

ОБ ЭКСПЕРИМЕНТЕ ПО ИЗМЕРЕНИЮ КОЭФФИЦИЕНТА ДИФФУЗИИ ВЛАГИ В ОБРАЗЦАХ ИЗ ДЕРЕВА

В данной статье представлены результаты экспериментального исследования, в ходе которого проводилась апробация метода измерения коэффициента диффузии влаги в капиллярно-пористых материалах, изложенной ранее в работах [1, 2]. Сначала будет дана краткая характеристика методики измерения, а затем мы перейдем к более подробному изложению результатов эксперимента.

На рис. 1 приведена иллюстрация к проведению эксперимента.

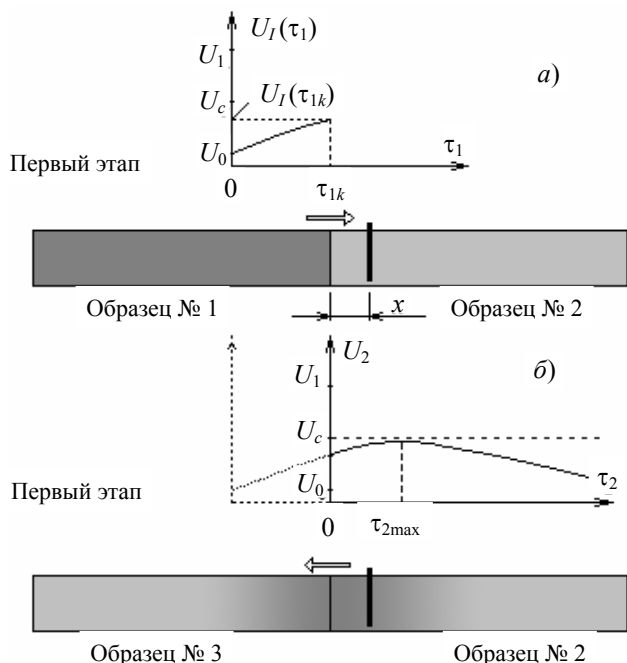


Рис. 1 Изменение влагосодержания в месте установки гальванопары:

a – при контакте образцов № 1 и № 2 на первом этапе;

б – при контакте образцов № 2 и № 3 на втором этапе эксперимента

Физическая модель измерительного устройства представляет собой систему, состоящую из двух полубесконечных образцов материала, приведенных в контакт, и специального датчика влажности, вмонтированного в образец № 2. Размеры образцов должны быть согласованы с математическим описанием процесса измерения, где они фигурируют как полубесконечные тела. Для целей измерения подготавливаются три образца. Образцы № 2 и № 3 перед началом эксперимента имеют влагосодержание U_0 , а № 1 – $U_1 > U_0$. В образец № 2 на расстоянии x от поверхности соприкосновения образцов монтируется гальванопара Zn-Cu, реагирующая на влажность.

Эксперимент проводится в два этапа. На первом этапе, длительность которого обозначается τ_{1k} , подготовленные образцы № 1 и 2, приводятся в плотное соединение. За счет диффузии, направление которой на рис. 1 показано стрелками, некоторое количество влаги успевает перейти из более влажного образца (№ 1) в менее влажный (№ 2), сосредотачиваясь, в большей мере, около поверхности соприкосновения образцов. Как показано на графике, в конце первого этапа влагосодержание становится равным $U_I(\tau_{1k})$, причем $U_I(\tau_{1k}) > U_0$.

После проведения первого этапа образцы № 1 и № 2 разъединяют, и образец № 2 как можно быстрее приводят в плотное соприкосновение с образцом № 3. На втором этапе влага начинает диффундировать в направлении от образца № 2 к образцу № 3. Таким образом, в сечении x некоторое время (обозначим его τ_{2max}) происходит увеличение влагосодержания, а затем оно начинает постепенно уменьшаться.

Основная идея метода измерения состоит в нахождении времени наступления максимального влагосодержания τ_{2max} во втором образце с последующим определением коэффициента диффузии влаги [1]. Особенность разрабатываемого метода состоит в том, что время наступления максимального влагосодержания τ_{2max} не зависит от начальных значений влагосодержания U_0 и U_1 . В работе [2] получено уравнение, которое позволяет по найденному в эксперименте значению τ_{2max} найти коэффициент диффузии a .

Мы проводили измерение коэффициента диффузии воды в образцах из бука и сосны в направлении волокон. Были подготовлены 4 серии образцов: в каждой было по три образца, соответственно № 1, № 2 и № 3. Всего было проведено 4 эксперимента, в соответствии с номерами серий: 1, 2 – бук; 3, 4 – сосна. Образцы серий 1, 3, 4 выдерживались в эксикаторах два месяца. Образцы из бука, входящие в серию 2,

выдерживались один месяц. Образец № 1 каждой серии выдерживался во влажной среде, а два других (№ 2 и № 3) – в условиях минимальной влажности. Все поверхности образцов, кроме поверхностей соприкосновения, перед помещением в эксикатор, изолировались полиэтиленовой пленкой, обмотанной плотно вокруг и закрепленной скотчем. В образец № 2, перед помещением в эксикатор, заранее монтировались два тонких стержня диаметром 0,5 мм: цинковый и медный (рис. 2).

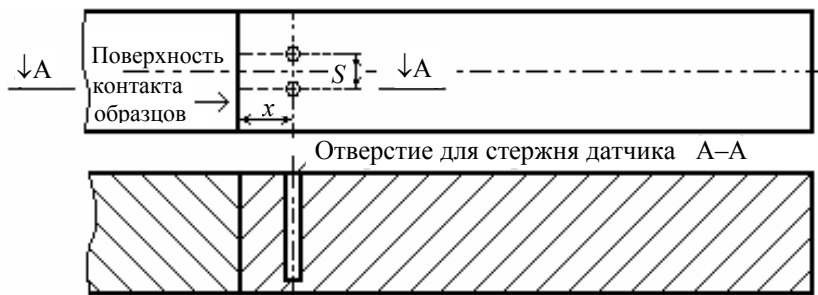


Рис. 2 Установка гальванопары в образце № 2 (вид сверху)

В ходе эксперимента, на первом этапе, образцы № 1 и № 2 плотно соединяются и, в течение времени τ_{1k} , влага диффундирует из образца № 1 в образец № 2. На втором этапе образцы № 1 и № 2 разъединяют, после чего в плотный контакт приводятся образцы № 2 и № 3. На протяжении обоих этапов осуществляется запись показаний микровольтметра ЩЗ1, к которому подключен датчик влагосодержания.

Для нахождения коэффициента диффузии необходимо решить нелинейное уравнение относительно переменной α с использованием численных методов (мы обозначили $\alpha = \tau_{1k} / [4Fo_{2\max}(\tau_{2\max} + \tau_{1k})]$)

$$\sqrt{\pi} [1 + \operatorname{erf}(\sqrt{\alpha})] e^{\alpha \tau_{2\max}^2} - \sqrt{\tau_{2\max}(\tau_{2\max} + \tau_{1k})} [3\tau_{2\max} + \sqrt{\pi} \tau_{1k}] = 0.$$

Здесь $Fo_{2\max} = a\tau_{2\max} / x^2$ – число Фурье. После решения уравнения (1), по формуле $a = x^2 \tau_{1k} / [4\alpha(\tau_{2\max} + \tau_{1k})\tau_{2\max}]$ находим искомый коэффициент диффузии a . Результаты измерений показаны на рис. 3 и рис. 4. По оси ординат отложены показания микровольтметра, к которому подключена гальванопара.

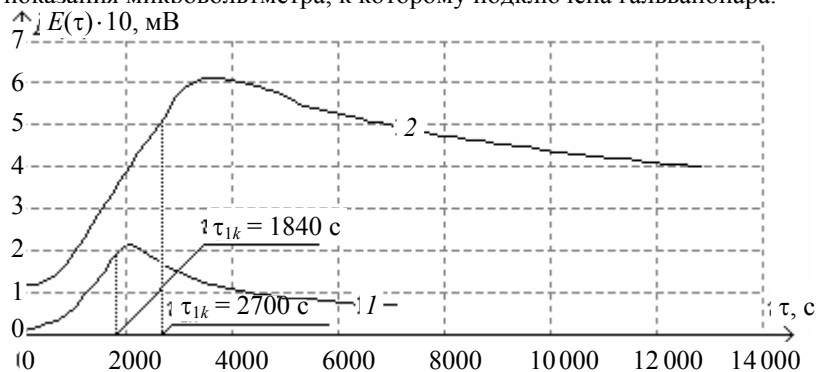


Рис. 3 Показания микровольтметра для бука:

1 – при $\tau_{1k} = 1840$ с, $x = 2$ мм; 2 – при $\tau_{1k} = 2700$ с, $x = 3$ мм

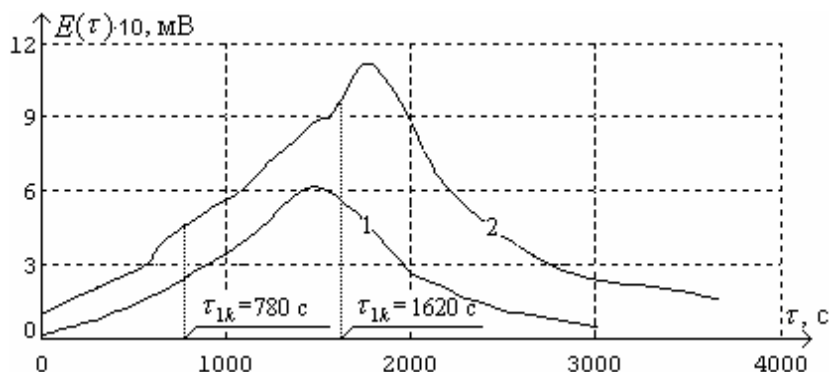


Рис. 4 Показания микровольтметра для сосны:

1 – при $\tau_{1k} = 780$ с, $x = 4,5$ мм; 2 – при $\tau_{1k} = 1620$ с, $x = 3$ мм

Погрешность найденных коэффициентов диффузии оценивалась по формуле

$$\left(\frac{\Delta a}{a}\right) = \frac{1}{a} \sqrt{\left(\frac{\partial a}{\partial \tau_{1k}} \Delta \tau_{1k}\right)^2 + \left(\frac{\partial a}{\partial x} \Delta x\right)^2 + \left(\frac{\partial a}{\partial \tau_{2\max}} \Delta \tau_{2\max}\right)^2}. \quad (2)$$

Принимались $\Delta \tau_{1k} = 60$ с (погрешность обусловлена задержкой наступления второго этапа), мм. Погрешность нахождения $\tau_{2\max}$ ранее нами исследовалась в вычислительном эксперименте [2] и составляет $\approx 9\%$. Результаты расчетов сведены в табл. 1.

1 Основные результаты эксперимента

Серия		τ_{1k} , с	x , мм	s , мм	$\tau_{2\max}$, с	a , м ² /с	$\Delta a/a$, %
Бук	1	2700	3	6	900	$1,18 \cdot 10^{-9}$	17,6
	2	1840	2	4	260	$1,33 \cdot 10^{-9}$	25,7
Сосна	3	1620	3	5	120	$5,18 \cdot 10^{-9}$	17,8
	4	780	4,5	5	600	$5,23 \cdot 10^{-9}$	13,1

В заключении отметим, что в результате апробации были получены позитивные результаты, свидетельствующие о подтверждении основных идей разрабатываемого метода.

Дальнейшее усовершенствование метода заключается в отказе от непосредственного измерения времени наступления максимального влагосодержания, в переходе к его косвенному определению [2]. Параметры, определяющие особенности проведения эксперимента, необходимо выбирать по результатам оптимизации. В совокупности эти действия позволят уменьшить погрешность измерения коэффициента диффузии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Толстых С.Г. Математическая модель метода измерения коэффициента диффузии // Труды ТГТУ. Тамбов, 2001. Вып. 8. С. 3 – 11.
- 2 Мищенко С.В., Пономарев С.В., Толстых С.Г., Толстых С.С. К вопросу о погрешностях измерения коэффициента диффузии пористых материалов // Вестник ТГТУ. 2003. Т. 9. С. 150 – 165.

Кафедра «Автоматизированные системы и приборы»