

## ПРОНИЦАЕМОСТЬ ДРЕВЕСИНЫ ПРОПИТОЧНЫМИ СОСТАВАМИ НА ОСНОВЕ МОЧЕВИНОФОРМАЛЬДЕГИДНОЙ И ПОЛИЭФИРНОЙ СМОЛ

Изучение проницаемости древесины основывается на исследовании фильтрации жидкости через образец. Проницаемость древесины является характеристикой эффективного сечения ее проводящей системы, которая лимитирует поглощение пропиточного раствора. Коэффициент проницаемости определяется сечением проводящей системы и характеризует радиус эффективного капилляра.

При исследовании проницаемости древесины перепад давления на образце обычно относят к потерям давления внутри образца, т. е. в материале. Однако входная и выходная поверхности образца представляют собой значительное местное сопротивление и могут оказать существенное влияние на фильтрацию жидкости через образец. В соответствии с этим исследование проницаемости древесины следует проводить с учетом потери давления  $P$  на входе и выходе поверхности образца, а указанные поверхности необходимо характеризовать коэффициентом поверхностного сопротивления [1].

Для определения коэффициентов проницаемости  $K$  и поверхностного сопротивления  $\xi$  разработана специальная методика, в соответствии с которой рассмотрена фильтрация пропиточного состава под действием избыточного давления  $P_1$  через образец древесины толщиной  $\delta_1$  и  $\delta_2$ . При этом определяют удельный массовый расход жидкости через каждый образец.

Перепад давления на образце состоит из потерь давления на входной и выходной поверхностях и в материале:

$$P_1 - P_2 = \Delta P_{\text{вх}} + \Delta P_{\text{н}} + \Delta P_{\text{вых}}. \quad (1)$$

Потери давления на входной поверхности

$$\Delta P_{\text{вх}} = \xi (q_m^2 / 2\rho),$$

где  $\xi$  — коэффициент поверхностного сопротивления;  $q_m$  — удельный массовый поток жидкости через образец,  $\text{кг/м}^2 \cdot \text{с}$ ;  $\rho$  — плотность жидкости,  $\text{кг/м}^3$ .

Потери давления на выходной поверхности полагаются такими же, как и на входной, тогда потери давления на входной и выходной поверхностях

$$\Delta P_{\text{н}} = (\nu \delta q_m) / K. \quad (2)$$

Потери давления в материале в соответствии с законом Дарси

$$\Delta P_{\text{вх}} + P_{\text{вых}} = 2\xi \frac{q_m^2}{2\rho} = \xi \frac{q_m^2}{\rho}, \quad (3)$$

где  $\xi$  — коэффициент проницаемости;  $\nu$  — кинематическая вязкость;  $\delta$  — толщина образца, м

Подставив уравнения (2) и (3) в уравнение (1), получим

$$P_1 - P_2 = \xi \frac{q_m^2}{\rho} + \frac{\nu \delta q_m}{K} \quad (4)$$

Для определения коэффициентов проницаемости  $K$  и поверхностного сопротивления  $\xi$  рассмотрим уравнение (4) при постоянном перепаде давления  $(P_1 - P_2)$ , двух различных толщинах образца  $\delta_1$  и  $\delta_2$  и, следовательно, разных расходах жидкости через образец:

$$(P_1 - P_2) = \xi \frac{q_{m_1}^2}{\rho} + \frac{\nu \delta_1 q_{m_1}}{K} ; \quad (5)$$

$$(P_1 - P_2) = \xi \frac{q_{m_2}^2}{\rho} + \frac{\nu \delta_2 q_{m_2}}{K} . \quad (6)$$

Умножив уравнение (5) на  $q_{m_2}$ , а уравнение (6) на  $q_{m_1}$  и вычтя из уравнения (5) уравнение (6), определим

$$\bar{K} = \frac{\nu}{P} \cdot \frac{\bar{q}_{m_1} \bar{q}_{m_2} (\delta_1 \bar{q}_{m_2} - \delta_2 q_{m_1})}{(\bar{q}_{m_2}^2 - \bar{q}_{m_1}^2)} ; \quad (7)$$

$$\bar{\xi} = \frac{\rho P}{q_{m_1} q_{m_2}} \cdot \left( \frac{\delta_1 \bar{q}_{m_1} - \delta_2 \bar{q}_{m_2}}{\delta_1 \bar{q}_{m_2} - \delta_2 \bar{q}_{m_1}} \right).$$

Расчет коэффициента проницаемости  $K$  приводится по среднеарифметическим значениям параметров, входящих в уравнение (7) и в результате статистической обработки серии определенных параллельных измерений. Погрешность определения коэффициента проницаемости  $K$  (доверительный интервал) зависит от погрешностей определения входящих в уравнение (7) параметров. Полагая

$$K = f(\delta_1; \delta_2; q_{m_1}; q_{m_2}; \Delta P),$$

определяем абсолютную погрешность

$$\Delta K = \sqrt{\left(\frac{\partial K}{\partial P}\right)^2 (\Delta P)^2 + \left(\frac{\partial K}{\partial \delta_1}\right)^2 (\Delta \delta_1)^2 + \left(\frac{\partial K}{\partial \delta_2}\right)^2 (\Delta \delta_2)^2 + \left(\frac{\partial K}{\partial q_{m_1}}\right)^2 (\Delta q_{m_1})^2 + \left(\frac{\partial K}{\partial q_{m_2}}\right)^2 (\Delta q_{m_2})^2},$$

где  $\frac{\partial K}{\partial P}$ ,  $\frac{\partial K}{\partial \delta_1}$ ,  $\frac{\partial K}{\partial \delta_2}$ ,  $\frac{\partial K}{\partial q_{m_1}}$ ,  $\frac{\partial K}{\partial q_{m_2}}$  находим путем дифференцирования выражения (7) при постоянном значении остальных параметров.

Аналогичным образом полагаем, что

$$\xi = f(\delta_1; \delta_2; q_{m_1}; q_{m_2}; \Delta P).$$

Таким образом, абсолютная погрешность коэффициента поверхностного сопротивления

$$\Delta \xi = \sqrt{\left(\frac{\partial \xi}{\partial P}\right)^2 (\Delta P)^2 + \left(\frac{\partial \xi}{\partial \delta_1}\right)^2 (\Delta \delta_1)^2 + \left(\frac{\partial \xi}{\partial \delta_2}\right)^2 (\Delta \delta_2)^2 + \left(\frac{\partial \xi}{\partial q_{m_1}}\right)^2 (\Delta q_{m_1})^2 + \left(\frac{\partial \xi}{\partial q_{m_2}}\right)^2 (\Delta q_{m_2})^2}.$$

Максимальное значение коэффициента поверхностного сопротивления  $\xi_{\max} = \bar{\xi} + \Delta \xi$ .

В качестве пропиточных составов были использованы мочевиноформальдегидная пропиточная смола МФПС-2 (ТУ 13-455-80), кинематическая вязкость и плотность которой составляют соответственно  $23,86 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$  и  $1182 \text{ кг/м}^3$ ; 40 %-й раствор полиэфирной смолы на основе лака ПЭ-232 (ГОСТ 23438-79). Кинематическая вязкость и плотность раствора равны соответственно  $5,1 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$  и  $885 \text{ кг/м}^3$ .

Таблица 1. Результаты экспериментальных исследований по определению коэффициентов проницаемости и поверхностного сопротивления древесины пропиточными составами

Порода древесины	Состав	Избыточное давление $P$ , МПа	Толщина об- разцов $\delta$ , м	Удельный массовый поток $q_m$ , $\text{кг/м}^2 \cdot \text{с}$	Среднее значение коэффици- ента проница- емости $\bar{K} \cdot 10^{12} \text{ м}^2$	Абсо- лютная погреш- ность $\Delta K \cdot 10^{12} \text{ м}^2$	Макси- мальное значение коэффици- ента поверх- ностного сопротив- ления $\xi_{\max} \cdot 10^5$
Ольха	МФПС-2	0,8	$\frac{0,02}{0,04}$	$\frac{4,64}{1,78}$	1,99	0,564	10
Береза	МФПС-2	0,8	$\frac{0,02}{0,04}$	$\frac{7,93}{3,63}$	4,2	1,82	52
Ольха	ПЭ-232	0,8	$\frac{0,02}{0,04}$	$\frac{11,49}{3,94}$	0,94	0,39	8
Береза	ПЭ-232	0,8	$\frac{0,02}{0,04}$	$\frac{11,3}{6,51}$	1,78	0,99	30

Примечание. В числителе указана толщина  $\delta_1$ , в знаменателе — толщина  $\delta_2$ .

Экспериментальное определение коэффициентов заключается в следующем. Образец толщиной  $\delta$  вставляется в патрон установки и зажимается. Создается давление  $P_1$  на жидкость, которая фильтруется через образец. Давление на выходе из образца принимается равным атмосферному ( $P_2 = P_a$ ). Объемный поток жидкости определяем через образец при данном перепаде давления (измеряется объем и время фильтрации жидкости). Удельный массовый поток жидкости находим по формуле

$$q_m = \rho \Delta V / S \Delta \tau ,$$

где  $S$  — площадь образца, через которую фильтруется жидкость;  $V$  — объем жидкости, протекающей за время  $\Delta \tau$ .

Определяется  $q_m$  в течение всего процесса фильтрации.

По результатам измерений была проведена соответствующая статистическая обработка (табл. 1).

Анализ данных табл. 1 свидетельствует о том, что среднее значение коэффициента проницаемости древесины ольхи и березы составом на основе МФПС-2 соответственно в 2,0 и 3,7 раза выше, чем для состава на основе лака ПЭ-232.

Значения коэффициента проницаемости составом на основе лака ПЭ-232 для березы и ольхи перекрываются в пределах доверительного интервала  $\bar{K} - \Delta K < \bar{K} + \Delta K$ . Это свидетельствует об отсутствии значимого различия между коэффициентами проницаемости древесины ольхи и березы составом на основе лака ПЭ-232.

Коэффициент поверхностного сопротивления  $\xi$  при исследовании проницаемости древесины березы и ольхи пропиточными составами на основе мочевиноформальдегидной и полиэфирной смол изменяется в значительных пределах и с учетом доверительного интервала одинаково для данных пород и составов. Максимальное значение, указанное в табл. 1, свидетельствует, что для березы данный параметр в 4–5 раз больше, чем для ольхи.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ш у т о в Г.М. Модифицирование древесины термохимическим способом: Обзор информ. / БелНИИНТИ. — Минск, 1982.

УДК 674.093

М.К. ЯКОВЛЕВ, А.А. ЯНУШКЕВИЧ,  
М.И. КУЛАК

#### ПРИМЕНЕНИЕ СПЛАЙНОВ В МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЯХ ХЛЫСТОВ И БРЕВЕН

Важным инструментом в исследовании технологических процессов обрабатывающих отраслей промышленности являются модели сырья. В лесопилении эту роль играют модели хлыстов и бревен. Математические модели могут