

УДК 53.06

## **ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЙ ГИГРОМЕТР**

Гусева Е.Д., Зуева М.С., Кислицина Д.В., Стрелкова А.А., студ. гр. УЗс-161  
Научные руководители: Смирнов В.Г., к.ф.-м.н.,  
Дырдин В.В., д.т.н., профессор  
Кузбасский государственный технический университет им. Т. Ф. Горбачева  
г. Кемерово

С понятием влажности знаком каждый из нас. Мы часто слышим это слово в сообщениях о погоде, задумываемся о влажности воздуха, когда испытываем ощущение духоты в комнате, или же ощущение парилки в летние дни. Для человека оптимальная влажность окружающего воздуха 40-60%. Испарение влаги с поверхности кожи человека помогает поддерживать температуру тела постоянной. Организм человека может приспособиться и к более широкому диапазону влажности воздуха, испытывая, при определенных условиях, ощущение комфорта или, наоборот, дискомфорта. Несмотря на то, что количество водяного пара в атмосфере сравнительно невелико (около 1%), роль его в атмосферных явлениях значительна. Конденсация водяного пара приводит к образованию облаков и последующему выпадению осадков. При этом выделяется большое количество теплоты, и наоборот, испарение воды сопровождается поглощением теплоты.

Для многих производств от величины влажности напрямую зависит возможность проведения технологических операций. Например, в музеях, библиотеках, архивах соблюдается определенная влажность, потому что при высокой влажности бумага, холсты, книги могут отсыреть, а при пониженной влажности – рассохнуться и потрескаться. Часто в музее, картинной галерее или библиотеке на стенах можно видеть психрометры – измерители влажности. Контроль влаги необходим на предприятиях легкой и пищевой промышленности, химических и современных роботизированных производствах, а также при выращивании растений и животных.

Возникает потребность доступного и понятного индикатора относительной влажности воздуха в помещениях, где работает или живет человек. Психрометр является одним из самых первых, и, возможно, самых распространенных методов измерения относительной влажности, он основан на сравнении показаний «сухого» и «увлажненного» термометра. Влажность воздуха определяется по специальной психрометрической таблице, обычно закрепляемой рядом с двумя термометрами. Для стабильных измерений необходимо поддерживать чистоту и внешнее увлажнение тканевой обертки «увлажненного» термометра. Существуют также волосяные гигрометры, принцип действия которых основан на изменении линейных размеров некоторых тел при их увлажнении. Рабочим телом такого гигрометра

является обезжиренный волос человека или специально разработанные материалы. В конденсационных гигрометрах воздух охлаждается до температуры точки росы, по которой рассчитывается относительная влажность.

Сухой атмосферный воздух можно считать смесью идеальных газов, основными компонентами которой являются азот (78%) и кислород (21%), а объемная доля остальных компонент – аргона, криптона, гелия, углекислого газа и др. – составляет около одного процента. В идеальном газе можно пренебречь взаимодействием молекул и считать, что каждый компонент газовой смеси существует сам по себе. Величина атмосферного давления складывается из давления создаваемого каждым компонентом смеси, называемым также парциальным давлением компонента. Парциальное давление каждого компонента смеси идеальных газов не зависит от наличия других компонент и может быть рассчитано по уравнению Менделеева-Клапейрона, исходя из количества данного компонента в смеси.

Вода может существовать в твердом, жидком и газообразном состоянии. При атмосферном давлении и температуре ниже  $0^{\circ}\text{C}$  вода кристаллизуется в лед, а при температуре выше  $0^{\circ}\text{C}$  находится в жидком состоянии. При температуре выше  $100^{\circ}\text{C}$  вода полностью превращается в пар, т.е. переходит в газообразное состояние. Но и при любой температуре, вблизи поверхности льда или жидкой воды часть молекул воды переходит в газообразное состояние. Наступает динамическое равновесие, при котором ежесекундно определенное количество молекул испаряется с поверхности жидкости и такое же количество молекул переходит в жидкую фазу. Количество молекул, возвращающихся в жидкое состояние пропорционально концентрации молекул в газовой фазе. Перейти в газовую фазу могут лишь молекулы, обладающие энергией, достаточной чтобы разорвать связь со своими ближайшими соседями в жидкости, поэтому количество испаряющихся молекул, а, следовательно, и количество воды в газовой фазе очень сильно зависит от температуры. Парциальное газовое давление паров воды, при котором наступает равновесие между жидкой и газообразной фазой называется давлением насыщенных паров. Это давление определяет максимальное количество воды, которое может находиться в газовой фазе при той или иной температуре. При превышении данного максимального количества часть воды переходит в жидкое состояние, образуя туман, росу.

Чтобы характеризовать количество воды в воздухе вводятся две величины: абсолютная влажность и относительная влажность воздуха. Масса водяных паров (грамм), содержащихся в  $1\text{ м}^3$  воздуха, называется абсолютной влажностью. Отношение фактической плотности  $\rho$  водяного пара при данной температуре к плотности насыщенного пара  $\rho^*$  при этой же температуре называется относительной влажностью. Относительная влажность воздуха обычно выражается в процентах:  $w = (\rho/\rho^*) \cdot 100\%$ . Плотность насыщенных паров воды можно связать с величиной парциального

давления насыщенных паров –  $P^*$  уравнением, вытекающим из уравнения Менделеева-Клапейрона:  $\rho^* = \frac{P^* M}{RT}$ , где  $M$ ,  $R$ ,  $T$  – молярная масса воды, газовая постоянная и термодинамическая температура.

Соли, способные растворяться в жидкой воде, изменяют величину взаимодействия между молекулами воды в растворе и поэтому смещают равновесие между водой, находящейся в газовой и жидкой фазах. Для каждой соли (химического вещества) существует максимальное значение влажности воздуха, при котором соль еще находится в сухом состоянии. Например, чистая поваренная соль  $NaCl$  может находиться в сухом состоянии лишь при относительной влажности воздуха менее 75%, а при превышении данного порога соль захватывает молекулы воды из воздуха и образует капли соленой воды. Это явление можно использовать как индикатор того, что влажность воздуха превосходит или, наоборот, не достигает определенного значения (например, 75% для  $NaCl$ ).

Табл.1 Пороговое значение влажности воздуха для некоторых солей

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Соль	$K_2Cr_2O_7$	$KCl$	$NaCl$	$KI$	$MnCl_2$	$FeCl_3$	$MgCl_2$	$CaCl_2$	$ZnCl_2$
w, %	98	84	75	67	56	42	33	29	3

На этом явлении основывается наш метод измерения влажности. Нами сформирован набор (табл. 1) из девяти разных солей, которые покрывают диапазон относительной влажности воздуха (w, %) от 3 до 98%. Соли размещены в пробирки, пробирки закреплены в общей подставке.



Рис. 1. Результаты измерения влажности физико-химическим гигрометром

Таким образом, помещая данный набор пробирок в помещение, в котором необходимо контролировать влажность воздуха, и визуально отслеживая, в каких пробирках соль находится во влажном, а в каких в сухом состоянии можно определять влажность воздуха в помещении. Нами изготовлено два прибора, отличающихся взаимным расположением пробирок. На рис.1 показан пример измерения влажности воздуха данным методом. Пробирки с номерами от 3 до 9 содержат капли жидкой воды, а №1

и №2 сухие, исходя из чего, можно сделать вывод, что влажность воздуха находится в диапазоне от 75 до 84%, при этом измерении прибор находился в атмосфере с 84% влажности. Наличие жидкой фазы в пробирках очень просто заметить визуально, это видно также и на фотографии.

На рис. 2 показано состояние физико-химического гигрометра, помещенного в атмосферу с двумя значениями влажности. В одном случае влажность воздуха меньше порогового значения увлажнения для всех пробирок, помещенных на одной стороне гигрометра, а во втором случае влажность воздуха заведомо больше порогового значения увлажнения для всех солей, помещенных с другой стороны того же гигрометра. Крупные кусочки  $\text{CaCl}_2$  увлажнены по поверхности, они не успели полностью раствориться, что произошло с другими солями.



Рис. 2. Примеры измерения влажности физико-химическим гигрометром

Данный метод особенно удобен для тех случаев, когда условиями эксплуатации регламентируется максимальное и минимальное значение влажности в помещении. В этом случае можно подобрать всего два химических вещества и установить, что допустимый диапазон влажности соответствует тому, что одно из веществ находится в сухом (влажность воздуха ниже максимального значения), а другое – в сыром состоянии (влажность воздуха выше минимального значения). Данный способ вполне доступен, прост и понятен в использовании. Чтобы ускорить достижение равновесия можно изменить конфигурацию пробирок и создать поток исследуемого воздуха через объем, содержащий соли. Либо, наоборот, ограничивая контакт индикаторной соли с окружающим воздухом, например узким горлышком пробирки, можно увеличивать время наступления равновесия, тем самым проводимый измерения будут иметь смысл усредненной влажности воздуха за определенный период времени.

Вывод. Разработан физико-химический гигрометр – доступный прибор для измерения влажности в помещениях. Прибор основан на свойствах отдельных солей находиться в сухом или во влажном состоянии в зависимости от относительной влажности атмосферы, в которой они

находятся. Проведенные измерения показали соответствие полученных результатов фактической влажности атмосферы, в которой находится прибор.

Список литературы:

1. Сивухин Д. В., Общий курс физики. В 5т. Т II. Термодинамика и молекулярная физика. – М.: Физматлит, 2006. – 544 с.
2. Стромберг А. Г., Семченко Д. П., Физическая химия. – М.: Высш.шк., 1999. –527 с.