

Влажность воздуха

В воздухе всегда содержится водяной пар, даже при отрицательных температурах. Измеряя количество пара, мы будем получать информацию о влажности воздуха.

Чем выше температура, тем больше паров воды сможет удерживать воздух. Конечно, если добавить в воздух этот водяной пар.

Используют два показателя влажности — абсолютную и относительную влажность.

Что такое парциальное давление

Воздух — это смесь газов. Больше всего в нем содержится азота — 78 процентов. Так же, содержится кислород в виде молекул O_2 и O_3 — озона, он составляет 21 процент. Остальные **газы**, среди них инертные газы и углекислый газ, составляют 1 процент. Давление воздуха складывается из давлений каждого входящего в воздух газа.

Поясним это на простом примере. Рассмотрим ёмкость, например — обычную трёхлитровую стеклянную банку для консервации. Когда в банке нет съестных припасов, ее объем целиком занимает воздух. Давление воздуха в банке будет равно атмосферному давлению. Закупорим банку крышкой. Предположим, у нас имеется возможность отдельно отфильтровать из воздуха каждый газ.

Будем проводить такой опыт:

- . Вначале измерим давление воздуха в банке.
- . Затем, откачаем из банки все газы, кроме одного. Этот отдельно взятый газ при той же температуре занимает весь объём, который до этого занимала газовая смесь. С помощью манометра измерим давление, которое создаёт оставшийся газ. Давление оставшегося газа называется парциальным давлением.
- . Далее, вернём в банку газы, откачанные ранее.
- . После этого отфильтруем какой-либо другой газ, оставляя в банке его и, откачивая все остальные газы. Будем измерять манометром парциальное давление оставшегося газа. Проведя такой опыт несколько раз, мы получим парциальные давления всех газов, из которых состоит воздух.

Примечания:

- Парциальное от итальянского «парцио» — часть. Имеется ввиду часть чего-то целого.
- Манометр — прибор для измерения давления (ссылка).
- Тела в **газообразном состоянии** занимают весь предложенный им объём. По мере удаления газов, масса вещества в банке будет уменьшаться. Но оставшийся газ будет занимать весь объём банки, создавая давление на ее стенки. Связь общего давления и парциальных давлений всех газов смеси с помощью математики можно описать так:

$$P_{\text{общ}} = P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n$$

$P_{\text{общ}}(\text{Па})$ – давление смеси газов (общее давление);

$P_1(\text{Па})$ – парциальное давление первого газа;

$P_2(\text{Па})$ – парциальное давление второго газа;

Каждый газ создаёт свой вклад в общее давление смеси. Этот вклад называют парциальным давлением газа.

Если сложить парциальные давления всех газов, получим давление воздуха, которое мы измерили в начале эксперимента, перед тем, как начать откачивать газы из банки.

В каких единицах измеряют абсолютную влажность

Каждая **молекула** имеет массу. Чем больше молекул пара, тем больше **масса** пара в каждом кубометре воздуха.

Масса в объёме – это плотность. Поэтому, абсолютную влажность указывают с помощью плотности водяного пара.

Плотность пара связана с его парциальным давлением. Чем больше плотность пара, тем больше его парциальное давление. Поэтому, абсолютную влажность можно указывать, так же, с помощью парциального давления водяного пара.

Чем больше молекул пара в каждом кубометре воздуха, тем больше абсолютная влажность.

В каких единицах измеряют относительную влажность

Степень увлажнения воздуха зависит от того, близок или далёк водяной пар, находящийся в воздухе, от **состояния насыщения**. Если пар близок к насыщению, относительная влажность высокая. А если пар от насыщения далёк – относительная влажность низкая.

Относительную влажность принято измерять в процентах, так как относительные величины мы описываем с помощью дроби.

Важно! Измерьте сначала температуру воздуха, а затем измеряйте его относительную влажность!

Примечание: Относительная величина – значит, дробная. Процент – это дробь, у которой в знаменателе находится число 100.

Формула для вычисления относительной влажности воздуха

В числителе – плотность пара, которая имеется в момент измерения.

В знаменателе – максимальная плотность пара, соответствующая имеющейся температуре (то есть, плотность [насыщенного пара](#)).

Если плотность пара максимальная – то пар называют насыщенным. Чем выше [температура](#), тем больше максимальная плотность пара.

$$\varphi = \rho_0 / \rho_{\max}$$

φ – относительная влажность;

ρ_0 (кг/м³) – измеренная плотность водяного пара в воздухе, т. е. абсолютная влажность;

$\rho_{\max}$ (кг/м³) – максимальная плотность водяного пара в воздухе, которая может быть при измеренной температуре, т. е. плотность насыщенного пара;

Иногда формулу удобнее записывать в таком виде:

$$\rho_0 = \varphi \cdot \rho_{\max}$$

Что такое точка росы

Если охлаждать влажный воздух, то можно довести пар, находящийся в воздухе до насыщения. При этом, можно заметить, как на гладких поверхностях появится роса. Появление росы будет происходить при некоторой температуре. Такую температуру называют точкой росы.

Точка росы – это температура, при которой относительная влажность становится равна 100%. При этой температуре из воздуха [конденсируется](#) влага: выпадает роса, идет дождь, или, к примеру, запотевают стекла.

Приборы для измерения влажности

Приборы, с помощью которых можно измерять влажность, называют гигрометрами. Есть несколько типов таких приборов: волосные, конденсационные, психометрические.

Волосной гигрометр

В волосном гигрометре используют свойство волоса изменять свою длину при изменении влажности. Чем больше влажность воздуха, тем длиннее становится волос. Обычно

используют волосок из конской гривы, либо длинный человеческий волос. Один конец волоса закреплен на корпусе прибора, а другой прикрепляется к стрелке (рис. 1). По шкале прибора можно определить относительную влажность воздуха.

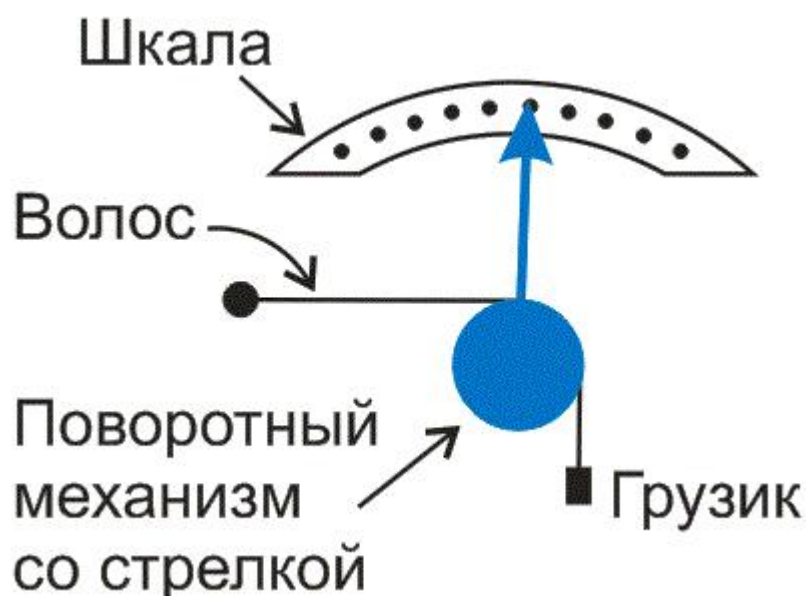


Рис. 1. Волосной гигрометр состоит из шкалы, поворотного механизма со стрелкой и волоса

Конденсационный гигрометр

Конденсационный гигрометр по точке росы помогает определить абсолютную влажность воздуха.

Сначала определяют точку росы с помощью встроенного в прибор термометра. Затем, по таблице, содержащей плотность и парциальное давление водяного пара при различных температурах, определяют абсолютную влажность воздуха.

При известной температуре воздуха и абсолютной влажности можно дополнительно вычислить относительную влажность воздуха.

Устройство конденсационного гигрометра представлено на рисунке 2.

В небольшую металлическую коробку, встроена трубка с грушей и термометр. Передняя тонкая стенка коробки отполирована, чтобы на ней удобнее было наблюдать конденсацию капелек воды. Металлическое кольцо, придающее жёсткость тонкой передней стенке, прикреплено через прокладку для теплоизоляции.

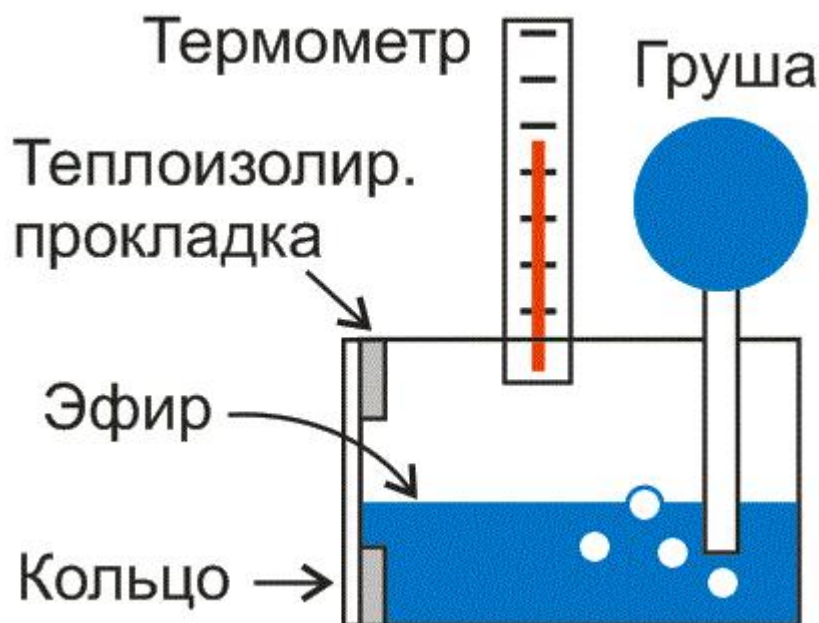


Рис. 2. Конденсационный гигрометр содержит термометр и грушу, погруженные в ёмкость с быстро испаряющейся жидкостью, ёмкость имеет полированную стенку, на которой может конденсироваться вода из воздуха

Используют прибор так: Наливают в коробку быстро испаряющуюся жидкость (спирт, эфир и т. п.), и продувают грушей воздух через коробку. Тем самым, вызывают быстрое испарение жидкости и понижение температуры в коробке. При этом на полированной передней стенке коробки появляется роса. А термометр позволяет измерить температуру, при которой роса конденсировалась. Появление росы говорит о том, что пар стал насыщенным.

Абсолютную влажность воздуха определяют по таблице, в которой содержится плотность и парциальное давление водяного пара при различных температурах.

Психрометрический гигрометр

Такой прибор для измерения относительной влажности сокращённо называют психрометром. Он состоит из двух одинаковых термометров, закреплённых на держателе (рис. 3). Нижняя часть одного из термометров погружена в небольшую ёмкость, содержащую несколько миллилитров воды. Обычно на корпус этого прибора наносят психрометрическую таблицу. Благодаря этой таблице, считав показания двух термометров, можно определить относительную влажность воздуха.

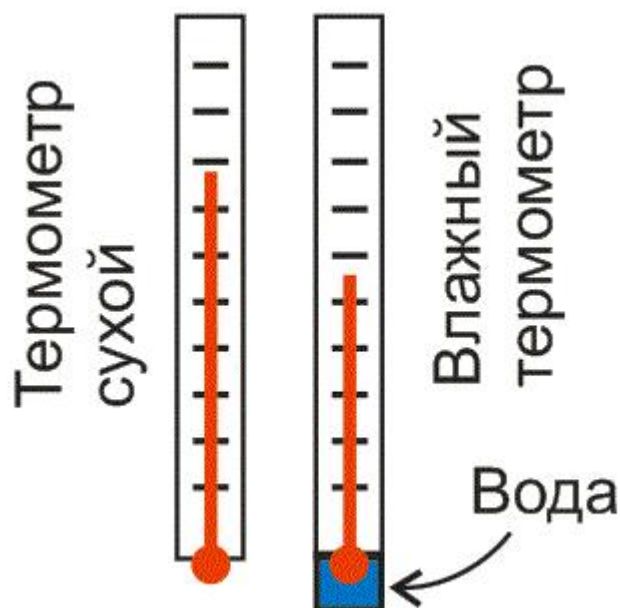


Рис. 3. Психрометрический гигрометр состоит из сухого и влажного термометров

Самодельный психрометр

Чтобы изготовить самодельный психрометр, нужно взять два одинаковых бытовых спиртовых термометра.

В нижней части каждого термометра присутствует шарик с жидкостью. Эта жидкость расширяется при возрастании температуры. Излишки жидкости из шарика поднимаются по тонкой трубке, рядом с которой нанесены деления температурной шкалы. Обычно в качестве такой жидкости используют подкрашенный спирт (спиртовой термометр), или ртуть (ртутный термометр).

Шарик одного из термометров нужно обернуть кусочком ваты, или небольшой тряпочкой, смоченной водой комнатной температуры. Этот термометр договоримся называть «влажным».

Со вторым термометром ничего делать не нужно. Этот термометр будем называть «сухим».

Расположим эти термометры неподалёку один от другого. Спустя несколько минут самодельный психрометр будет готов к измерениям влажности.

Нам известно, что температура жидкости уменьшается при испарении (ссылка). Поэтому, показания влажного термометра всегда будут меньше показаний сухого термометра. Чем суше воздух, тем больше будет разница между показаниями термометров. Потому, что в сухом воздухе скорость испарения (ссылка) воды возрастает.

Запишем показания сухого и влажного термометров. Относительную влажность воздуха можно найти с помощью психрометрической таблицы.

Что такое психрометрическая таблица

В психрометрической таблице (рис. 4. и рис. 5) содержатся значения относительной влажности воздуха. Эти значения связаны с показаниями сухого термометра и разностью показаний сухого и мокрого термометров.

Показания сухого термометра	Разность показаний сухого и влажного термометров					
	0	1	2	3	4	5
0	100	81	63	45	28	11
2	100	84	68	51	35	20
4	100	85	70	56	42	28
6	100	86	73	60	47	35
8	100	87	75	63	51	40
10	100	88	76	65	54	44
12	100	89	78	68	57	48
14	100	89	79	70	60	51
16	100	90	81	71	62	54
18	100	91	82	73	65	56
20	100	91	83	74	66	59
22	100	92	83	76	68	61
24	100	92	84	77	69	62
26	100	92	85	78	71	64
28	100	93	85	78	72	65
30	100	93	85	79	73	67

Рис. 4. Психрометрическая таблица, часть 1

Показания сухого термометра	Разность показаний сухого и влажного термометров				
	6	7	8	9	10
0	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-
4	14	-	-	-	-
6	23	10	-	-	-
8	28	18	7	-	-
10	34	24	14	5	-
12	38	29	20	11	-
14	42	34	25	17	9
16	45	37	30	22	15
18	49	41	34	27	20
20	51	44	37	30	24
22	54	47	40	34	28
24	56	49	43	37	31
26	58	51	46	40	34
28	59	53	48	42	37
30	61	55	50	44	39

Рис. 5. Психрометрическая таблица, часть 2

Наличие водяного пара в воздухе влияет на **скорость испарения**. Чем выше температура и чем меньше пара в воздухе, — тем быстрее испаряется вода, — тем больше разница между показаниями сухого и мокрого термометров.

Таблица — зависимость плотности насыщенного пара от температуры

В этой таблице (рис. 6 и рис. 7) содержатся плотность и парциальное давление водяного пара при различных значениях температуры. С помощью такой таблицы, зная абсолютную влажность и температуру воздуха, можно вычислить относительную влажность.

Абсолютную влажность воздуха обычно указывают с помощью плотности водяного пара.

Температура $t (^{\circ}\text{C})$	Давление $P \cdot 10^3 \text{ (Па)}$	Плотность $\rho \cdot 10^{-3}$ (кг/м ³)
-10	0,26	2,14
-9	0,28	2,33
-8	0,31	2,54
-7	0,34	2,76
-6	0,37	2,99
-5	0,40	3,24
-4	0,44	3,51
-3	0,48	3,81
-2	0,52	4,13
-1	0,56	4,47
0	0,61	4,84
1	0,65	5,20
2	0,71	5,60
3	0,76	6,00
4	0,81	6,40
5	0,88	6,80
6	0,93	7,30
7	1,00	7,80
8	1,06	8,30
9	1,14	8,80
10	1,23	9,40
11	1,33	10,00
12	1,40	10,70
13	1,49	11,40

Рис. 6. Плотность и парциальное давление водяного пара при различных температурах, часть 1

Температура $t (^{\circ}\text{C})$	Давление $P \cdot 10^3 \text{ (Па)}$	Плотность $\rho \cdot 10^{-3}$ (кг/м ³)
14	1,60	12,10
15	1,71	12,80
16	1,81	13,60
17	1,93	14,50
18	2,07	15,40
19	2,20	16,30
20	2,33	17,30
21	2,49	18,30
22	2,64	19,40
23	2,81	20,60
24	2,99	21,80
25	3,17	23,00
26	3,36	24,40
27	3,56	25,80
28	3,79	27,20
29	4,00	28,70
30	4,24	30,30
40	7,37	51,20
50	12,30	83,00
60	19,90	130,00
70	31,00	198,00
80	47,30	293,00
90	70,10	424,00
100	101,30	598,00

Рис. 7. Плотность и парциальное давление водяного пара при различных температурах, часть 2

Сказка о маленьком волшебнике и волшебном ведёрке

Понятие влажности воздуха легко пояснить с помощью сказки.

В некотором царстве жил да был маленький волшебник. Звали его Воздухом. И было у него волшебное ведёрко.

Волшебство заключалось в том, что размеры ведёрка зависели от температуры. Чем выше температура, тем больше становилось ведёрко, увеличиваясь в размерах.

Примечание: При такой аналогии абсолютная влажность – это количество воды, налитой в ведро. А относительная влажность – это доля, которую занимает налитая вода по отношению ко всему объёму ведёрка.

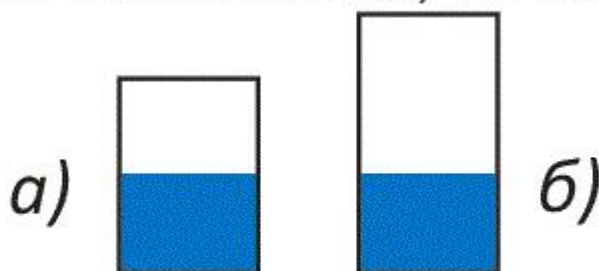
Предположим, что при некоторой температуре объем ведра — 10 литров. Налей в ведро 5 литров воды. Это половина ведра, то есть, относительная влажность составит 50%. Так как $5/10 = 0,50 = 50\%$

Количество налитой воды не изменяем, значит, масса и объем воды не изменяется.

Допустим, температура возросла. Размеры ведёрка будут увеличиваться с ростом температуры. Предположим, что ведро увеличилось настолько, что теперь его объем составляет 15 литров.

Значит, теперь относительная влажность будет равна $5/15 = 0,33 = 33\%$

Если абсолютная влажность
не изменяется, то когда



температура растёт,
относительная влажность
уменьшается

Рис. 8. С ростом температуры относительная влажность уменьшается

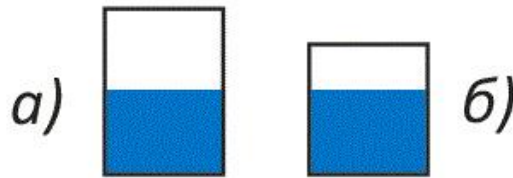
Если абсолютная влажность не изменяется, когда температура растёт, относительная влажность уменьшается.

Предположим теперь, что температура понизилась. Значит, объем (размеры) ведёрка уменьшится. Если, например, объем ведёрка уменьшится до 8 литров, то относительная влажность составит

$$5/8 = 0,625 = 62,5\%$$

То есть, абсолютная влажность не изменилась, а относительная возросла.

Если абсолютная влажность
не изменяется, то когда



температура падает,
относительная влажность
увеличивается

Рис. 9. При уменьшении температуры относительная влажность увеличивается

Если абсолютная влажность не изменяется, когда температура падает, относительная влажность растёт.

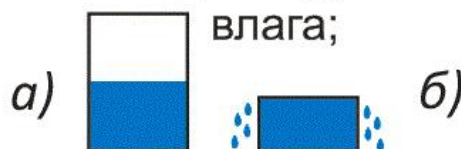
При дальнейшем понижении температуры объем ведёрка продолжит уменьшаться. При некоторой температуре может случиться так, что объем уменьшившегося ведёрка совпадёт с объёмом налитой воды.

Предположим, объем ведёрка уменьшится до 5 литров. И количество воды в ведёрке – так же, равняется 5 литрам. Относительная влажность при этом составит 100%.

$$5/5 = 1,0 = 100\%$$

Температура, при которой размеры ведёрка будут совпадать с количеством налитой воды, называется точкой росы.

Точка росы - это температура,
при которой из воздуха
конденсируется



При этой температуре
относительная влажность
равна 100%

Рис. 10. Уменьшая температуру влажного воздуха мы можем достичь насыщения пара и точки росы. Относительная влажность при этой температуре будет равна 100%

Если температура продолжит падать, волшебное ведёрко продолжит уменьшаться. Излишки воды при этом будут проливаться. Мы говорим в таких случаях: «выпадают осадки», или «идёт дождь».

Примечание: Относительная влажность не может превышать 100%. Когда относительная влажность равна 100%, излишки водяного пара из воздуха конденсируются, при этом выпадают осадки – дождь, или роса.

Для чего контролировать влажность воздуха

Измерять и контролировать уровень влажности воздуха необходимо в самых разнообразных ситуациях:

- в метеорологии — для предсказания погоды;
- в сельском хозяйстве – в оранжереях и теплицах нужно поддерживать влажность воздуха, комфортную для выращиваемых растений;
- в складских помещениях продуктовых магазинов – чтобы продукты не испортились ранее положенного срока годности;
- в автомобильных боксах – чтобы предотвратить появление коррозии на металлических поверхностях автомобилей, механизмов и запасных частей к ним;
- в жилых помещениях – комфортный уровень относительной влажности воздуха для человека находится в диапазоне от 40 до 60 процентов;
- в библиотеках и музеях – чтобы книги и ценные произведения искусства сохранить на долгие века;

Выводы

- Парциальное давление – это давление одного газа из смеси. Парциальное — от итальянского «парцио» — часть чего-то целого.
- Если сложить все парциальные давления, получим общее давление смеси газов.
- Воздух – это смесь газов. Давление воздуха — это сумма парциальных давлений всех газов, составляющих воздух.
- В воздухе даже при отрицательной температуре содержится водяной пар. Измеряя количество этого пара, мы будем измерять влажность воздуха.
- Чем выше температура, тем больше водяного пара воздух сможет удержать. Конечно, если добавить в воздух этот водяной пар.
- Выделяют два вида влажности воздуха — абсолютную и относительную.
- Абсолютную влажность указывают с помощью плотности водяного пара или же с помощью парциального давления водяного пара.
- Приборы для измерения влажности называют гигрометрами. Широко используют конденсационные, волосные и психрометрические гигрометры.
- Психрометрический гигрометр сокращённо называют психрометром.
- Самодельный психрометр можно изготовить из двух одинаковых бытовых термометров. Один термометр назовём влажным, второй — сухим.
- Относительную влажность можно определить, пользуясь психрометром и психрометрической таблицей.
- Сначала измеряем температуру воздуха, а после — относительную влажность воздуха.

. Относительная влажность – это дробная величина. Ее указывают в процентах. В числителе дроби – плотность пара, имеющегося в воздухе, в знаменателе – максимальная при этой температуре плотность пара, т. е. плотность насыщенного при этой температуре пара.

. Абсолютная и относительная влажность воздуха связаны. Зная температуру воздуха и одну из влажностей, можно определить вторую влажность (по абсолютной можно определить относительную и наоборот). Для этого используйте таблицу плотностей водяного пара при различных температурах.