

которая при фиксированном p является функцией одной лишь температуры. Приводим значения максимального виртуального добавка ΔT_{vm} при $p = 1000$ гПа:

T °С	— 40	— 30	— 20	— 15	— 10	— 5	0	5
ΔT_{vm} °С	0,01	0,03	0,12	0,19	0,3	0,4	0,6	0,9
T °С	10	15	20	25	30	35	40	
ΔT_{vm} °С	1,3	1,9	2,6	3,6	4,9	6,6	8,9	

Из этих данных вытекает, что виртуальный добавок, а вместе с этим и роль влажности в изменении плотности воздуха малы при низких температурах и достаточно велики при высоких.

С введением виртуальной температуры уравнение состояния влажного воздуха принимает вид

$$pv = R_c T_v. \quad (4.11)$$

Если в (4.11) ввести плотность влажного воздуха $\rho = 1/v$, то уравнение состояния влажного воздуха примет вид

$$p = R_c \rho T_v. \quad (4.12)$$

Из сравнения уравнения (4.12) с уравнением (3.8) следует, что при одинаковых температуре и давлении *плотность влажного воздуха всегда меньше плотности сухого воздуха*. Физически это объясняется тем, что в состав влажного воздуха входит более легкий (по сравнению с сухим воздухом) водяной пар, который вытесняет часть сухого воздуха.

5 Характеристики влажности воздуха и связь между ними

Водяной пар — это переменная составная часть атмосферы. Содержание водяного пара в атмосфере оценивается с помощью *характеристик влажности воздуха*, или *гигрометрических величин*, к которым относятся: давление водяного пара, абсолютная и относительная влажность, массовая доля водяного пара, отношение смеси, точка росы и дефициты давления и точки росы.

Парциальное давление водяного пара e .¹ При данной температуре давление водяного пара не может превышать некоторое предельное значение E , называемое *давлением насыщения* или *давлением насыщенного* водяного пара. Давление насыщения зависит от температуры (оно увеличивается с увеличением температуры).

¹ В дальнейшем эту величину будем называть давлением водяного пара или давлением пара.

Абсолютная влажность a — масса водяного пара в граммах в 1 м^3 влажного воздуха ($\text{г}/\text{м}^3$). Между абсолютной влажностью и плотностью водяного пара ρ существует простая связь: $a = 10^3 \rho_{\text{п}}$, если $\rho_{\text{п}}$ в $\text{кг}/\text{м}^3$.

Так как $\rho_{\text{п}} = 1/v_{\text{п}}$, то из уравнения (4.1) находим:

$$a = 217 \frac{e}{T} \quad \text{или} \quad a = \frac{0,8e}{1 + \alpha t}, \quad (5.1)$$

где e — в гектопаскалях.

Относительная влажность f — отношение фактического давления водяного пара e к давлению насыщения E над плоской поверхностью чистой воды, выраженное в процентах:

$$f = \frac{e}{E} 100 \%. \quad (5.2)$$

Массовая доля водяного пара s — количество водяного пара в граммах в 1 г влажного воздуха. Для установления связи между e и s воспользуемся формулами (4.5) и (4.6). Получаем

$$s = \frac{0,622e}{p - 0,378e}. \quad (5.3)$$

При практических, а также при многих теоретических расчетах слагаемым $0,378e$ можно пренебречь по сравнению с p . Поэтому формулу (5.3) чаще всего записывают в виде

$$s = 622e/p, \quad (5.4)$$

где s — в промилле (‰), т. е. масса пара в граммах в 1 кг влажного воздуха.

Отношение смеси r — отношение массы водяного пара в определенном объеме воздуха к массе сухого воздуха в том же объеме. Отношение смеси численно равно количеству водяного пара, приходящемуся на 1 г сухого воздуха. Так как

$$r = \rho_{\text{п}}/\rho_{\text{с}} = v_{\text{с}}/v_{\text{п}}$$

(здесь $\rho_{\text{с}}$ — плотность сухой части воздуха), из уравнения (4.1) и (4.3) получаем

$$r = 0,622e/(p - e). \quad (5.5)$$

Характеристики s и r связаны между собой соотношениями

$$s = r/(1 + r), \quad r = s/(1 - s). \quad (5.6)$$

¹ В дальнейшем эту величину будем называть долей водяного пара или долей пара (до недавнего вре-

мени ее называли удельной влажностью).

Количественное различие между s и r мало. Формула (5.4) может быть использована для расчета как s , так и r .

Дефицит давления d — разность между давлением насыщения E при данной температуре и фактическим давлением водяного пара e :

$$d = E - e.$$

Точка росы τ — температура, при которой содержащийся в воздухе водяной пар при постоянных общем атмосферном давлении и массовой доле пара становится насыщенным (по отношению к плоской поверхности воды). Подчеркнем, что точка росы служит характеристикой влажности воздуха, а не его термического режима. При данной температуре воздуха точка росы в зависимости от фактического давления водяного пара может принимать самые различные значения.

Пусть в некотором объеме температура воздуха при неизменном общем давлении (изобарический процесс) и постоянном давлении водяного пара понижается. При этом относительная влажность будет возрастать, так как с понижением температуры знаменатель дроби e/E уменьшается. Температура, при которой относительная влажность достигает 100 %, и будет представлять собой точку росы. При этом $e/E(\tau) = 1$. Отсюда получаем следующую связь между давлением водяного пара и точкой росы:

$$e = E(\tau).$$

Наряду с точкой росы введем также понятие *точки льда (иней)*. Она представляет собой такую температуру, при которой находящийся в воздухе водяной пар при неизменных общем атмосферном давлении и доле пара достигает состояния насыщения по отношению к плоской поверхности чистого льда.

Дефицит точки росы Δ — разность между температурой воздуха T и точкой росы τ :

$$\Delta = T - \tau.$$