

МВ и ССО РСФСР

ТОМСКИЙ ОРДЕНА ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ И ОРДЕНА ТРУДОВОГО  
КРАСНОГО ЗНАМЕНИ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ИМ. С.М.КИРОВА

УДК 541.123.81

*№4514-76 Дм*

А.Г. Терещенко

К ВОПРОСУ О ПОЛНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКЕ ГИГРОСКОПИЧЕСКИХ  
СВОЙСТВ ЧИСТЫХ ТВЕРДЫХ ВЕЩЕСТВ, РАСТВОРИМЫХ В ВОДЕ

Томск - 1976

Гигроскопичность — это свойство веществ поглощать влагу из воздуха. Как правило, это свойство сопровождается нежелательными последствиями — в лучшем случае снижается содержание основного вещества. Чаще дело обстоит более серьезно, т.к. гигроскопичности сопутствует слеживаемость, потеря активности и другие процессы, ведущие к понижению качества продукции, особенно, если продукт представляет собой смесь веществ. В связи с этим изучение гигроскопичности и борьба с этим явлением были и будут актуальной проблемой при изучении свойств веществ, разработке технологии получения и применения удобрений, взрывчатых веществ, полимеров, пищевых продуктов, лекарств и пр.

В данной статье рассмотрены гигроскопические свойства твердых веществ, растворимых в воде, несодержащих примесей и необразующих кристаллогидратов.

Как же охарактеризовать гигроскопичность чистого вещества? Прежде всего кажется, что скоростью поглощения паров воды и количеством поглощенной воды. Однако, если мы в комнатных условиях попытаемся определить эти параметры гигроскопичности у нитрата калия, то нас постигнет неудача. Дело в том, что растворимые твердые вещества начинают поглощать пары воды из воздуха только при относительной влажности воздуха выше некоторой величины — именно эта величина относительной влажности воздуха определяет всю картину поглощения водяных паров.

Рассмотрим подробно процесс взаимодействия паров воды с веществом, например, хлоридом натрия при изменении относительной влажности воздуха ( $h_v$ ) от 0 до 100%.

При нулевой относительной влажности воздуха, естественно, никакого процесса нет. По мере увеличения концентрации водяных паров в воздухе часть молекул воды адсорбируется на поверхности кристаллов вещества, чем выше влажность воздуха, тем больше вели-

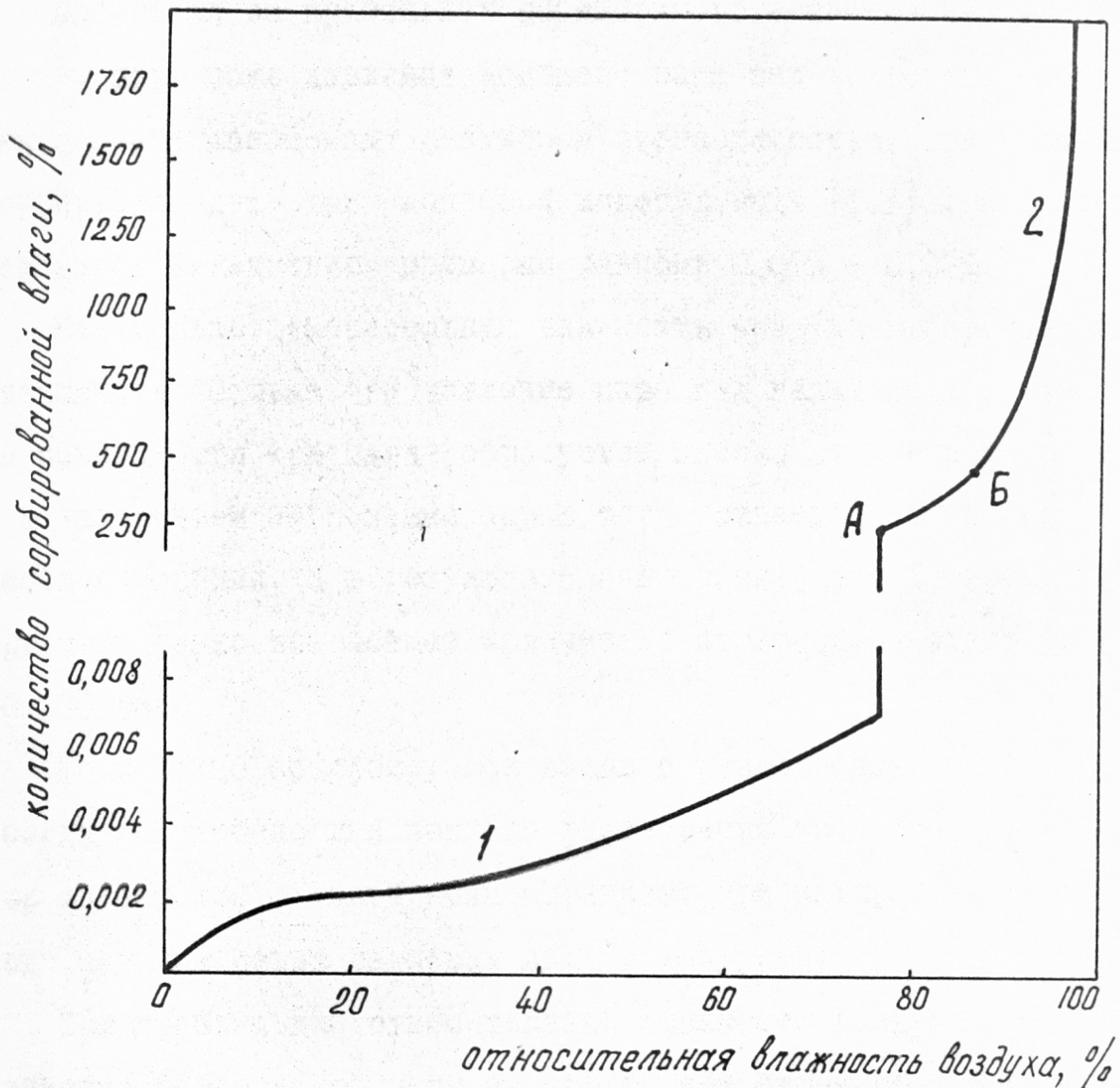


Рис. 1. Изотерма сорбции хлорида натрия при 20°C, по данным работ [1,2].

1 - изотерма адсорбции

2 - изотерма абсорбции

А - точка, характеризующая насыщенный раствор, находящийся в равновесии с минимальным количеством твёрдой фазы.

Б - точка, характеризующая разбавленный раствор

чина адсорбции ( см. рис. I кривая I.)

Адсорбция на кристаллах растворимого вещества наблюдается до тех пор, пока давление водяного пара над веществом меньше, чем оно над насыщенным раствором этого вещества, при этом адсорбируется два- три монослоя молекул воды [1,3], что соответствует увлажнению, примерно равному 0,01% - 0,02%.

Как только относительная влажность воздуха над кристаллом становится больше чем давление пара над насыщенным раствором, на поверхности кристалла образуется пленка насыщенного раствора и в дальнейшем поглощение паров осуществляется не за счет процесса адсорбции, а в результате абсорбции ( рис. I, кривая 2) при этом резко возрастает количество поглощаемой влаги  $\approx$  в 10.000 раз.

Количество абсорбируемой влаги в равновесных условиях ( $W_p$ ) всегда достаточно для полного растворения вещества, причем раствор образуется с такой концентрацией, при которой давление пара воды над ним равно давлению пара в воздухе.

При приближении относительной влажности воздуха к 100% количество поглощаемой воды быстро растет стремясь к бесконечности, а концентрация образующегося раствора уменьшается, стремясь к нулю, т.к. в равновесии со 100% относительной влажности может быть только чистая вода, т.е.  $\lim_{h_b \rightarrow 100\%} W_p \rightarrow \infty$ , что может быть выведено из закона Рауля.

Из сравнения процессов влагопоглощения при адсорбции и абсорбции следует, что под гигроскопичностью обычно понимают абсорбцию, т.к. при адсорбции количество сорбируемой воды незначительно - примерно 0,01% - обычно это не сказывается на физико-химических свойствах веществ. Следует отметить, что эту величину адсорбции - 0,01% изменения веса - трудно зарегистрировать на

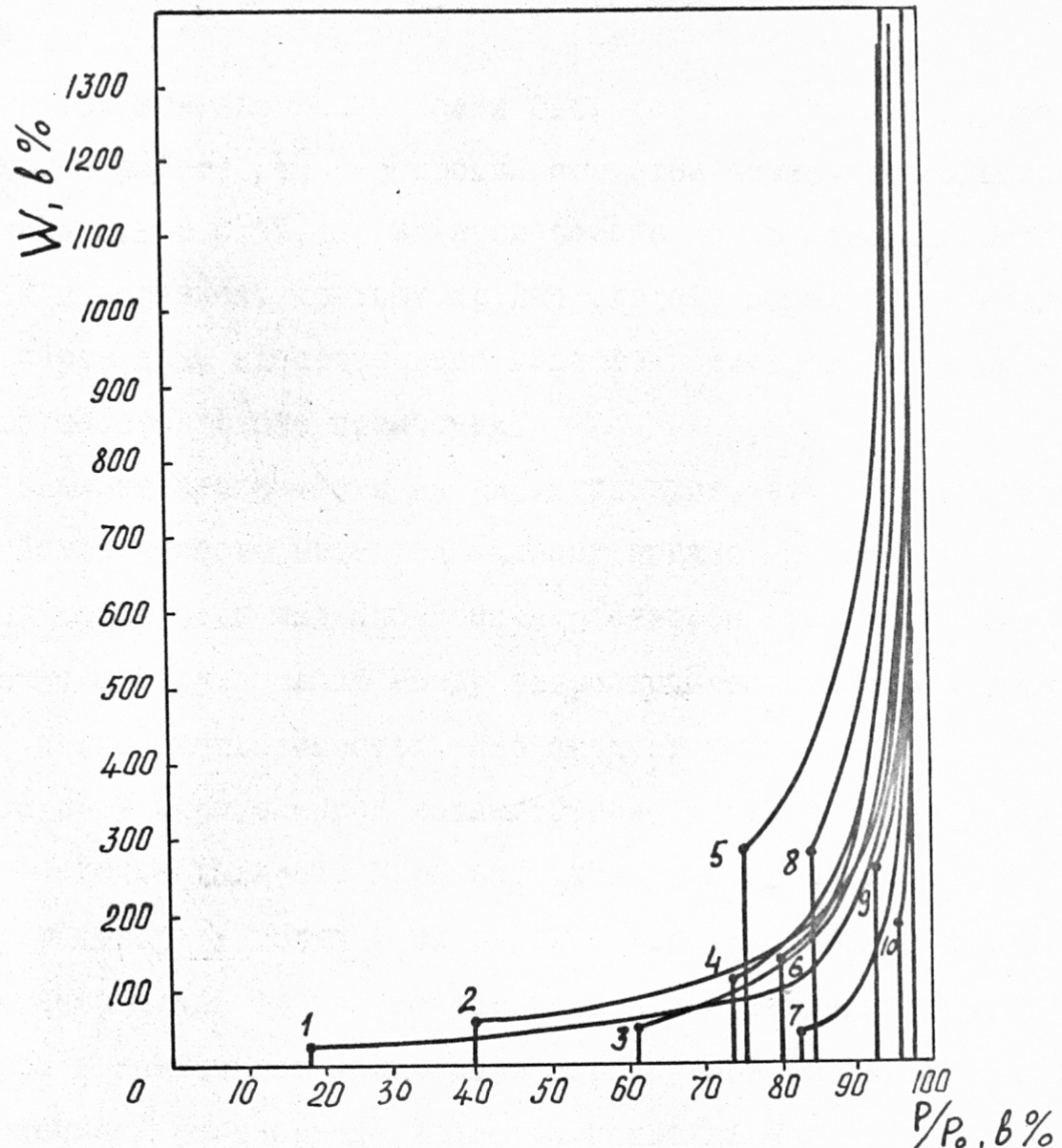


Рис. 2. Изотермы абсорбции построенные по данным [2].

- 1-  $ZnI_2$  ; 2-  $NaI$  ; 3-  $NH_4NO_3$  ; 4-  $NaNO_3$  ; 5-  $NaCl$  ;  
 6-  $(NH_4)_2SO_4$  ; 7-  $AgNO_3$  ; 8-  $KCl$  ; 9-  $KNO_3$  ; 10-  $Pb(NO_3)_2$ .

обычных аналитических весах, т.к. она сопоставима с ошибкой взвешивания.

Значительной адсорбция может быть только в особых случаях, например, в работе [4] адсорбция пористой аммиачной селитры составляла  $0,2 + 0,5\%$ , но в этой работе не приводится состав, примесей в образцах, поэтому трудно сделать вывод какое количество паров воды адсорбировано пористой селитрой, а какое количество адсорбировано примесями.

Из анализа зависимости на рис. I следует, что гигроскопические свойства чистого вещества зависят прежде всего от величины давления паров воды над насыщенным раствором этого вещества, т.е. можно отметить связь между гигроскопическими свойствами вещества, и его растворимостью. Это следует уже из того, что каждому раствору определенной концентрации соответствует определенное значение давления пара над раствором. В частности насыщенному раствору (точка А на рис. I), т.е. раствору с наибольшей концентрацией, соответствует наименьшее давление пара над раствором и наименьшее количество сорбируемой влаги. Хотя влагопоглощение и растворение вещества приводят к одному и тому же результату - раствору, а взаимосвязь между концентрацией насыщенного раствора и давлением пара воды над ним для различных веществ (рис. 2) давно привлекают исследователей [2, 5, 6, 7], однако четкой зависимости не найдено - отмечается только тенденция, что более растворимое вещество более гигроскопично.

Если раствор вещества поместить в атмосферу с концентрацией паров воды меньше, чем давление пара воды над этим раствором, то начнется процесс, обратный процессу гигроскопичности, - десорбция воды из раствора в атмосферу. При давлении паров воды в

воздухе ниже, чем давление паров воды над насыщенным раствором вещества, из любого раствора этого вещества будет испаряться вода, а из насыщенного раствора кроме того будут выделяться кристаллы - этот процесс десорбции будет идти до полного удаления влаги.

Исходя из вышеизложенного можно сказать, что гигроскопичность растворимых веществ характеризуется следующими параметрами: давлением паров воды над насыщенным раствором вещества, влагопоглощением и скоростью влагопоглощения. Рассмотрим эти параметры гигроскопичности более подробно.

**Г и г р о с к о п и ч е с к а я   т о ч к а.** При характеристике гигроскопических свойств вещества давление паров воды над насыщенным раствором обычно оценивают гигроскопической точкой. Гигроскопическая точка вещества или раствора - это равновесная относительная влажность воздуха, над насыщенным раствором вещества, выраженная в процентах. Она может быть определена по формуле:

$$h_{г.т.} = \frac{P_{нас}}{P_0} \cdot 100\%$$

где:  $h_{г.т.}$  - гигроскопическая точка вещества, в процентах относительной влажности воздуха

$P_{нас.}$  - парциальное давление паров воды над насыщенным раствором вещества

$P_0$  - парциальное давление паров над чистой водой.

Следует отметить, что указание Пестова [8, стр.8] о том; что " гигроскопические точки насыщенных растворов не следует объединять с гигроскопическими точками самих веществ", неправильно. Как говорилось выше явление гигроскопичности - абсорбция - характеризуется тем, что уже в самый первый момент на

поверхности растворимого вещества образуется тонкая пленка насыщенного раствора. Поэтому в принципе можно говорить лишь о гигроскопической точке раствора и согласиться с утверждением [3], что " о степени гигроскопичности вещества можно судить только по гигроскопической точке его насыщенного раствора. Говорить же о гигроскопической точке самого вещества в отличие от гигроскопической точки его насыщенного раствора, по -видимому, не имеет смысла, ибо само вещество не может находиться в равновесии с газовой фазой, каково бы ни было в ней давление водяных паров". Из этого следует, что на величину гигроскопической точки не оказывают влияния ни влажность вещества, ни примеси [9].

При давлении паров воздуха равным гигроскопической точке вещества, насыщенный раствор этого вещества или само вещество, не поглощает и не теряет влагу.

В работе [10] подчеркивается термодинамический характер гигроскопической точки и предлагается ввести понятие " термодинамического потенциала гигроскопичности (ПГ). Авторы этой статьи предлагают использовать в качестве меры гигроскопичности взятое со знаком минус изменение свободной энергии ( $-\Delta F$ , ккал/моль) при изотермическом переводе одного моля водяного пара, находящегося при давлении паров чистой воды в состоянии, соответствующее давлению водяного пара над насыщенным раствором вещества, тогда ПГ определится следующим образом:

$$\text{ПГ} = -\Delta F = \mu_0 - \mu_{\text{нас}} = RT \ln \frac{P_0}{P_{\text{нас}}};$$

где:  $\mu_0$  и  $\mu_{\text{нас}}$  - химические потенциалы насыщенного водяного пара и пара над насыщенным раствором вещества.

В термодинамических расчетах часто используется не гигроско-



пическая точка, а активность воды ( $a_w$ )

$$a_w \text{ нас.} = \frac{h_{г.т.}}{100\%} = \frac{P_{нас.}}{P_0}$$

Пестовым [8, стр.63], исходя из того, что в окружающем нас воздухе относительная влажность колеблется в среднем от 40% до 90%, предложена шкала гигроскопичности веществ, по которой степень гигроскопичности характеризуется по десятибалльной шкале. Величина балла шкалы гигроскопичности ( $X$ ) связана с гигроскопической точкой уравнением:  $X = 10 - \frac{h_{г.т.} - 40}{5}$

Чем больше балл по этой шкале, тем более гигроскопично вещество. Вещества с баллом I и менее - практически не гигроскопичны; гигроскопичные вещества, например, нитрат аммония - это вещества с баллом 4 + 6. Очень сильно гигроскопичны вещества с баллом более 8, т.е. имеющие гигроскопическую точку ниже 50% - применение таких продуктов в промышленности затруднительно, т.к. необходимо создание специальных условий и методов работы с ними.

Данные по гигроскопическим точкам веществ можно найти в [8] и в виде активности воды в насыщенных растворах солей в [2].

Экспериментальные методы определения гигроскопических точек веществ основаны на определении парциального давления воды над насыщенным раствором и различаются по методам регистрации этого давления, т.е. концентрации паров воды в воздухе над насыщенным раствором. Методы основаны на определении давления паров воды прямым и (или) дифференциальным манометрами [11,12], электрическим датчиком влажности [7,10], психрометром [13], хроматографически [14]. Широко используется изопиестический метод - метод сравнения [15, 16], основанный на использовании стандартных растворов с известной зависимостью давления

пара от концентрации раствора и очень простой, но менее точный эксикаторный метод [ 8, стр.30 ] . Краткий обзор по этим методам приведен в [17] .

**В л а г о п о г л о щ е н и е.** Влагопоглощение вещества или сорбционная влагоёмкость ( $W_p$ ) - это равновесное количество влаги, выражаемое в %, поглощаемой веществом при определенной температуре и определенной влажности воздуха. В равновесных условиях образуется раствор вещества с концентрацией:

$$S = \frac{10000\%}{W_p} \quad \text{в г/100г воды или}$$

$$\alpha = \frac{10000\%}{W_p + 100\%} \quad \text{в г/100г раствора или процентах}$$

При относительной влажности воздуха близкой к гигроскопической точке вещества, концентрация образующегося раствора будет приближаться к концентрации насыщенного раствора, а равновесное влагопоглощение соответственно к своему минимальному значению ( $W_{min}$ ). Величину  $W_p = W_{min}$  можно определить по растворимости вещества:

$$W_{min} = \frac{10000\%}{S} ; \quad W_{min}^* = \frac{10000\%}{\alpha} - 100\%$$

$$W_{min} = \frac{10000\%}{m \cdot M_b} \quad , \quad \text{в процентах поглощенной влаги, отнесенных к исходному количеству вещества.}$$

где:  $m$  - моляльность раствора, в молях на 1000 г. воды  
 $M_b$  - вес моля веществ в г.

При увеличении давления пара воды в воздухе влагопоглощение возрастает и при приближении относительной влажности воздуха к 100% влагопоглощение стремится к бесконечности ( рис.1,2). Влагопоглощение при относительной влажности воздуха начиная от гигроскопической точки вещества и выше, представляющее из

себя изотерму абсорбции можно определить по следующей формуле:

$$W_p = W_{min} \left( 1 + \frac{h_b - h_{г.м.}}{100\% - h_b} \right)$$

Эта формула позволяет оценить влагопоглощение при интересующей относительной влажности воздуха при  $h_b < 90-95\%$  с точностью  $5 \pm 25\%$ . Преимуществом этого выражения является простота и отсутствие эмпирических коэффициентов, кроме параметров, характеризующих насыщенный раствор

В литературе данные для определения изотерм абсорбции можно взять из зависимости давления паров воды ( активности воды) над растворами от концентрации раствора [ 2 ]

Прямым экспериментальным методом определения величины влагопоглощения является изопиестический метод, требования к условиям измерения изложены в работе [18] , упрощенная методика описана у Пестова [ 8, стр.83 ] .

Из графиков на рис.2 видно, что влагопоглощение для многих веществ составляет десятки, сотни процентов, и при этом вещество полностью растворяется еще до достижения  $W_p$  . На практике это редко случается, т.к. процесс влагопоглощения достаточно длителен, поэтому может быть обнаружен, и контакт продукта с влажным воздухом ликвидирован. Кроме того, чаще уже малоинтересно десятки или сотни процентов воды поглощено продуктом, потому, что после увлажнения до  $5 \pm 10\%$ , продукт необходимо сушить, а иногда он окончательно бракуется.

При таком " небольшом " количестве поглощенной влаги для характеристики гигроскопических свойств чистого вещества существенное значение приобретает его растворимость в воде.

Рассмотрим на примере к чему приводит увлажнение до 5% таких веществ как хлорид калия и нитрат серебра, имеющих примерно равные величины гигроскопических точек, но разную раствори-

мость 36 и 250 - соответственно. Содержание 5% влаги в этих продуктах приведет к тому, что в жидкую фазу перейдет 1,8% хлорида калия и 12,5% нитрата серебра, а соотношение между жидкой и твердой фазами будет равно 1:15 и 1:5. То есть если хлорид калия, содержащий 5% влаги - это влажный твердый продукт, то нитрат серебра с 5% влаги - это уже не твердый продукт, а суспензия, которая может течь и пр.

Таким образом для полной характеристики гигроскопичности чистого вещества необходимо знать как изотерму сорбции- влагопоглощение, так и растворимость в воде.

**С к о р о с т ь   в л а г о п о г л о щ е н и я.** Скорость влагопоглощения или скорость сорбции - характеризует количество паров воды, поглощенных единицей массы вещества за единицу времени.

Более правильно измерять скорость влагопоглощения на единицу поверхности, а не на единицу массы [ 8, стр.22 ] , но т.к. методы определения поверхности порошкообразных веществ или сложны, или не точны, то большинство исследователей поглощенную влагу относят на единицу массы, тем более, что в процессе влагопоглощения происходит изменение поверхности порошков [19] .

Скорость влагопоглощения - широко распространенная характеристика гигроскопичности вещества, что можно объяснить легкостью получения экспериментальных данных. Но следует подчеркнуть её подчиненную и вспомогательную роль при характеристике гигроскопичности веществ.

Дело в том, что некоторыми авторами при характеристике гигроскопических свойств скорости сорбции придается предпочтение, они считают ее " важнейшей гигроскопической характеристикой" [20] Авторы работ [21,22,23] вообще ограничиваются только абсолютной скоростью поглощения, при характеристике гигроскопических

свойств, не указывая даже при каких условиях и на каком приборе они получены - в то время, как Пестов считал, что лишь в особых случаях требуется определение скорости влагопоглощения [24]. Такими случаями могут быть, те когда необходимо именно значение скорости сорбции или когда пытаются снизить скорость сорбции покрывая кристаллы гидрофобной пленкой.

Часто величина скорости сорбции влаги не играет существенной роли, например, в случае когда недопустим контакт вещества с влажным воздухом или наоборот, если время контакта всегда велико и влагопоглощение будет большим при любой скорости сорбции.

Небольшая информационная ценность абсолютной скорости влагопоглощения обуславливается прежде всего сильным влиянием различных факторов на её величину, в отличие от величины влагопоглощения и гигроскопической точки. Основным фактором является разность между давлением паров воды в воздухе ( $h_b$ ) и равновесным давлением паров над раствором соли ( $h_{p-p}$ ). Скорость влагопоглощения ( $Q$ ) может быть определена по формуле:

$$Q = K(h_b - h_{p-p}),$$

где:  $K$  - коэффициент скорости поглощения выражающий количество влаги в процентах в единицу времени, на единицу массы и отнесенное на один процент разности ( $h_b - h_{p-p}$ ).

$h_b$  - относительная влажность воздуха  
 $h_{p-p}$  - относительная влажность воздуха над раствором поглощаемого вещества.

Процесс влагопоглощения во времени ( $\tau$ ) изображен графически на рис.3 и представляет из себя кривую насыщения, которую можно разбить на три участка:

$$W = K \cdot (h_b - h_{pp}) \tau$$

$h_{pp}$  - меняется от  $h_{z.t}$ . го  $h_b$  при падении  $W$  к  $W_{min}$

$$\text{II } h_{pp} = h_b - \frac{W_p}{K \cdot \tau} (1 - e^{-u \tau}) \quad u = \frac{\ln \frac{W_p - W_A}{W - W_A}}{\tau} \quad W_{(t)} = W_A = p_{min}$$

$$W = W_A \left( 1 + \frac{h_{pp} - h_{z.t}}{100\% - h_{pp}} \right) \rightarrow \left( \frac{W}{W_A} - 1 \right) (100\% - h_{pp}) = h_{pp} - h_{z.t}$$

$$h_{pp} = \frac{\left( \frac{W}{W_A} - 1 \right) 100\% + h_{z.t}}{1 + \frac{W}{W_A} - 1} = 100\% - \frac{W_A}{W} 100\% + \frac{h_{z.t} \cdot W_A}{W}$$

$$h_{pp} = \frac{100\% W + W_A (h_{z.t} - 100\%)}{W}$$

$$\frac{\Delta W}{\Delta \tau} = K (h_b - h_{pp}) = K \left( \frac{W (h_b - 100\%) + W_A (100\% - h_{z.t})}{W} \right) = \frac{aW + b}{W}$$

$$\frac{dW}{dt} = \frac{aW + b}{W}$$

$$\bullet K (h_{z.t} - 100\%) = a$$

$$K W_A (100\% - h_{z.t}) = b$$

$$W_i = W_{z.t} + \frac{W_{z.t} (h_i - h_{z.t})}{h_{z.t} - h_{z.t}}$$

балансовый зачет упрощен

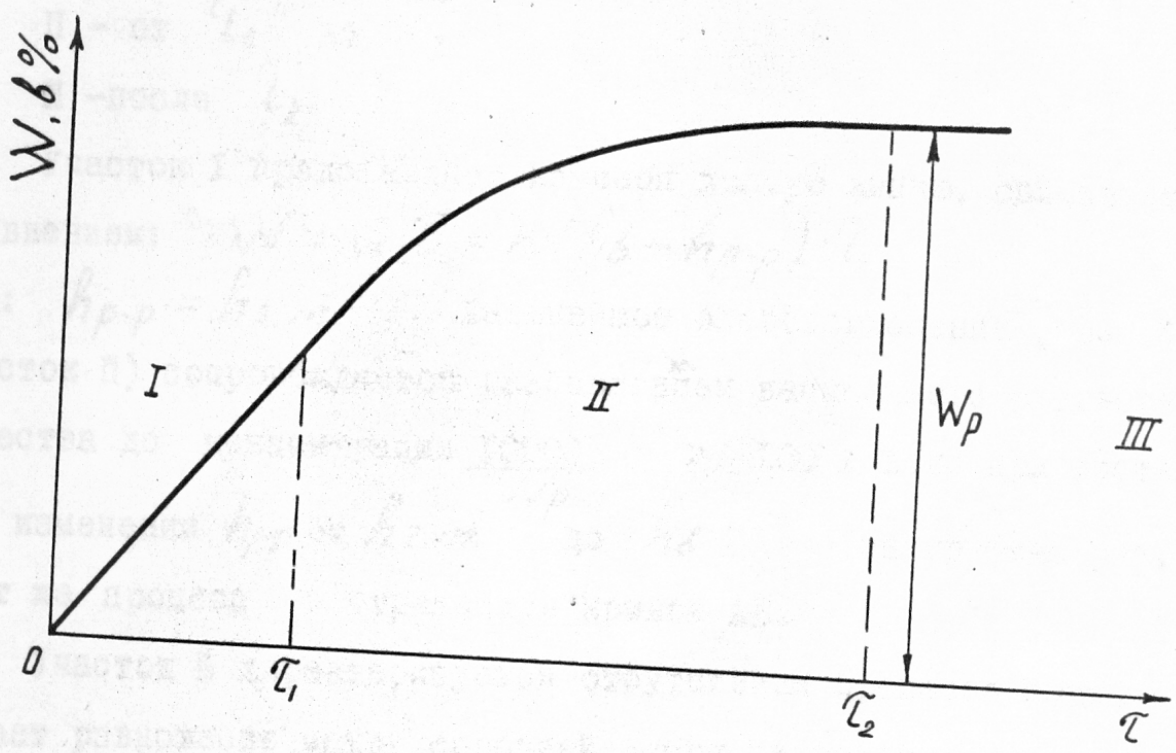


Рис. 3. Зависимость количества поглощаемой влаги от времени.

1. Коэффициент диффузии пара в материале, который зависит от температуры и влажности воздуха.

2. Температура воздуха, которая влияет на скорость испарения влаги.

3. Влажность воздуха, которая влияет на разницу парциальных давлений.

4. Толщина материала, который влияет на путь диффузии.

- I - от 0 до  $\tau_1$   
 II - от  $\tau_1$  до  $\tau_2$   
 III - после  $\tau_2$

Участок I представляет из себя прямую линию, описываемую уравнением:  $W = Q \cdot \tau = K \cdot (h_v - h_{p-p}) \cdot \tau$

где:  $h_{p-p} = h_{г.м.}$  Дальнейшее влагопоглощение (рис.3, участок II) сопровождается разбавлением насыщенного раствора вещества до концентрации  $\frac{10000}{100}$  г / 100 г воды при соответствующем изменении  $h_{p-p}$  от  $h_{г.м.}$  до  $h_v$  - на графике рис. I этот же процесс отражается кривой АБ.

Участок III характеризуется отсутствием процесса сорбции (наступает равновесие между сорбцией влаги из воздуха и десорбцией из раствора в воздухе), т.к.  $h_{p-p}$  становится равной  $h_v$ ,  $Q = 0$ , а величина  $W = W_p$ . Это состояние описывается точкой Б на рис. I.

Среди других факторов, влияющих на скорость влагопоглощения [8, стр.22; 10] можно отметить следующее:

1. Коэффициент скорости поглощения ( $K$ ) - в случае равенства всех условий влагопоглощения при её измерении - постоянная величина для каждого вещества, однако согласно измерениям Пестова

[8, стр.56] изменяется для большинства чистых веществ не более, чем в два раза.

2. Температура - увеличивает скорость процесса [8, стр.18].

3. Поверхность поглощения паров насыщенного раствора на поверхности кристаллов - которая в свою очередь определяется размером и формой кристаллов и всего образца [10]. В процессе сорбции поверхность уменьшается [19], особенно сильно для мелкодисперсных уплотненных порошков.

4. Циркуляция воздуха или расстояние между источником паров и образцом.

5. Прочие факторы.



Суммарное влияние всех факторов определяется конструкцией прибора и применяемой методикой подготовки образца и измерения, поэтому абсолютные значения скоростей увлажнения или коэффициентов скоростей, полученные разными авторами, больше характеризуют прибор и методику, чем сам процесс или вещество.

Например, коэффициент скорости влагопоглощения для нитрата аммония при 25° определенными различными авторами равен 0,01 [25]; 0,23 [26] ; 2,9 [3] в процентах за час на процент разности ( $h_6 - h_{p-p}$ ). Это и не удивительно, так как в работе [25] время измерения длилось до 17 часов, а в работе [27] уже за 1 час устанавливалось равновесное состояние.

Поэтому попытки некоторых авторов [28] предложить шкалу гигроскопичности для оценки скорости влагопоглощения, основанную на абсолютных величинах "коэффициентов гигроскопичности" ( $\gamma$ ) - являются недостаточно обоснованными, тем более, что величина  $\gamma$  зависит, как и следовало ожидать, от условий проведения эксперимента [20], а несовпадение расчетов  $\gamma$  аналитическим и графическим методом признается самими авторами [28].

В связи с этим при характеристике скорости поглощения влаги, видимо, следует использовать не абсолютную, а относительную величину коэффициента скорости поглощения влаги, подобно тому, как это имеет место при определении скорости испарения органических растворителей, где скорость испарения растворителя дается в сравнении со скоростью испарения диэтилового эфира, принимаемой за 100 единиц [29].

Для этого необходимо проводить измерения сорбции исследуемых веществ и вещества сравнения при одной влажности, на одном приборе и по одинаковой методике подготовки образца и методике измерения.

В качестве вещества сравнения можно использовать хлорид калия, принимая его коэффициент скорости влагопоглощения за единицу. Хлорид калия широко применяется в качестве эталонного вещества при изучении гигроскопичности, кроме того он имеет достаточно большую величину участка I.

Относительная влажность воздуха, при которой проводятся измерения можно рекомендовать равной 90 - 95 % т.к. при меньшей влажности, например, при 81% [28] такие вещества как сульфат калия, нитрат серебра, хлорид калия с гигроскопическими точками 97,5; 82,8; 84,3 - будут характеризоваться одинаковой нулевой скоростью. При 100% влажности возможна конденсация паров воды на стенках и образце при отсутствии термостатирования. Влажность лучше создавать насыщенным раствором, можно использовать, согласно [18], раствор хлорида бария, создающего 90,3% относительную влажность или моноаммоний ортофосфат, дающий 92,8 % при 25°C.

Относительно других условий определения скорости следует сказать, что они должны быть одинаковыми, воспроизводимыми и обеспечивать измерение скорости на участке I (рис.3). Необходимо поэтому при определении скорости для каждого нового вещества проверять действительно ли измерения проводятся на участке I, при этом мощность источника паров должна превышать сорбцию влаги образцами

Таким образом, хотя определение одного-двух параметров гигроскопичности часто вполне достаточно для решения конкретной задачи и целесообразно с экономической точки зрения, но оно не дает полной характеристики гигроскопичности вещества.

Для полной характеристики гигроскопических свойств чистого растворимого вещества при определенной температу-

ре необходимо определить:

1. Гигроскопическую точку
2. Растворимость в воде
3. Изотерму сорбции или давления водяного пара на растворами различной концентрации
4. Относительную скорость поглощения влаги.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Богатова Н.Ф. и др., Адсорбция и адсорбенты, сб., 1972, № I, 123-126.

2. Вознесенская И.Е., Микулин Г.И., " Вопросы физической химии растворов электролитов", 1968, Л, изд. " Химия", стр.361-400.

3. Хамский Е.В. Ж. прикл. химии, 1963, 36, № I, 85-90.

4. Шахова Н.А. и др. Ж. прикл. химии, 1975, 48, № 8, 1724-1727.

5. Рейхардт А.А., Ж. физ. химии, 1972, 46, 2045-2047.

6. Сугияма М., Нихон сию гаккайси, 1961, 15, № 3, 128-137.

Цит. по РЖ Химия 1962: 21 К 42.

7. *Wylie R. T., Humidity and Moisture: Measurement and Control in Science and Industry. 1965, 3, 507-517.*

8. Пестов Н.Е. Физико-химические св-ва зернистых и порошкообразных химических продуктов. 1947 г. М.-Л. Изд. АН СССР.

9. *Acheson D. Humidity and Moisture: Measurement and Control in Science and Industry. 1965, 3, 521-530.*

*Перевод ВЦП, Цз-32850, 1975г.*

10. *Markowitz M. M., Boguta D. A., J. Chem. Eng. Data 1961, 6, №1, 16-18. Перевод ВЦП, Цз-32846, 1975г.*

11. Купина Н.А., Труды ЛТИ им. Ленсовета. 1957, вып. 40, 92-III.

12. Шаповалов А.А. и др. Ж. прикл. химии, 1972, 45, № 2, 425-427.
13. Галкин В.И. и др. Ж. физ. химии, 1974, 48, № 3, 617-619.
14. Пустильник Г.А., Хим. пром., 1973, № 49, № II, 844-845.
15. Резник Ф.Я. "Вопросы физической химии растворов электролитов" 1968, Л., изд. "Химия", стр. 222-238.
16. Киргинцев А.Н. и Лукьянов А.В., Ж. физ. химии, 1963, 37, № I, 233-235.
17. Здановский А.Б., Галургия, 1972, Л. изд. "Химия" стр. 87-94.
18. *Young J.F., Journal Appl. Chem.*, 1967, 17, № 9, 241-245. Перевод № 71/46939 ГПНТБ СССР
19. *Shikazawa M. и др., J. Chem. Soc. Jap., Chem. Ind. Chem.* 1972, № 7, 1339-1341. Перевод ВЦП, Ц-36993.
20. Кувшинников И.М. и др., Хим. пром. 1970, № 5, 507-509.
21. Борисов В.М. и др. Труды НИУИФ, 1973, вып. 221.
22. Челеби Г.А. и др. Промышленность мин. удобрений и серной к-ты. Ф Реф. информ. 1973, № 7, 7-9.
23. Жданов Ю.Ф. и Свирина Т.П. там же 1975, № 8, 24-27.
24. Пестов Н.Е., Николаева Н.И., Хим. пром. 1951, № 12, 375-377.
25. Абросимова А.М. и др., Хим. технология н-пр. Сб., 1971, № 6 (60), 3-4.
26. Цеханская Ю.В. и др. Азотная промышленность, технико-эконом. информ. ГИАП, 1974, № 3, 29-33.
27. Крылова Н.Н., Набиев М.Н. Известия АН Уз ССР, 1955, № 10, 29-40.
28. Тихонович З.А. и др. Хим. пром. 1975, № 4, 285-286.
29. Справочник химика, т 6, 1967, Л, изд. "Химия", стр. 118.