

Гороховский А.Г., Шишкина Е.Е., Гороховский А.А.
(УГЛТУ, г. Екатеринбург, РФ) elenashishkina@yandex.ru

МОДЕЛЬ ПОТЕНЦИАЛА ВЛАГОПЕРЕНОСА АГЕНТА СУШКИ THE MODEL OF TRANSFER MOISTURE POTENTIAL OF DRYING AGENT

Известно [1, 2, 3], что сорбция влаги древесиной сопровождается выделением значительного количества энергии. На рисунке 1 приведена опытная кривая теплоты набухания древесины сосны, согласно которой максимальная теплота набухания (при влажностях близких к нулю) достигает 300 ккал/кг поглощенной влаги или 22680 Дж/моль. При влажности древесины близкой к 20 % и большей теплота сорбции становится равной нулю.

Для того чтобы гигроскопическая влага была удалена из древесины, агент сушки должен обладать величиной химического потенциала не меньшей, чем работа (теплота) сорбции влаги древесиной, т.е.

$$A_{\text{сорб}} \leq A, \quad (1)$$

где A – химический потенциал агента сушки;
 $A_{\text{сорб}}$ – работа сорбции влаги древесиной.

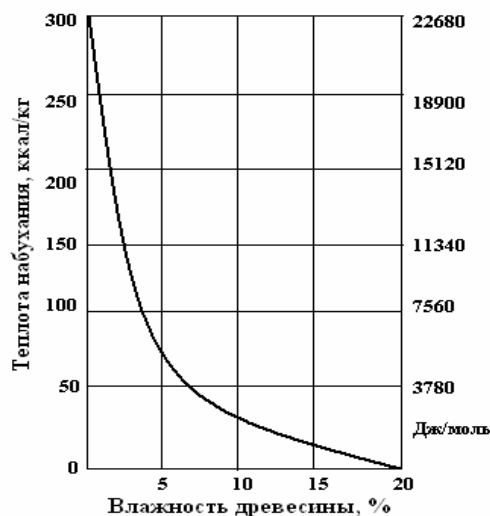


Рисунок 1 – Дифференциальная теплота набухания древесины (при температуре $t = 50^{\circ}\text{C}$, древесина сосны. Опытные данные А.И. Stamm [1])

Химический потенциал агента сушки может быть определен по формуле

$$A = -RT \ln \varphi, \quad (2)$$

где φ – относительная влажность;
 R – универсальная газовая постоянная ($R = 8,31$ Дж/(моль · К));
 T – абсолютная температура, К.

Очевидно, что при $\varphi = 1,0$ химический потенциал агента равен нулю. Удаление влаги из древесины при этом не происходит, влажность древесины стремится к равновесной.

При $\varphi \rightarrow 0$, $A \rightarrow \infty$, однако поскольку практически невозможно создать среду с $\varphi = 0$, то и получить агент сушки с бесконечно большой величиной химического потенциала также невозможно.

Известно также, что в капиллярах достаточно малого радиуса (порядка 10^{-7} см) над мениском жидкости происходит снижение относительного давления пара φ . Согласно формуле Томпсона [4] давление пара над мениском жидкости в капилляре составляет

$$P = P_{\infty} \exp\left(-\frac{2\sigma V_{ж}}{rRT}\right), \text{ Па} \quad (3)$$

Тогда величина коэффициента снижения давления пара (а следовательно и φ) составит

$$K = \frac{P}{P_{\infty}} = \exp\left(-\frac{2\sigma V_{ж}}{rRT}\right), \quad (4)$$

где P – давление пара над мениском жидкости в капилляре радиусом r ;
 P_{∞} – то же при $r_m \rightarrow \infty$ (r_m – радиус мениска);
 σ – поверхностное натяжение жидкости, Н/м;
 $V_{ж}$ – молярный объем жидкости, м³/моль.

В таблице 1 приведены расчетные значения коэффициентов снижения относительного давления водяного пара в капиллярах древесины при различных значениях ее температуры и влажности.

Таблица 1 – Коэффициент снижения давления водяного пара в капиллярах древесины

Температура древесины, К	Влажность древесины, %			
	5,0	10,0	20,0	30,0
303	0,147	0,258	0,384	0,457
333	0,198	0,318	0,443	0,517
363	0,242	0,367	0,492	0,561

Из данных, приведенных в таблице 1 следует, что с повышением температуры и влажности древесины относительное снижение давления пара становится менее существенным, хотя и достаточно заметным.

Так максимальное снижение может достигать 6,8 раза ($T = 303$ К, $W = 5$ %). В то же время при $T = 363$ К, $W = 20$ % снижение давления составляет примерно 2 раза.

Выражение для величины химического потенциала при этом приобретает вид

$$A = -RT \ln(K_{сн} \varphi), \quad (5)$$

где $K_{сн}$ – коэффициент снижения (табл. 1).

В таблице 2 приведены расчетные значения химического потенциала агента сушки, соответствующие некоторым значениям равновесной влажности древесины. Из данных таблицы 2 следует, что химический потенциал в приведенном диапазоне мало зависит от значений температуры агента, практически полностью определяясь величиной равновесной влажности, точнее, степенью насыщенности среды (при заданной температуре).

Из данных рисунка 2 можно заключить, что расчетные значения химического потенциала достаточно близко совпадают с экспериментальными данными А. Stamm [1] по теплоте сорбции древесины сосны. Причем значения химического потенциала

несколько превышают значения работы сорбции, что отвечает (1). Исключение составляет зона экстремально низкой влажности древесины (менее 5 %), для которой значения химического потенциала оказались ниже работы сорбции. Возможно это связано с неточностью определения ϕ для малых u_p , а также с неопределенностью точного значения коэффициента понижения для данных значений равновесной влажности. Таким образом, величина химического потенциала может служить косвенной оценкой равновесной влажности среды, а, с другой стороны, можно заключить, что в приведенном диапазоне температур агент обладает достаточным химическим, а значит и влагопереносным потенциалом для сушки древесины до требуемых практическими нуждами значений.

Таблица 2 – Расчетные значения химического потенциала агента сушки

Параметр	Температура, К											
	330				333				363			
Равновесная влажность, %	2,5	5,0	10,0	15,0	2,5	5,0	10,0	15,0	2,5	5,0	10,0	15,0
Степень насыщенности сферы	0,1	0,24	0,59	0,78	0,12	0,32	0,68	0,85	0,175	0,4	0,775	0,9
То же, с учетом коэффициента снижения	0,0147	0,0353	0,152	0,332	0,0294	0,0774	0,216	0,365	0,042	0,0968	0,284	0,387
Химический потенциал, Дж/(моль·К)	10626	8420	4744	2770	9206	7083	4239	2786	9562	7044	3798	2863



Рисунок 2 – Химический потенциал среды и равновесная влажность древесины ((1 – 4) – теплота сорбции (по графику А. Stamm, рисунок 1))
Химический потенциал, К: ■ - 303; □ - 333; ▤ - 363.

Значительный интерес также представляет определение значения химического потенциала агента сушки образцов при определении влажности древесины сушильно-весовым методом [5].

Дело в том, что согласно ГОСТ 16588-91 нормируется значение температуры в сушильном шкафу: 103 ± 2 °С, но никак не оговаривается степень насыщенности сушильного агента.

С другой стороны нормальными условиями для производственных лабораторий считаются: $t = 20$ °С, $\varphi = 0,4 - 0,6$.

Если считать, что в сушильный шкаф, расположенный в помещении лаборатории поступает воздух с выше указанными параметрами, то после нагревания его до 105 °С степень насыщенности приобретает значение $\varphi = 0,063 - 0,097$, с учетом коэффициента понижения химической потенциал агента с такими параметрами составит:

$$A = 18845 - 20278 \text{ Дж/моль.}$$

Это соответствует по графику А. Stamm (рисунок 1) значению равновесной влажности $U_p = 0,72 - 1,15\%$.

Это свидетельствует о том, что при определении влажности сушильно-весовым методом возникает систематическая погрешность близкая к 1% абсолютной влажности. Но поскольку такая погрешность возникает при каждом изменении, то с целью упрощения ей можно пренебречь, особенно при практическом определении влажности в условиях производства.

Выводы:

1. Для того чтобы гигроскопическая влага была удалена из древесины, агент сушки должен обладать величиной химического потенциала не меньшей, чем работа сорбции влаги древесиной.

2. Расчетные значения химического потенциала достаточно близко совпадают с экспериментальными данными по теплоте сорбции древесины сосны. Таким образом, значение химического потенциала может служить косвенной оценкой величины равновесной влажности среды.

3. При определении влажности древесины сушильно-весовым методом возникает систематическая погрешность, близкая к 1 % абсолютной влажности. Это связано с тем, что агент в сушильном шкафу лаборатории не обладает достаточным по величине химическим потенциалом.

Библиографический список

1. Кречетов, И.В. Сушка древесины [Текст] / И.В. Кречетов. М.: Лесн. пром-сть, 1977.
2. Шубин, Г.С. Сушка и тепловая обработка древесины [Текст] / Г.С Шубин. М.: Лесн. пром-сть, 1990. 336 с.
3. Никитин, В.М. Химия древесины [Текст] / В.М. Никитин, А.В. Аболенская, В.П. Щеголев. М.: Лесн. пром-сть, 1978. 368 с.
4. Никитина, Л.М. Термодинамические параметры и коэффициенты массопереноса во влажных материалах [Текст] / Л.М. Никитина. М: Энергия, 1968. 499 с.
5. ГОСТ 16588 – 91 Пилопродукция и деревянные детали. Методы определения влажности [Текст]. М.: Изд-во стандартов, 1992.