



Осушение сжатого воздуха: атмосферная точка росы (DP) и точка росы давления (PDP)

Общие сведения.

Воздух всегда содержит влагу в виде водяного пара, который, конечно же, не виден. Максимальное количество воды, которое может содержаться в воздухе, зависит только от температуры воздуха и не зависит от давления. При снижении температуры, способность воздуха удерживать влагу также снижается. Содержание влаги в воздухе полностью описывается точкой росы. Она показывает, при какой температуре содержащаяся в воздухе влага будет соответствовать 100% влажности, и при какой температуре начинается конденсация.

Общие методы осушения сжатого воздуха:

- Охлаждение сжатого воздуха: понижение температуры приводит к конденсации водяного пара; последующее повторное нагревание после удаления капельной фракции приводит к недостаточному насыщению сжатого воздуха влагой

-> принцип осушки охлаждением

- Адсорбция: поглощение влаги адсорбционными материалами значительно снижает кол-во влаги в сжатом воздухе; циклическая регенерация адсорбционных материалов восстанавливает их свойства

-> принцип адсорбции

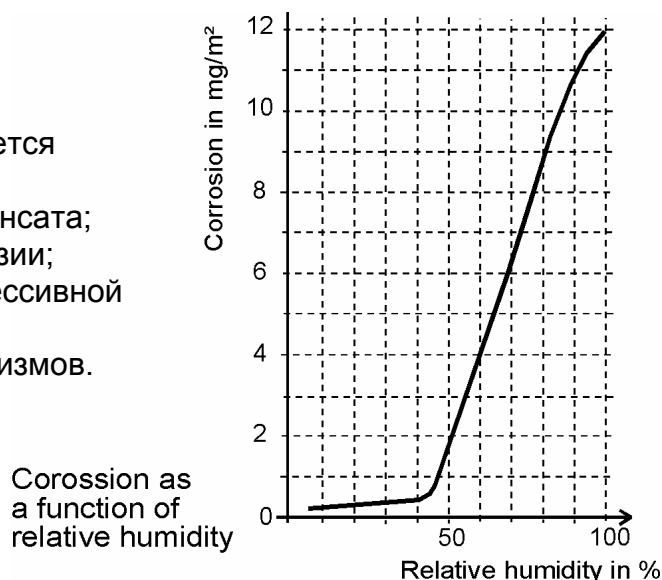
- Диффузия: перемещение водяного пара за счет выборочной проницаемости газов и разности давления в слоях мембраны с областей высокого давления в область низкого давления.

-> мембранный принцип

1. Цель осушки сжатого воздуха.

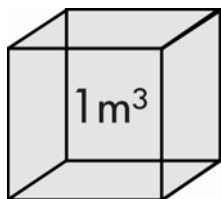
Цель осушки сжатого воздуха заключается в том, чтобы гарантировать:

- исключение образования конденсата;
- минимизацию появления коррозии;
- минимизацию воздействия агрессивной водо - масляной эмульсии;
- препятствует росту микроорганизмов.



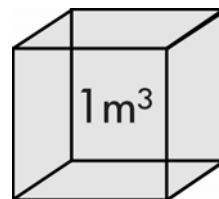
2. Оценка содержания влаги в воздухе.

- а) Способность воздуха переносить водяную влагу **не зависит от давления!**
атмосферное 7 бар (g)



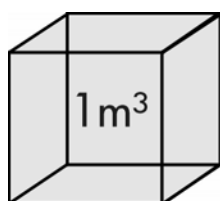
Температура 20°C

=
17.31 g / m³

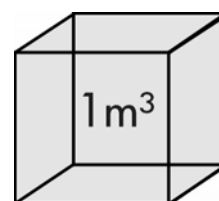


- б) Способность воздуха переносить водяную влагу **зависит от температуры!**

- 20°C (температура воздуха / сжатый воздух) + 20°C



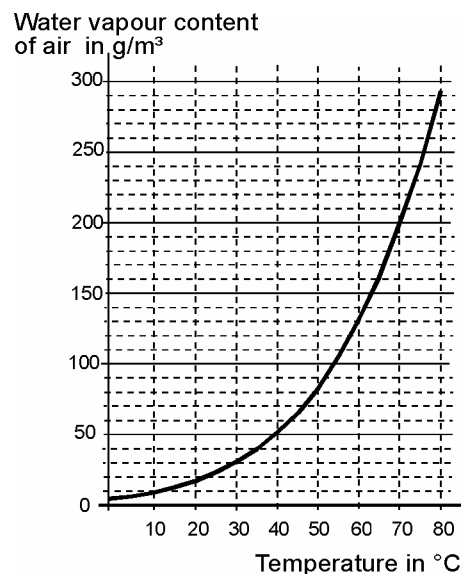
0.8835 g/m³



17.31 g / m³

(макс. способность переноса водяной влаги *)

Temperature in °C	Water vapour content in g/m³
-20	0.8835
-15	1.367
-10	2.139
-5	3.246
0	4.487
+5	6.802
+10	9.405
+15	12.84
+20	17.31
+25	23.07
+30	30.40
+35	39.65
+40	51.21
+45	65.52



*Значения в соответствии с DIN – ISO 7183

3. Точка росы и точка росы под давлением.

Оба условия используются для индикации содержания влаги:

- Для атмосферного воздуха: **точка росы (DP)**
- Для сжатого воздуха: **точка росы под давлением (PDP)**

Точка росы (DP): Температура, при которой атмосферный воздух на 100% насыщен водяной влагой.

Если температура воздуха понижается ниже этого значения, то водяной пар превращается в конденсат.

Например: Туман - атмосферный воздух охлаждается ниже способности удержания водяного пара - сконденсированные капли становятся видимыми как туман или туманное образование. Капли влаги на окне, открытом в зимний период – в области охлаждения переход влаги в жидкостную фракцию.

Точка росы под давлением (PDP): Температура, при которой сжатый воздух ($p > 1 \text{ bar}$ абсолютный) на 100 % насыщен водяной влагой. Если температура сжатого воздуха понижается ниже этого значения, водяной пар сконденсирует в воздухе.

Пример ресивер: теплый, насыщенный сжатый воздух в ресивере охлаждается ниже пропускной способности пара. Капли воды на внутренней стенке ресивера скатываются и собираются в нижней части ресивера. Чем больше площадь ресивера, тем больше влаги переходит в жидкостную фракцию.

4. Относительная влажность.

Отношение фактической влажности воздуха к максимально возможной влажности сжатого воздуха при заданной температуре может быть описана как “относительная влажность”. Это основывается на максимальной возможности переноса водяного пара воздухом при данной температуре (смотри пункт 6, DIN ISO 7183):

$$\text{Относительная влажность} = \frac{\text{фактическое кол-во водяного пара (g/m}^3\text{)} \times 100 \%}{\text{макс. Возможность переноса пара (g/m}^3\text{)}}$$

Пример: Температура атмосферного воздуха 20°C
 Макс. возможность переноса пара при 20°C 17.31 g/m^3
 Взвешенная относительная влажность (используя гидрометр) 60 %

$$\begin{aligned} \text{Фактическое кол-во водяного пара} &= \frac{\text{взвешенная относит. влажность} \times \text{макс.}}{\text{возможность переноса водяного пара} / 100 \%} \\ &= \frac{60 \% \times 17.31 \text{ g/m}^3}{100 \%} = 10.38 \text{ g/m}^3 \end{aligned}$$

Эта степень влажности (атмосферного) воздуха будет иметь следующий результаты: когда температура опускается до $+12^{\circ}\text{C}$, пары не конденсируются т.к. макс. возможность переноса водяного пара несколько превышает расчетное значение 10.38 g/m^3 - следовательно, в этом случае точка росы находится около 12°C .

	Temperature in $^{\circ}\text{C}$	Water vapour content in g/m^3
	+10	9.405
	+11	10.02
	+12	10.67
	+13	11.35
	+14	12.08
	+15	12.84
	+16	13.64
	+17	14.49
	+18	15.38
	+19	16.32
	+20	17.31
	+21	18.35

Dewpoint of approx. $+12^{\circ}\text{C}$

at 60% RH

$T_U = +20^{\circ}\text{C}$

5. Зависимость между точкой росы и точкой росы под давлением.

Всегда стоит учитывать, что водяные пары начинают конденсироваться не только при снижении температуры воздуха, но и при одновременном уменьшении объема воздуха. Этим самым снижается возможность воздуха поглощать влагу.

Пример: Компрессорная установка всасывает при температуре 20 °С воздух в объеме 10 м³/мин. с 60% относительной влажностью; следовательно воздух содержит около 104 г. водяного пара. Если воздух сжимается в соотношении 1:10 до абсолютного давления 10 бар, получается 1 м³ сжатого воздуха. При температуре сжатия 85 °С воздух может содержать 353 г. влаги в 1 м³ в парах. Так как имеется 104 г., то воздух имеет относительную влажность около 30%, является довольно сухим и конденсат не выпадает. В конечном охладителе компрессора температура сжатого воздуха снижается с 85 до прим. 30 °С. После этого 1 м³ воздуха может принять лишь около 30 г влаги; следовательно, оставшиеся 74 г. перейдут в жидкостную фракцию и сконденсируются. При восьмичасовом рабочем дне образуется до 35 литров конденсата. При использовании рефрижераторного (охлаждающего) осушителя, путем охлаждения воздуха до 3 °С, отделяется дополнительно около 11 литров конденсата. За счет повторного нагрева сжатого воздуха на выходе из осушителя прим. до окружающей температуры его влажность становится около 20% из-за недостаточного насыщения влагой.

В реальных условиях, например в летний период – июль, при температуре всасывания 30 °С с 80-85% относительной влажностью картина кардинально изменяется: до достижения температуры сжатия 75-77 °С (первоначальное время работы компрессора) влага будет конденсироваться уже в компрессорном узле, а за счет более высокой температуры на выходе из компрессора основная нагрузка по выделению влаги переходит на осушитель.

Сравнение особенностей осушителей сжатого воздуха должно основываться на точке росы под давлением, поэтому любая установленная (атмосферная) точка росы должна быть преобразована.

Пример:

- Измерение сжатого воздуха, используя PDP - измеритель показывает следующие значения:

Точка росы под давлением (PDP): +5°C

Температура сжатого воздуха: +25°C

Рабочее давление: 7 bar (g)

- Вычисление относительной влажности в сжатом воздухе:

макс. возможность переноса водяного пара сжатого воздуха при +25°: 23.07 g/m³

макс. возможность переноса водяного пара сжатого воздуха при +5°: 6.802 g/m³

(соответствует PDP и фактическому кол-ву водяного пара)

Относ. влажность = $\frac{\text{факт. кол-во водяного пара (g/m}^3\text{)}}{\text{макс. возможность переноса водяного пара (g/m}^3\text{)}} \times 100 \%$

$$= \frac{6.802 \text{ g/m}^3 \times 100 \%}{23.07 \text{ g/m}^3} = 29.48 \%$$

- Вычисление атмосферной точки росы сжатого воздуха (значения с DIN ISO 7183)

Объем сжатого воздуха расширен:

- Из-за расширения от 7 бар (г) к 1 бар (абсолютный) значение увеличится к 8;

- Кол-во водяного пара в пределах этого увеличенного (атмосферного) объема равно кол-ву водяного пара в пределах оригинального объема под рабочим давлением.

- Фактическое кол-во водяного пара при PDP +5°C при давлении 7 bar (g):

6.802 g/m³

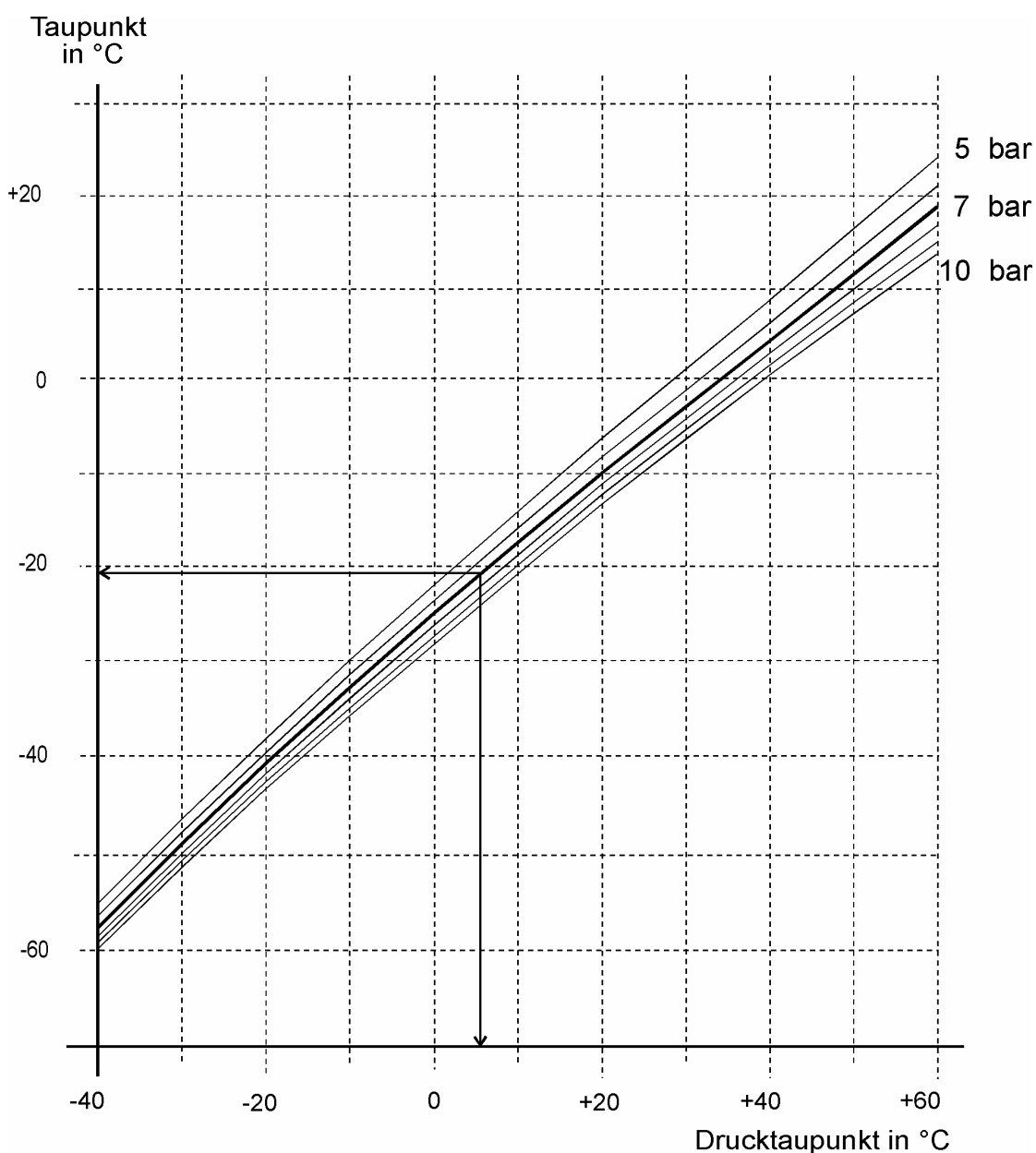
Увеличение объема : 8 бар

$$\begin{aligned} \text{Обращенное кол-во водяного пара} &= \frac{\text{фактическое кол-во водяного пара}}{\text{Увеличение объема}} \\ &= \frac{6.802 \text{ g/m}^3}{8} = 0.85025 \text{ g/m}^3 \end{aligned}$$

Согласно DIN ISO 7183, кол-во водяного пара 0.85025 g/m^3 соответствует пропускной способности воздуха при температуре между -20 and -21°C . Так как это воздух атмосферно расширен, **точка росы (DP) будет приблизительно -20°C .**

Термин “точка росы под давлением” должен всегда использоваться в контексте осушки сжатого воздуха!

6. Графическое преобразование точки росы и точки росы под давлением



Пример: PDP = $+5^\circ\text{C}$ \rightarrow DP = -20°C

7. Содержание влаги в воздухе (сжатом воздухе)

Температурнозависимое содержание воды (по DIN ISO 7183)							
Темп-ра	Содерж. воды	Темп-ра	Содерж. воды	Темп-ра	Содерж. воды	Темп-ра	Содерж. воды
°C	g/m ³	°C	g/m ³	°C	g/m ³	°C	g/m ³
+100	597,5	+54	99,85	+8	8,275	-36	0,1820
+99	577,8	+53	95,41	+7	7,756	-37	0,1646
+98	558,7	+52	91,14	+6	7,265	-38	0,1480
+97	540,1	+51	87,03	+5	6,802	-39	0,1392
+96	522,0	+50	83,08	+4	6,364	-40	0,1192
+95	504,3	+49	79,28	+3	5,952	-41	0,1069
+94	487,2	+48	75,63	+2	5,563	-42	0,0957
+93	470,6	+47	72,12	+1	5,196	-43	0,08565
+92	454,4	+46	68,75			-44	0,07656
+91	438,7	+45	65,52	0	4,487	-45	0,06836
+90	423,4	+44	62,41			-46	0,06098
+89	408,6	+43	59,43	-1	4,479	-47	0,05433
+88	394,2	+42	56,57	-2	4,136	-48	0,04837
+87	380,2	+41	53,83	-3	3,817	-49	0,04301
+86	366,7	+40	51,21	-4	3,521	-50	0,03821
+85	353,5	+39	48,64	-5	3,246	-51	0,03390
+84	340,7	+38	46,28	-6	2,990	-52	0,03005
+83	328,3	+37	43,97	-7	2,752	-53	0,02660
+82	316,3	+36	41,76	-8	2,532	-54	0,02353
+81	304,7	+35	39,65	-9	2,328	-55	0,02078
+80	293,4	+34	37,63	-10	2,139	-56	0,01834
+79	282,4	+33	35,70	-11	1,964	-57	0,01616
+78	271,8	+32	33,85	-12	1,803	-58	0,01423
+77	261,5	+31	32,08	-13	1,653	-59	0,01251
+76	251,6	+30	30,4	-14	1,515	-60	0,01098
+75	241,9	+29	28,79	-15	1,367	-61	0,009633
+74	232,6	+28	27,26	-16	1,269	-62	0,008438
+73	223,6	+27	25,79	-17	1,160	-63	0,007381
+72	214,4	+26	24,40	-18	1,060	-64	0,006449
+71	206,4	+25	23,07	-19	0,9678	-65	0,005627
+70	198,2	+24	21,80	-20	0,8835	-66	0,004903
+69	190,3	+23	20,59	-21	0,8053	-67	0,004267
+68	182,7	+22	19,44	-22	0,7336	-68	0,003708
+67	175,3	+21	18,35	-23	0,6678	-69	0,003218
+66	168,2	+20	17,31	-24	0,6075	-70	0,002789
+65	161,3	+19	16,32	-25	0,5521	-71	0,002414
+64	154,7	+18	15,38	-26	0,5015	-72	0,002085
+63	148,2	+17	14,49	-27	0,4551	-73	0,001799
+62	142,0	+16	13,64	-28	0,4127	-74	0,001550
+61	136,1	+15	12,84	-29	0,3739	-75	0,001331
+60	130,3	+14	12,08	-30	0,3385	-76	0,001145
+59	124,8	+13	11,35	-31	0,3061	-77	0,0009824
+58	119,4	+12	10,67	-32	0,2767	-78	0,0008413
+57	114,2	+11	10,02	-33	0,2494	-79	0,0007191
+56	109,3	+10	9,405	-34	0,2254	-80	0,0006138
+55	104,5	+9	8,824	-35	0,2032		