

Министерство образования и науки РФ  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Утверждаю  
зав. кафедрой общей и  
экспериментальной физики  
\_\_\_\_\_ В. П. Демкин  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2015 г.

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛАЖНОСТИ ВОЗДУХА  
АСПИРАЦИОННЫМ ПСИХРОМЕТРОМ АССМАНА**

Методические указания  
для выполнения лабораторной работы

Томск – 2015

РАССМОТРЕНО И УТВЕРЖДЕНО методической комиссией  
физического факультет

Протокол № \_\_\_\_ от « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2015 г.

Председатель комиссии



В. М. Вымятнин

В работе рассматриваются понятия насыщенного и ненасыщенного пара, абсолютной и относительной влажности воздуха. Дается описание психрометра и способы определения относительной влажности воздуха.

Методические указания рассчитаны на студентов нефизических специальностей очной и заочной форм обучения.

Составители: доц. Н.А. Александров  
Н.И. Иванова

Томский государственный университет, 2015

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛАЖНОСТИ ВОЗДУХА АСПИРАЦИОННЫМ ПСИХРОМЕТРОМ АССМАНА

**Цель работы:** изучить понятия насыщенного и ненасыщенного пара; абсолютной и относительной влажности воздуха и метод определения влажности воздуха психрометром.

### ИСПАРЕНИЕ КОНДЕНСАЦИЯ

**Испарением** называется *процесс парообразования, происходящий со свободной поверхности жидкости*. Испарение происходит при любой температуре и увеличивается при её повышении. Испарение объясняется вылетом из поверхностного слоя жидкости молекул обладающих наибольшей скоростью и кинетической энергией, так что в результате испарения жидкость охлаждается. Испаряющиеся из жидкости молекулы образуют над ней пар. Скорость испарения, то есть количество жидкости, переходящей в пар за 1 секунду, зависит от внешнего давления и движения пара над свободной поверхностью жидкости.

В результате хаотического движения часть молекул возвращается на поверхность жидкости, втягивается в неё силами притяжения. *Переход вещества из газообразного состояния в жидкое* называется **конденсацией пара**.

Когда число молекул пара, конденсирующихся за определенный промежуток времени, становится равным числу молекул жидкости, испаряющихся с её поверхности за то же время, между процессами конденсации и испарения устанавливается *термодинамическое равновесие*.

### НАСЫЩЕННЫЙ И НЕНАСЫЩЕННЫЙ ПАР

В атмосфере всегда содержится водяной пар, его главные источники– испарение с поверхности океанов, морей, водоемов, влажной почвы и растений. Под влиянием различных процессов водяной пар конденсируется, образуя туманы, облака, осадки, росу, иней и т.д. В атмосфере в среднем содержится  $1,24 \cdot 10^{16}$  кг водяного

пара, то есть сконденсировавшись, он мог бы образовать «слой осажденной воды» толщиной  $2,4\text{ см}$ . Количество водяного пара в атмосфере быстро убывает с понижением температуры. Поэтому для атмосферы типично уменьшение количества водяного пара от экватора к полюсам и очень быстрое его уменьшение по мере увеличения высоты над землей. Наличие водяного пара в атмосфере оценивается характеристиками влажности воздуха, знание которых необходимо в различных областях: в сельском хозяйстве, быту, исследовательской работе, медицине и др. Стоит отметить, что избыточная или недостаточная влажность воздуха неблагоприятно влияют на состояние человека. Приемлемой считается влажность при  $20^\circ\text{C}$  порядка  $30\text{--}40\%$ .

Водяной пар может быть насыщенным и ненасыщенным в зависимости от температуры и давления окружающей среды. Если при испарении из жидкости в пар переходит больше молекул, чем из пара в жидкость, тогда говорят, что пар над жидкостью **ненасыщенный**. **Насыщенным паром** называют пар, *находящийся в термодинамическом равновесии* с жидкостью, из которой он образуется. Чем больше водяных паров находится в единице объема, тем ближе пар к насыщению при прочих равных условиях. Так как давление насыщенного пара пропорционально концентрации его молекул, то при данной температуре давление пара большим быть не может: давление насыщенного пара при данной температуре – максимальное давление, которое может иметь пар над жидкостью при этой температуре.

Реально пар в атмосфере является ненасыщенным из-за нарушения равновесия процессов испарения и конденсации.

Экспериментально установлено, что физические свойства водяного пара практически близки к идеальному газу. Поэтому состояние водяного пара можно описывать уравнением Клапейрона-Менделеева:

$$PV = \frac{m}{\mu} RT,$$

из которого следует, что масса  $m$  водяного пара в объеме  $V$  тем больше, чем ближе к насыщению, чем выше давление  $P$  и ниже температура  $T$ :

$$a = \frac{m}{V} = \frac{\mu P}{RT}$$

Эта величина – масса водяного пара в единице объема является одной из характеристик влажности воздуха.

Температура, при которой пар из ненасыщенного превращается в насыщенный при  $P = const.$  называют **точкой росы**.

## **АБСОЛЮТНАЯ И ОТНОСИТЕЛЬНАЯ ВЛАЖНОСТЬ ВОЗДУХА**

**Абсолютной влажностью и называют массу водяного пара, находящегося в  $1 \text{ м}^3$  при данной температуре  $a = m/V$ .** Единицей измерения абсолютной влажности является та же единица, что и для плотности –  $\text{кг}/\text{м}^3$ . Как видно из уравнения Клапейрона – Менделеева, между абсолютной влажностью и парциальным давлением водяного пара существует пропорциональная зависимость. Поэтому абсолютная влажность может иметь размерность  $\text{мм рт ст}$  или  $\text{Па}$  ( $1 \text{ мм рт ст} = 133 \text{ Па}$ ).

**Относительной влажностью называют отношение давления водяного пара  $P$ , действительно находящегося в воздухе при данной температуре, к давлению насыщенного водяного пара  $P_n$  при той же температуре**

$$\varphi = \frac{P}{P_n} \cdot 100\% . \quad (1)$$

Эта величина выражается в %.

## **ОПИСАНИЕ ПРИБОРА**

Психрометр – прибор для измерения влажности и температуры воздуха. Принцип действия психрометра основан на

разности показаний сухого и смоченного термометров в зависимости от влажности окружающего воздуха. Наиболее удобный для исследовательской работы является аспирационный психрометр. Психрометр состоит из двух одинаковых ртутных термометров с градуированной шкалой (внешний вид прибора показан на фотографии)



Резервуар правого термометра обернут батистом и перед началом измерений смачивается чистой дистиллированной водой. В верхней части прибора расположен электрический механизм с вентилятором, предназначенным для протягивания исследуемого воздуха с постоянной скоростью через трубки, окружающие резервуары термометров (аспиратор). Резервуары термометров помещены в двойную трубчатую защиту, которая надежно предохраняет их от нагревания солнцем. Интенсивность испарения воды с поверхности резервуара смоченного термометра будет зависеть от влажности

исследуемого воздуха и его подвижности. Чем суше воздух, тем интенсивнее будет испаряться вода, а так как испарение воды связано с охлаждением тела, с которого она испаряется, то смоченный термометр будет показывать более низкую температуру, чем сухой, и эта разница показаний тем больше, чем суше воздух она и будет характеризовать влажность воздуха. Сухой термометр будет показывать температуру окружающего воздуха.

Температура смоченного термометра перестает понижаться тогда, когда потеря тепла за счет испарения  $Q_1$  будет равна притоку тепла  $Q_2$  к термометру из воздуха за тот же промежуток времени

$Q_1 = Q_2$ , то есть режим испарения будет стационарным. Из закона сохранения энергии можно получить уравнение стационарного процесса, которое связывает между собой давление водяного пара, разность температур сухого и смоченного термометров с атмосферным давлением

$$P = P_n - AP_{амм} t - t_1, \quad (2)$$

где  $P$  – давление водяного пара при температуре воздуха  $t$ ;  $P_n$  – давление насыщенного водяного пара при температуре смоченного термометра  $t_1$ ;  $A$  – психрометрическая константа, зависящая от конструкции прибора. Величина этой постоянной определяется в основном скоростью потока и находится экспериментально.

Из (2) находим выражение для определения психрометрической постоянной прибора

$$A = \frac{P_n - P}{P_{амм} t - t_1} \quad (3)$$

Из (3) следует, что психрометрическая константа прибора измеряется в  $град^{-1}$ . Значение величины  $P_n$  находят из таблицы

$P_n$   $t$  (см. приложение), а  $P$ , зная относительную влажность  $\varphi$ , вычисляют из (1).

## МЕТОДИКА РАБОТЫ

1. При помощи пипетки смочить батист, которым обернут правый термометр. Операцию следует проводить очень осторожно, чтобы вода не попала на другой термометр.
2. Включают электрический вентилятор.
3. Когда показания термометра установятся, записать в таблице значения с сухого и смоченного термометров, вентилятор при этом должен работать. При отсчете показаний термометров следует прежде отсчитать десятые доли градусов и записать их и только после этого целые значения.
4. С помощью психрометрической таблицы определить относительную влажность воздуха  $\varphi$ .
5. Определить величину относительной влажности с помощью специальной номограммы (как точка пересечения вертикальных прямых – температура сухого термометра и наклонных прямых – температура смоченного термометра).
6. Сопоставить полученные двумя методами результаты.
7. Вычислить психрометрическую константу прибора  $A$  по (3).  
Значение давления  $P_{атм}$  определить по барометру.

Т а б л и ц а 1

Показание термометров		Разность показаний	Относительная влажность, %
Сухого, $t, ^\circ\text{C}$	Смоченного, $t_1, ^\circ\text{C}$	$\Delta t = (t - t_1), ^\circ\text{C}$	



## **КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

1. В чем заключается процесс испарения? Что такое абсолютная и относительная?
2. Что такое конденсация пара?
3. Какой пар называется насыщенным?
4. Что такое абсолютная и относительная влажность воздуха?
5. Опишите устройство аспирационного психрометра.
6. Объясните способы определения относительной влажности воздуха с помощью психрометра.

## **ЛИТЕРАТУРА**

1. Физическая энциклопедия. М.: – «Советская энциклопедия», 1988, с. 285.
2. Демидченко В.И. Физика. Ростов н/Д.: – Феникс, 2008, с.203-206.

**Приложение.** ДАВЛЕНИЕ И ПЛОТНОСТЬ НАСЫЩЕННОГО ВОДЯНОГО ПАРА ПРИ РАЗНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ

$t, ^\circ\text{C}$	$P_n,$ мм рт ст	$m, \rho$ – масса пара в $1\text{ м}^3$	$t, ^\circ\text{C}$	$P_n,$ мм рт ст	$m, \rho$ – масса пара в $1\text{ м}^3$	$t, ^\circ\text{C}$	$P_n,$ мм рт ст	$m, \rho$ – масса пара в $1\text{ м}^3$
-30	0,28	0,33	0	4,58	4,84	30	31,82	30,3
-29	0,31	0,37	1	4,93	5,22	31	33,37	32,1
-28	0,35	0,41	2	5,9	5,60	32	35,66	33,9
-27	0,38	0,46	3	5,69	5,98	33	37,73	35,7
-26	0,43	0,51	4	6,10	6,40	34	39,90	37,6
-25	0,47	0,55	5	6,54	6,84	35	42,18	39,6
-24	0,52	0,6	6	7,01	7,3	36	44,56	41,8
-23	0,58	0,66	7	7,51	7,8	37	47,07	44,0
-22	0,64	0,73	8	8,05	8,3	38	49,69	46,3
-21	0,70	0,80	9	8,61	8,8	39	52,44	48,7
-20	0,77	0,88	10	9,21	9,4	40	55,32	51,2
-19	0,85	0,96	11	9,84	10,0	45	71,88	65,4
-18	0,94	1,05	12	10,52	10,7	50	92,5	83,0
-17	1,03	1,15	13	11,23	11,4	55	118,0	104,3
-16	1,13	1,27	14	11,99	12,1	60	149,4	130
-15	1,24	1,38	15	12,79	12,8	65	187,5	161
-14	1,36	1,51	16	13,63	13,6	70	233,7	198
-13	1,49	1,65	17	14,53	14,5	75	289,1	242
-12	1,63	1,80	18	15,48	15,4	80	355,1	293
-11	1,78	1,96	19	16,48	16,3	85	433,6	354
-10	1,95	2,14	20	17,54	17,3	90	525,8	424
-9	2,13	2,33	21	18,65	18,3	95	633,9	505
-8	2,32	2,54	22	19,83	19,4	100	760,0	598
-7	2,53	2,76	23	21,07	20,6			
-6	2,76	2,09	24	22,38	21,8			
-5	3,01	3,24	25	23,76	23,0			
-4	3,28	3,51	26	25,21	24,4			
-3	3,57	3,81	27	26,74	25,8			

*Издание подготовлено в авторской редакции*

Отпечатано на участке цифровой печати  
Издательского Дома Томского государственного университета

Заказ № 1319 от «30» сентября 2015 г. Тираж 100 экз.

