточной точностью считать идеальным газом. В таком случае к влажному воздуху можно применить закон Дальтона, т. е. давление P влажного воздуха равно:

$$P = P_B + P_{II}, \quad (1)$$

где P_B – парциальное давление сухого воздуха, Па;

P_{II} – парциальное давление водяного пара, Па.

Влажный воздух при данном давлении и температуре может содержать разное количество водяного пара.

Насыщенным называют влажный воздух, состоящий из сухого воздуха и насыщенного водяного пара. В этом случае во влажном воздухе находится максимально возможное для данной температуры количество водяного пара. При охлаждении этого воздуха, будет происходить конденсация водяного пара. Парциальное давление водяного пара в этой смеси равно давлению насыщения P_H при данной температуре t_H .

Ненасыщенным называется влажный воздух, содержащий при данной температуре водяной пар в перегретом состоянии. Так как в нем находится не максимально возможное для данной температуры количество водяного пара, то он способен к дальнейшему увлажнению. Поэтому такой воздух используют в качестве сушильного агента в различных сушильных установках.

Абсолютной влажностью воздуха называется масса водяных паров, находящихся в 1 м^3 влажного воздуха. Абсолютная влажность равна плотности пара при его парциальном давлении и температуре воздуха – t_H .

Отношение действительного содержания водяного пара в 1 м^3 влажного воздуха γ_{II} к максимально возможному его содержанию в том же объеме влажного воздуха γ_{MAX} при данной температуре называется относительной влажностью воздуха и обозначается φ [2]:

$$\varphi = \frac{\gamma_{II}}{\gamma_{MAX}} 100\% \quad (2.)$$

Одной из основных характеристик влажного воздуха является его влагосодержание d , представляющее собой количество влаги m_{II} (пара) в граммах, приходящееся на 1 кг сухого воздуха в смеси m_B , т.е.:

$$d = \frac{m_{II} \cdot 10^3}{m_B} = \frac{\rho_{II} \cdot 10^3}{\rho_B} \quad (3.)$$

где ρ_{II} – плотность пара, содержащегося во влажном воздухе, кг/м³;

ρ_B – плотность сухого воздуха, кг/м³.

Энтальпию влажного воздуха h_{BB} , так же как и влагосодержание, принято относить к 1 кг сухого воздуха, т. е. к $(1 + d)$ кг влажного воздуха. Поэтому:

$$h_{BB} = h_{CB} + h_{II} \cdot d \cdot 10^{-3}, \text{ кДж/кг} \quad ()$$

где h_{CB} – энтальпия сухого воздуха, кДж/кг;

h_{II} – энтальпия пара, кДж/кг;

d – влагосодержание влажного воздуха, г/кг.

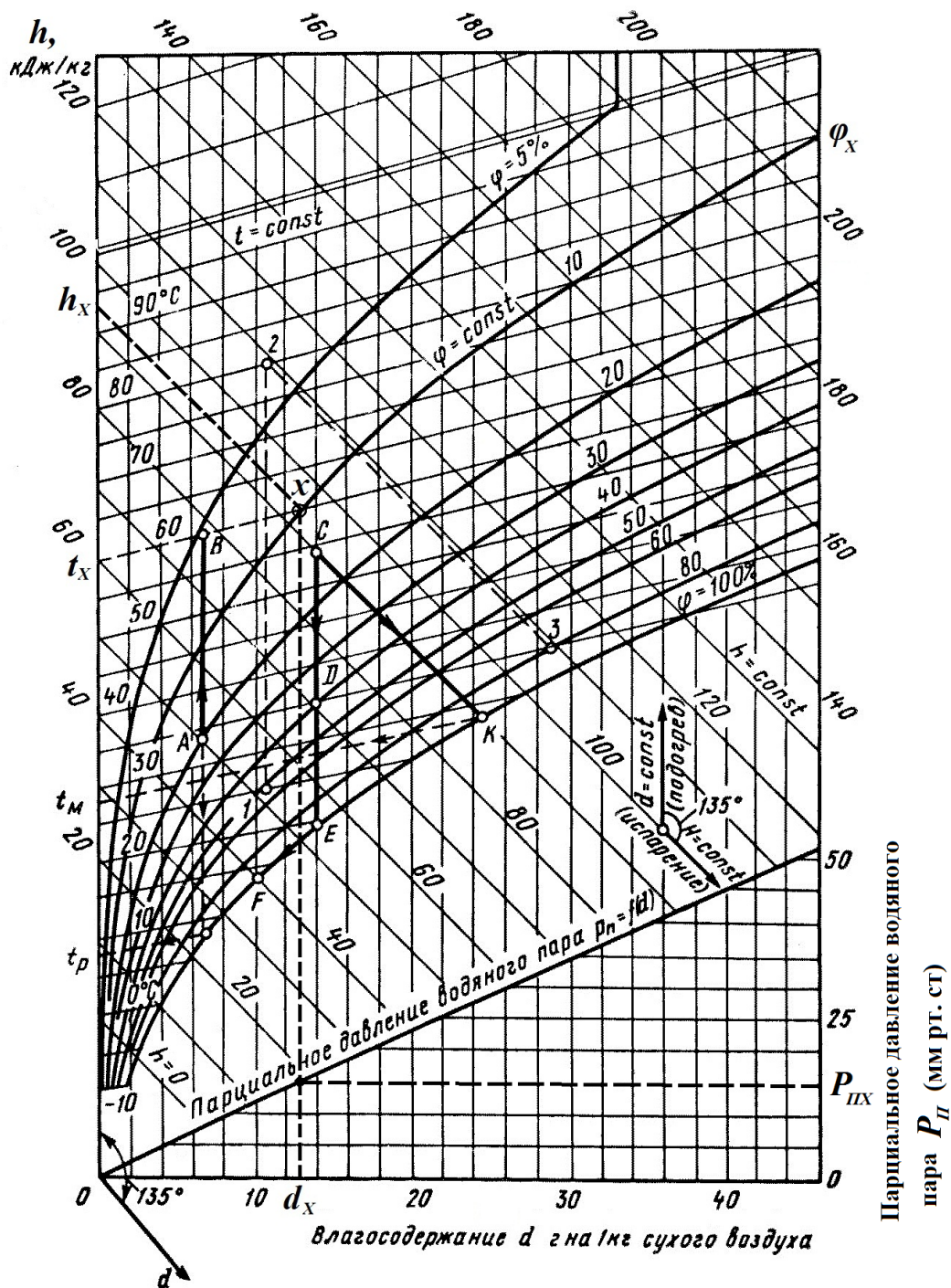


Рис. 1. h - d -диаграмма влажного воздуха

Параметры влажного воздуха, легко определяются графическим путем при помощи $h-d$ -диаграммы влажного воздуха, предложенной в 1918 г. Л.К. Рамзиным (рис. 1). В ней по оси абсцисс откладывается влагосодержание влажного воздуха d в г/кг, а по оси ординат – энтальпия h в кДж/кг. И то, и другое отнесено к 1 кг сухого воздуха, содержащегося во влажном воздухе.

Для удобства расположения линий на диаграмме координатные оси проведены под углом 135° и значения d снесены на горизонталь. На диаграмме $h-d$ нанесены линии $t = \text{const}$, $\varphi = \text{const}$ и представлена в графической форме зависимость $P_{II} = f(d)$, причем значения парциального давления P_{II} (мм рт. ст.) отложены справа на оси ординат. Кривая $\varphi = 100\%$ на диаграмме $h-d$ является своего рода пограничной линией, кривой насыщения. Вся область диаграммы над этой кривой соответствует влажному ненасыщенному воздуху (для различных значений φ). Область, лежащая под кривой $\varphi = 100\%$, характеризует состояние воздуха, насыщенного водяным паром.

Для работы с диаграммой должны быть известны минимум два параметра, например температура воздуха t и относительная влажность φ или энтальпия h и влагосодержание d . Допустим нам известно, что температура воздуха равна $t_X = 60^\circ\text{C}$ и относительная влажность равна $\varphi_X = 10\%$. Находим точку пересечения линии соответствующей температуре 60°C и линии относительной влажности 10% (точка x на $h-d$ -диаграмме). Из полученной точки опускаем вертикальную штриховую линию вниз до пересечения с осью абсцисс и получим искомое влагосодержание $d_X = 13$ г/кг. Далее находим точку пересечения вертикальной штриховой линии с линией $P_{II} = f(d)$ и от полученной точки ведем горизонтальную линию вправо до оси ординат и получим искомое парциальное давление водяного пара $P_{IIx} = 15$ мм рт. ст.

Затем снова из точки 1 проводим наклонную линию параллельно линиям энтальпий до пересечения с осью ординат и получим искомую энтальпию $h_X = 94$ кДж/кг.

4. Описание лабораторной установки

Опытная установка представляет собой макет простейшей сушильной установки (рис. 2) и включает осевой вентилятор с двигателем 1, электроподогреватель 2, сушильную камеру 3 и соединительные воздухопроводы. В трех характерных точках установлены психрометры: до подогревателя, после подогревателя до сушильной камеры и после сушильной камеры.

Психрометр прибор для измерения влажности воздуха и его температуры. Состоит из двух термометров — сухого и смоченного. Сухой термометр показывает температуру воздуха, а смоченный термометр обернут хлопчатобумажной тканью, которая погружена в сосуд с водой. Он показывает свою собственную температуру, зависящую от интенсивности испарения воды, происходящего с поверхности сосуда. Благодаря протекающему воздушному потоку и, вследствие этого, испарению, поверхность увлажнённого термометра охлаждается. Одновременно измеряется температура окружающего воздуха с помощью второго сухого термометра.

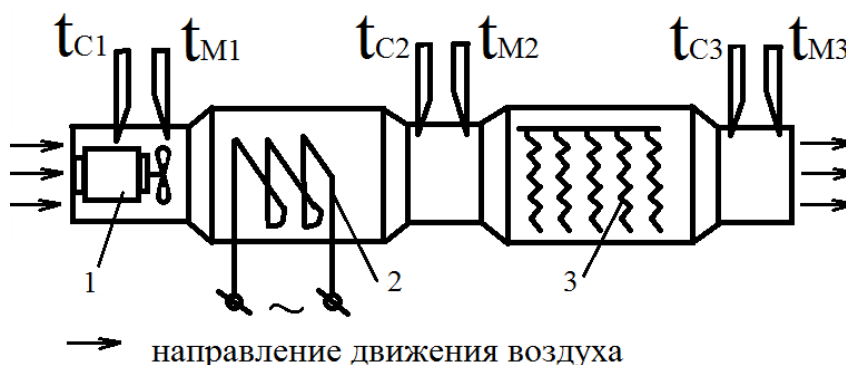


Рис. 2. Схема установки для изучения свойств влажного воздуха
1 – вентилятор с двигателем, 2 – электроподогреватель, 3 – сушильная камера;
 t_C и t_M – соответственно показания сухого и мокрого термометров

Вследствие расхода теплоты на испарение показания смоченного термометра тем ниже, чем суше воздух, влажность которого измеряется. Полученная таким образом разность температур является мерой находящейся в воздухе относительной влажности.

По показаниям сухого и смоченного термометров по специальным психрометрическим таблицам или психрометрическому графику, номограммам или с помощью счётных линеек, рассчитанных по психрометрической формуле, определяется упругость водяного пара или относительная влажность.

5. Порядок выполнения работы

5.1. Включить установку и произвести замеры температуры в точках 1, 2 и 3. Результаты измерений занести в таблицу опытных данных (табл. 1). Произвести не менее трех опытов для каждой указанной точки.

5.2. По психрометрической таблице (см. приложение) для каждой точки определить относительную влажность воздуха $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$ (%).

5.3. По $h-d$ -диаграмме влажного воздуха (Рис. 1) для каждой точки определить:

а) влагосодержание d_1, d_2, d_3 (г/кг);

б) энтальпию h_1, h_2, h_3 (кДж/кг);

в) парциальное давление водяных паров $P_{П1}, P_{П2}, P_{П3}$ (мм рт. ст.).

*При определении параметров d, h и $P_{П}$ использовать температуру сухого воздуха t_C .

5.4. Определить как изменяются влагосодержание, энтальпия и парциальное давление водяных паров:

а) в процессе подогрева воздуха $\Delta d_{12}, \Delta h_{12}, \Delta P_{П12}$.

б) в процессе испарения влаги $\Delta d_{23}, \Delta h_{23}, \Delta P_{П23}$.

6. Оформление отчета

Отчет должен включать схему установки, таблицу опытных данных, результаты расчетов и изображение процессов в диаграмме $h-d$.

Таблица 1

Таблица опытных данных

№ опыта	Точка 1					Точка 2					Точка 3				
	t_{C1}	t_{M1}	φ_1	d_1	h_1	t_{C2}	t_{M2}	φ_2	d_2	h_2	t_{C3}	t_{M3}	φ_3	d_3	h_3
	°С	°С	%	г/кг	кДж/кг	°С	°С	%	г/кг	кДж/кг	°С	°С	%	г/кг	кДж/кг
1															
2															
3															
Средние значения															

7. Контрольные вопросы

- 1) Что называют влажным воздухом
- 2) Что называют абсолютной влажностью воздуха.
- 3) Для чего нужен психрометр. Рассказать принцип работы психрометра.
- 4) Что такое относительная влажность воздуха

Психрометрическая таблица:
зависимость относительной влажности воздуха от показаний сухого и мокрого термометров

t_c	Разность показаний сухого и мокрого термометров $\Delta t = t_c - t_m, ^\circ\text{C}$									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Относительная влажность воздуха $\varphi, \%$									
0	81	64	50	36	26	16	7	-	-	-
1	82	66	52	39	29	19	11	-	-	-
2	83	67	64	42	31	23	14	-	-	-
3	83	69	56	44	34	36	17	10	-	-
4	84	70	57	46	36	28	20	14	-	-
5	85	71	59	48	39	30	23	17		-
6	85	72	61	50	41	33	26	19	13	-
7	86	73	62	52	43	35	28	22	15	11
8	86	74	63	54	45	37	30	25	18	14
9	86	75	65	55	47	39	32	27	21	17
10	87	76	66	57	48	41	34	28	23	19
11	88	77	67	58	50	43	36	30	25	20
12	88	78	68	59	52	44	38	32	27	22
13	88	78	69	61	53	46	40	34	29	24
14	89	79	70	62	54	47	41	36	31	26
15	89	80	71	63	55	49	43	37	33	28
16	90	80	72	64	57	50	44	39	34	30
17	90	81	73	65	58	52	46	40	36	31
18	90	81	74	66	59	53	47	42	37	33
19	91	82	74	66	60	54	48	43	39	34
20	91	82	75	67	61	55	49	44	40	36
21	91	83	75	68	62	56	51	46	41	37
22	91	83	76	69	63	57	52	47	42	38
23	91	83	76	69	63	58	53	48	46	39
24	92	84	77	70	64	59	53	49	44	40
25	92	84	77	70	65	59	54	50	45	42
26	92	85	78	71	65	60	55	51	46	43
27	92	85	78	72	66	61	56	51	47	43
28	92	85	79	72	67	61	57	52	48	45
29	92	85	79	73	67	62	57	53	49	46
30	93	86	79	73	68	63	58	55	51	47
31	93	85	80	74	69	64	59	55	51	48
32	93	87	80	75	70	65	60	56	53	48
33	93	86	80	75	70	66	61	57	53	49
34	93	86	81	76	71	66	62	57	54	50
35	93	87	81	76	71	67	62	58	55	51
36	93	87	82	77	72	67	63	59	55	51
37	93	87	82	77	72	68	63	59	55	52
38	94	88	82	77	73	68	64	59	56	52
39	94	88	82	77	73	69	64	59	56	53
40	94	88	82	78	73	68	64	60	57	54
41	94	88	83	78	73	68	65	61	58	54
42	94	88	83	78	73	69	65	61	58	55
43	94	88	83	78	73	69	65	62	58	55
44	94	89	83	78	74	70	66	63	59	55
45	94	88	84	78	75	70	66	63	59	56

Задание для лабораторной работы

«ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ ВЛАЖНОГО ВОЗДУХА»

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$t_M, ^\circ\text{C}$	65	65	45			42						105	65		
$\varphi, \%$	15			25			65	50	15		35			5	
$h, \text{кДж/кг}$		85			120				130	90			180		75
$d, \text{г/кг возд.}$			18			36	8	22				42		15	
$P_{II}, \text{мм рт. ст.}$				10	35					25	30				5

Используя h - d -диаграмму влажного воздуха определить недостающие параметры.