

Лабораторная работа № 1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ АБСОЛЮТНОЙ И ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ВЛАЖНОСТИ

Цель работы: освоение методов измерения абсолютной и относительной влажности воздуха.

Приборы и принадлежности: психрометр Августа, аспирационный гигрометр Ассмана, гигрометр Ламбрехта, барометр, резиновая груша, эфир.

Основные понятия и определения

Атмосферный воздух содержит некоторое количество водяных паров. Главным источником влажности воздуха является испарение воды с поверхности океанов, морей, водоемов, влажной почвы и растений. Водяной пар переносится вверх турбулентностью и конвекцией, а по горизонтали – ветром.

В атмосфере Земли в среднем содержится $1,24 \cdot 10^{16}$ кг водяного пара. Сконденсировавшись, он мог бы образовать слой воды на поверхности Земли толщиной 2,4 см. Количество водяного пара быстро убывает с понижением температуры. Поэтому для атмосферы характерно уменьшение количества водяного пара от экватора к полюсам и очень быстрое уменьшение с высотой. Среднее содержание водяного пара у поверхности Земли по объему составляет у экватора 2,6%, а в полярных районах – 0,2%. От подстилающей поверхности до высоты 1,5–2 км среднее содержание водяного пара уменьшается вдвое. Выше воздух очень сухой. Лишь изредка, на высотах 17–82 км образуются перламутровые (стратосферные) облака, что свидетельствует о наличии насыщающей влажности воздуха.

Под влиянием различных процессов водяной пар конденсируется, образуя облака, туманы, осадки и наземные гидрометеоры: росу, иней и т.д. Фазовые переходы воды в атмосфере сопровождаются выделением или поглощением тепла, поэтому им придается большое значение в энергетике и термодинамике атмосферы. Водяной пар имеет в инфракрасной части спектра несколько полос поглощения. Наиболее интенсивные полосы поглощения находятся на длинах волн $\lambda = 5,5\text{--}7,0$ мкм и $\lambda > 17$ мкм. Поэтому влажность воздуха сильно влияет на тепловой баланс атмосферы.

Водяные пары, содержащиеся в воздухе, играют большую роль в жизни растений и животных.

Пар, находящийся в динамическом равновесии со своей жидкостью, называется *насыщающим* или *насыщенным*. Масса водяного пара, содержащегося в 1 м^3 воздуха, называется *абсолютной влажностью*. С повышением абсолютной влажности пары воды все больше приближаются к состоянию насыщающего пара. *Максимальной абсолютной влажностью*

при данной температуре является масса насыщающего водяного пара в 1 м^3 воздуха.

Пар в насыщенном состоянии не является газом в строгом смысле этого слова. Газ – это агрегатное состояние вещества при данных температуре и давлении. Пар же не является агрегатным состоянием вещества, потому что агрегатным состоянием вещества при данных температуре и давлении является жидкое состояние. В связи с этим поведение пара отличается от поведения газа. В грубом приближении газовые законы могут быть применимы к ненасыщенным парам. Если же пары очень далеки от насыщения, то газовые законы для их описания являются хорошим приближением. Поэтому для описания состояния водяного пара в атмосфере обычно используют уравнение Клапейрона–Менделеева:

$$PV = \frac{m}{\mu} RT . \quad (1)$$

Здесь P – парциальное давление (упругость) водяных паров, V – объем, занимаемый паром, m – его масса, μ – молярная масса, R – универсальная газовая постоянная, T – абсолютная температура.

При одинаковой температуре отношение абсолютных влажностей в двух различных состояниях имеет вид:

$$\frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{P_1}{P_2} . \quad (2)$$

Из (2) следует, что мерой абсолютной влажности может быть величина парциального давления водяных паров в атмосфере. Поэтому обычно **абсолютной влажностью** принято называть упругость водяного пара и выражать ее в миллиметрах ртутного столба. В системе СИ эта величина измеряется в Паскалях.

Относительной влажностью называется отношение *абсолютной влажности* к *максимальной абсолютной влажности* при данной температуре, выраженное в процентах. Она определяется выражением:

$$f = \frac{P}{P_n} 100\% , \quad (3)$$

где P – упругость водяных паров при температуре t , P_n – упругость паров, насыщающих воздух при той же температуре.

Относительная влажность характеризует степень насыщения воздуха водяным паром.

Температуру t_p , при которой водяной пар становится насыщенным, называют **точкой росы**. При охлаждении воздуха до точки росы начинается конденсация паров: появляется туман, выпадает роса. Точка росы

характеризует влажность воздуха, так как она позволяет определить парциальное давление водяного пара и относительную влажность

Влажность воздуха измеряется с помощью гигрометров (греч. гигрос – влажный) и психрометров (психрос – холодный). Существуют дистанционные методы определения влажности воздуха, использующие лазерные и радиометрические приборы. Эти методы позволяют производить измерения с борта самолета и метеорологических спутников Земли. В дистанционных психрометрах используются термометры сопротивления, термисторы, термопары.

Определение относительной влажности с помощью психрометров

Психрометр Августа состоит из двух термометров, помещенных на одном щитке. Баллончик одного из термометров обвязан батистом, конец которого погружен в стоящий внизу стаканчик с водой. Сухой термометр показывает комнатную температуру.

Благодаря испарению воды с батиста, облегающего баллончик, так называемого влажного термометра, последний показывает температуру более низкую, чем соседний сухой термометр. Чем меньше влажность окружающего воздуха, тем интенсивнее испарение и тем ниже показание влажного термометра. Отметки по двум термометрам дают разность температур, которая и характеризует влажность воздуха. Для определения относительной влажности воздуха пользуются таблицами психрометрической разности. По разности показаний сухого и влажного термометров отыскивают искомое значение f . Зная относительную влажность, можно определить и абсолютную. При известной относительной влажности абсолютная влажность равна:

$$P = \frac{f \cdot P_n}{100\%} . \quad (4)$$

Значение P_n находят по таблице значений давления насыщенных паров в зависимости от температуры (см. папку «Справочные таблицы по молекулярной физике»).

Аспирационный психрометр Ассмана состоит из двух термометров, укрепленных на одном штативе. Баллончик одного из термометров обвязан батистом, конец которого погружен в стаканчик с водой. В верхней части штатива имеется вентилятор, приводимый во вращение часовым механизмом, который заводится ключом F, при установившемся режиме испарения. Когда температура влажного термометра тоже установится, приход тепла Q_1 извне будет равен расходу тепла Q_2 на испарение воды с поверхности термометра. Тогда по закону Ньютона имеем:

$$Q_1 = \alpha(t - t_1) \cdot S_1 , \quad (5)$$

где $(t - t_1)$ – наблюдаемая разность температур, S_1 – поверхность баллончика термометра (влажного), α – коэффициент пропорциональности.

Скорость испарения воды с охлаждающей поверхности влажного термометра (масса воды, испаряющаяся в единицу времени)

$$M \approx \frac{S_2(P_n - P)}{P_{\text{атм.}}} , \quad (6)$$

где S_2 – площадь испаряющей поверхности, P – упругость паров, находящихся в воздухе, P_n – упругость насыщенных паров, $P_{\text{атм.}}$ – атмосферное давление.

Или, вводя коэффициент пропорциональности k , имеем

$$M \approx \frac{k \cdot S_2 \cdot P_n - P}{P_{\text{атм.}}} \quad (7)$$

Расход на испарение:

$$Q_2 = M \cdot \lambda = \frac{k \cdot \lambda S_2 (P_n - P)}{P_{\text{атм.}}} \quad (8)$$

где λ – удельная теплота испарения.

Приравняв Q_1 к Q_2 получим:

$$P = P_n - A \cdot P_{\text{атм.}}(t - t_1) , \quad (9)$$

$$A = \frac{P_n - P}{P_{\text{атм.}}(t - t_1)} . \quad (10)$$

Здесь A – постоянная, которая в значительной мере зависит от скорости движения воздуха и поэтому для всякого психрометра определяется отдельно.

Выражение (9) носит название психрометрической формулы. Обычно влажный термометр покрыт батистом так, чтобы можно было считать $S_1 = S_2$. Тогда

$$A = \frac{\alpha}{k \cdot \lambda} . \quad (11)$$

В таком случае зависимость коэффициента A от скорости обтекания воздухом резервуаров термометров представлена на рис. 1.

Скорость воздушного потока, создаваемого пружинным аспиратором (вентилятором), обычно составляет 2–2,5 м/с.

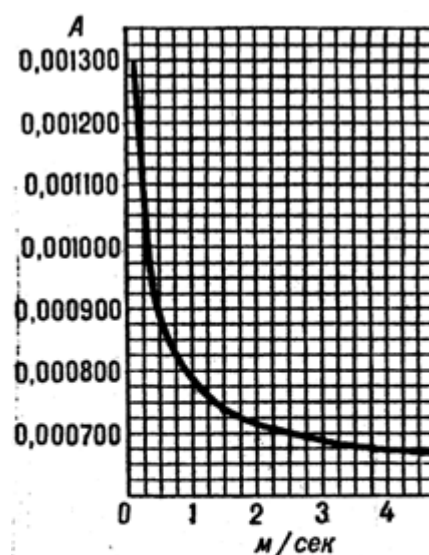


Рис. 1

Зависимость величины A от скорости прохождения воздуха через прибор.

Гигрометр Ламбрехта. Относительная влажность может быть определена другим способом по «точке росы» – с помощью гигрометра. Точкой росы, как уже отмечалось, называется температура, при которой водяной пар, имеющийся в воздухе, становится насыщенным, т.е. начинает конденсироваться на какой-либо охлажденной поверхности. В приборе, основанном на определении точки росы (гигрометре), охлаждают металлическую стенку до тех пор, пока на ней не появится роса. Если измерить температуру, при которой замечаются первые следы росы, то по таблице (см. папку «Справочные таблицы по молекулярной физике») можно определить абсолютную влажность окружающего воздуха. По этой же таблице определяем давление насыщенных паров при окружающей температуре, затем, пользуясь формулой (3), находим относительную влажность.

Гигрометр Ламбрехта состоит из никелированной коробки (обычно круглой формы), в которую вставлен термометр и наливается летучая жидкость (например, эфир), служащая для охлаждения коробки. Для ускорения испарения жидкость продувается потоком воздуха (с помощью груши или насоса).

Вокруг никелированной части коробки располагается теплоизолированное от нее кольцо (специальных теплоизоляторов не требуется, достаточно обычной пластмассы), поэтому при прокачивании насосом воздуха очень легко заметить момент, когда коробка запотеваает, по контрасту с теплоизолированной частью. Измеренная в этот момент температура и есть точка росы. По таблице находим соответствующую этой температуре влажность насыщающего пара, которая и является абсолютной влажностью воздуха.

Задание

1. Определите абсолютную и относительную влажность воздуха, используя психрометр Августа. Данные занесите в таблицу 1.

Таблица 1

Температура сухого термометра, °С	Температура влажного термометра, °С	Разность температур, °С	$f, \%$	$P_n,$ мм.рт.ст.	$P,$ мм.рт.ст.

2. Определите точку росы для температуры опыта.
3. Определите количество водяных паров, содержащихся в лаборатории.

4. При помощи ключа F заведите часовой механизм аспирационного психрометра Ассмана до отказа и после установления процесса испарения отсчитайте температуру на обоих термометрах (t и t_1). Величины P_n берут из справочной таблицы (см. папку «Справочные таблицы по молекулярной физике»). $P_{атм.}$ определяют по барометру. Значение A рассчитывается по формуле (10). Для определения A величину P следует взять из данных измерений психрометром Августа. Зная величину A , по рис.1 определите скорость прохождения воздуха через прибор. Данные занесите в таблицу 2.

Таблица 2

Температура сухого термометра $t, ^\circ\text{C}$	Температура влажного термометра $t_1, ^\circ\text{C}$	P_n , мм.рт.ст.	$P_{атм.}$, мм.рт.ст.	P , мм.рт.ст.	A	v , м/с

Контрольные вопросы

1. Что называется абсолютной и относительной влажностью? Указать единицы их измерений.
2. Что называется насыщенным паром?
3. Что называется точкой росы?
4. Выпадет ли иней, если относительная влажность воздуха при температуре 80°C составляет 55%?
5. Опишите устройство психрометра Августа, аспирационного психрометра Ассмана и гигрометра Ламбрехта.
6. Запишите уравнение состояния идеального газа (уравнение Клапейрона-Менделеева).

Литература

1. Физический практикум /Под ред. В.И. Ивероновой. – М.: Наука, 1967.
2. Матвеев А.Н. Молекулярная физика. – М.: Высшая школа, 1991.