

## ТЕРМОПОЛЯРИЗАЦИОННЫЕ ЯВЛЕНИЯ В ДРЕВЕСНОМ СЛОЕ

© 2008 г. Н.Ю. ЕВСИКОВА, Н.Н. МАТВЕЕВ, В.В. ПОСТНИКОВ,  
Н.С. КАМАЛОВА, В.И. ЛИСИЦЫН

Воронежская государственная лесотехническая академия

e-mail: vvpost@icmail.ru

Используя представления современной физики полимеров, такой сложный биокompозит как древесина можно упрощенно моделировать в виде кристаллической целлюлозы, «растворенной» в аморфном лигнине. Последний можно отнести к высокоэластичным веществам, коэффициент теплового расширения которых значительно превышает коэффициент расширения кристалла (см., например, работу [1] и литературу к ней).

В рамках таких представлений легко предположить, что в неоднородном температурном поле лигнин может испытывать неравномерное расширение или сжатие, сопровождающееся возникновением в нем напряжения в направлении неравномерности, равное:  $\sigma = -E_l \alpha \delta T$ . Здесь  $\delta T$  - неоднородность температуры,  $\alpha$  - коэффициент расширения лигнина,  $E_l$  - коэффициент Юнга лигнина.

В свою очередь тепловое расширение лигнина приведет к деформации кристаллической целлюлозы в древесине. Причем величину деформации можно оценить как  $\Delta r = E_l / E_c \alpha \delta T = \mu_c \alpha \delta T$ , где  $E_c$  - модуль Юнга целлюлозы в направлении неравномерности температуры. Как известно, целлюлоза находится в кристаллическом состоянии вплоть до температур деструкции и обладает пьезоэлектрическими свойствами [2], кроме того, три из четырех модификаций ее кристалла принадлежат к пироэлектрическому классу. Таким образом, тепловое сжатие или растяжение лигнина повлечет за собой пьезоэлектрический эффект в кристаллической целлюлозе. Деформация пьезокристалла в поле спонтанной поляризации будет сопровождаться появлением электрического поля термического происхождения, индукцию  $dD_i$  которого можно представить в виде:

$$dD_i = \varepsilon_0 \varepsilon_{ij} dE_j + \gamma_i dT - d_{ijk} c_{ijkl} \mu_{kl} \alpha dT. \quad (1)$$

Здесь  $\gamma_i$  - пироэлектрический коэффициент целлюлозы,  $\varepsilon_{ij}$  – тензор диэлектрической проницаемости,  $d_{ijk}$  – тензор пьезоэлектрических модулей, а  $\sigma_{jk} = c_{ijkl} \alpha_{kl} dT$  – механические напряжения, возникающие в древесине при малом изменении температуры  $dT$ . Данное выражение трудно анализировать, но, учитывая особенности пьезоэлектрических свойств кристаллической целлюлозы, можно заменить его без особых потерь на оценочное:

$$dD_R = \varepsilon_0 \varepsilon_R dE_j + \gamma_R \mu_p dT - d_R E_R \mu_c \alpha dT \quad (2)$$

Здесь  $\varepsilon_R, \gamma_R, d_R, E_R$  - экспериментально полученные максимальные значения составляющих тензоров диэлектрической проницаемости, пироэлектрического коэф-

фициента, пьезоэлектрических модулей и модуля Юнга для древесины в радиальном направлении.

Для расчета электрического поля, возникающего в древесном слое при наличии неоднородности температуры в направлении оси Y, воспользуемся уравнением Пуассона

$$\operatorname{div}D = \rho,$$

которое, учитывая, что свободных зарядов в древесине нет ( $\rho = 0$ ), можно переписать в виде:

$$\operatorname{div}D = 0. \quad (3)$$

Подставляя (2) в (3), найдем

$$\varepsilon_0 \varepsilon_R \frac{dE}{dy} + (\gamma_R \mu_p - d_R E_R \mu_c \alpha) \frac{dT}{dy} = 0,$$

откуда получается оценочное выражение для напряженности электрического поля в слое, вызванное неоднородным температурным полем:

$$E = (d_R E_R \mu_c \alpha - \gamma_R \mu_R) \frac{\delta T}{\varepsilon_0 \varepsilon_R}. \quad (4)$$

Величины  $\mu_c, \mu_R$  имеют определенный физический смысл, связаны с возможностью поляризации сегментов молекул целлюлозы при механическом и термическом воздействиях и зависят от особенностей биологического происхождения древесины. Экспериментальная проверка соотношения (4) осуществлялась следующим образом.

Для измерения разности потенциалов, возникающей в тонком древесном слое в неоднородном температурном поле, использовалась установка с универсальной ячейкой (Рис. 1.). Исследуемый образец 1 в виде тонкого среза толщиной  $l_0$  помещался

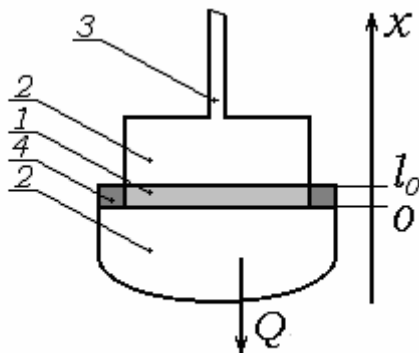


Рис. 1. Схема измерения термостимулированной разности потенциалов. Измерительная ячейка.

между двумя массивными измерительными электродами (2). Верхний электрод имеет теплоотвод (3), массу которого можно изменять, задавая тем самым величину неоднородности температуры по толщине образца. Температура нижнего электрода изменялась по линейному закону  $T_n = T_0 \pm \beta t$ , где  $\beta$  - скорость изменения температуры. Теоретическое решение задачи о распространении тепла в рассматриваемом тонком слое полимера приведено в работе [3] в виде зависимости температуры верхнего электрода от времени:

$$T_B = T_n \mp \frac{m_3 C_3}{\lambda_0 S} \left(1 - \frac{m_0 C_0}{m_3 C_3}\right).$$

Здесь  $C_0, C_3$  - удельные теплоемкости образца и материала электрода,  $m_0, m_3$  - масса образца и верхнего электрода соответственно. Таким образом, можно создавать в образце неоднородное температурное поле с постоянной во времени неоднородностью, вызванной слабой теплопроводностью древесины

$$\delta T = \frac{m_3 C_3}{\lambda_0 S} \left(1 - \frac{m_0 C_0}{m_3 C_3}\right).$$

В качестве объектов исследования использовались продольные срезы сухой березы, размером 10x10x0,5мм. Для измерений разности потенциалов использовался мультиметр МУ 62. Перед измерениями была произведена электроочистка образцов.

На Рис. 2 приведены результаты возникновения типичной разности потенциалов, измеренной при равномерном нагревании и охлаждении нижнего электрода. Образцы охлаждались и нагревались с различной скоростью.

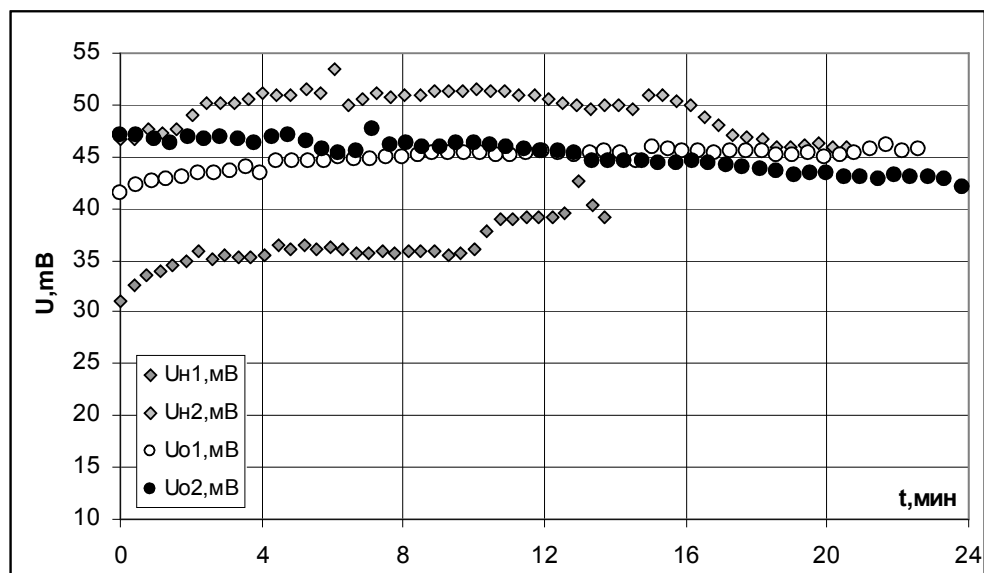


Рис. 2. Разность потенциалов в продольном срезе натуральной березы при плавном нагревании ( $U_n$ ) и охлаждении ( $U_o$ ).

Результаты измерений показали:

1. В температурном поле неизменной неоднородности в слое натуральной березы возникает постоянная во времени разность потенциалов, составляющая в среднем 35- 50 мВ.

2. При равномерном охлаждении образцов возникающая разность потенциалов (45мВ) практически не зависит от скорости охлаждения образца.

Полученные результаты подтверждают теоретические предположения о возникновении в природной древесине полей термического происхождения вследствие взаимодействия в неоднородном температурном поле основных составляющих этого сложного биокompозита.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Матвеев Н.Н., Постников В.В., Саушкин В.В.. Поляризационные эффекты в кристаллизующихся полимерах. – Воронеж: ВГЛТА, 2000. – 170 с.
2. Баженов В.А. Пьезоэлектрические свойства древесины. М: Академия наук, 1959. – 200с.
3. Камалова Н.С., Евсикова Н.Ю., Матвеев Н.Н., Постников В.В., Янковский А.В. Методика получения неоднородного температурного поля для исследования поляризационных эффектов в кристаллизующихся //Физика диэлектриков (Диэлектрики – 2004): материалы X международной. конференции. СПб, 2004. С. 295-297.