

РАСЧЕТ ПРОЦЕССА ВАКУУМИРОВАНИЯ ДРЕВЕСИНЫ
ВДОЛЬ ВОЛОКОН

Пропитка древесины различными модификаторами является сложным физическим процессом, зависящим от свойств древесины, пропиточного состава и технологических параметров. Глубокая пропитка древесины невозможна без удаления воздуха из материала.

Экспериментальными исследованиями установлено, что вакуумирование древесины длиной до 2—3 м происходит практически вдоль волокон.

С учетом фильтрации газа в макрокапиллярах древесины по закону Дарси и уравнения неразрывности получено дифференциальное уравнение, описывающее изменение давления воздуха в древесине вдоль волокон [1]:

$$\frac{\mu \Pi}{RT} \cdot \frac{\partial P}{\partial \tau} = \frac{k}{a} \left(\left(\frac{\partial P}{\partial x} \right)^2 + P \frac{\partial^2 P}{\partial x^2} \right),$$

где P — давление воздуха, Па; τ — время, с; x — координата по длине образца, м; k — коэффициент проницаемости, м^2 ; Π — пористость древесины; a — коэффициент, $1,53 \text{ Н/с}$; μ — молярная масса воздуха, кг/моль ; R — универсальная газовая постоянная, $\text{Дж/моль} \cdot \text{К}$; T — температура, К .

Начальное условие:

$$P(x, 0) = P_0.$$

Граничные условия в центре образца ($x = 0$):

$$\frac{\partial P(0, \tau)}{\partial x} = 0;$$

на поверхности образца ($x = \delta$):

$$-\frac{k}{a} P(\delta, \tau) = \sqrt{\frac{2\mu}{RT\xi}} P(\delta, \tau) (P(\delta, \tau) - P_c(\tau)),$$

где δ — половина длины образца, м; ξ — коэффициент поверхностного сопротивления; $P_c(\tau)$ — давление воздуха в автоклаве, Па.

Для решения данной задачи использовался метод Кармана [2]. Аппроксимирующая функция давления

$$P(x, \tau) = a_1(\tau) x^2 + a_2(\tau) x + a_3(\tau). \quad (1)$$

В таком случае коэффициент a_1 определялся из дифференциального уравнения

$$\frac{da_1}{d\tau} = \frac{1,5(A_1 a_1 P_c - \frac{dP_c}{d\tau})(1 - A a_1^2 \delta^2)}{\delta^2 [3A a_1 P_c - (1 - A a_1^2 \delta^2)]} \quad (2)$$

а коэффициент

$$a_3(\tau) = -a_1(\tau) \delta^2 + \frac{P_c(\tau)}{1 + A a_1^2(\tau) \delta^2} \quad (3)$$

где

$$A_1 = \frac{2kRT}{\mu Pa} \quad , \quad \frac{m^3 c}{кг} ; \quad A = \frac{2k^2 RT \xi}{a^2 \mu} \quad , \quad \frac{m^4 c^4}{кг^4}.$$

Расчет процесса вакуумирования по уравнениям (1) – (3) выполнялся на ЭВМ [1] для образцов различной длины.

Недостатком данного метода расчета является необходимость выполнения нового расчета на ЭВМ каждый раз при изменении значения какого-либо параметра. Для устранения этого недостатка предлагается использовать не абсолютные значения параметров, а их безразмерные комплексы и критерии.

После анализа и соответствующих преобразований получены следующие выражения для расчета давления воздуха в древесине при ее вакуумировании вдоль волокон:

$$\theta = b_1 X^2 + b_3 ; \quad (4)$$

$$\theta_p = \frac{P}{P_0} ; \quad X = \frac{x}{\delta} ; \quad b_1 = \frac{a_1 \delta^2}{P_0} ; \quad b_3 = \frac{a_3}{P_0} ; \quad \theta_c = \frac{P_c}{P_0} \quad , \quad (5)$$

где введены безразмерные нормированные параметры; θ_p – давление в древесине; X – координата по длине; b_1, b_3 – коэффициенты.

Коэффициент b_1 определяется из дифференциального уравнения

$$\frac{db_1}{dF_0} = \frac{1,5(2b_1 \theta_c - \frac{d\theta_c}{dF_0})(1 - L b_1^2)}{[3L b_1 \theta_c - (1 - L b_1^2)^2]} ; \quad (6)$$

$$b_3 = -b_1 + \frac{\theta_c}{1 - L b_1^2} ,$$

где L – безразмерный параметр, характеризующий соотношение потерь давления на поверхности и потери давления внутри древесины; F_0 – безразмерное время процесса (аналог критерия Фурье);

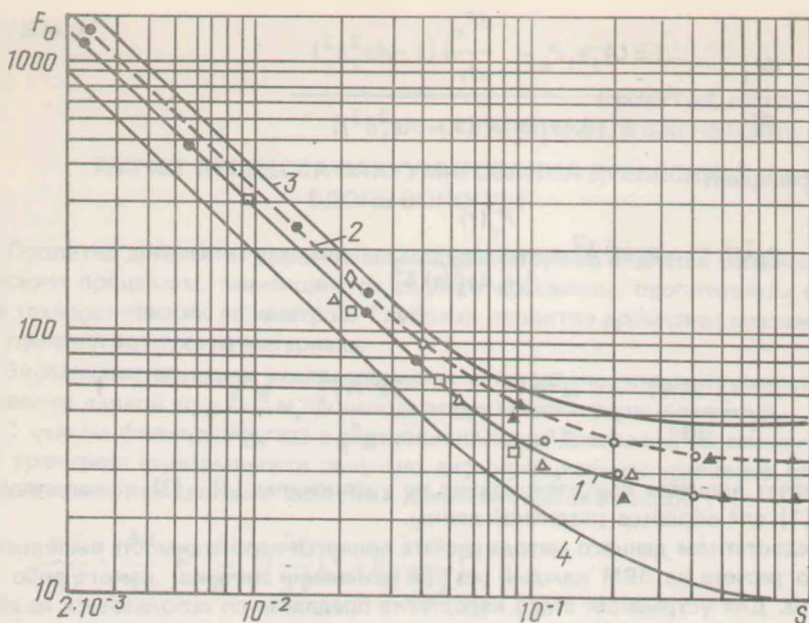


Рис. 1. Зависимость параметров F_0 от S при вакуумировании древесины вдоль волокон (начальное давление $P_0 = 0,1$ МПа, параметр $L = 0,1$):

1 — конечное давление в автоклаве $\theta_{ск} = 0,05$, в древесине $\theta_k = 1,2\theta_{ск}$; 2 — $\theta_{ск} = 0,05$, $\theta_k = 1,05\theta_{ск}$; 3 — $\theta_{ск} = 0,03$, $\theta_k = 1,2\theta_{ск}$; 4 — $\theta_{ск} = 0,13$, $\theta_k = 1,2\theta_{ск}$. (Обозначения данных расчета вакуумирования 1 при $\theta_{ск} = 0,05$, $\theta_k = 1,2\theta_{ск}$ образцов длиной (м): \bullet — 0,5; \square — 1,0; Δ — 1,5; \circ — 2; \blacktriangle — 3; \diamond — экспериментальные значения для $\delta = 0,78$ м при $\theta_{ск} = 0,05$, $\theta_k = 1,2$)

$$L = \frac{2kRTP_0^2\xi}{a^2\mu\delta^2}; \quad F_0 = \frac{kRTP_0\tau}{\mu\Pi a\delta^2} \quad (7)$$

Предположим, давление в автоклаве изменяется по закону

$$\theta_c = \exp(-SF_0); \quad S = \frac{M}{V_0} - \frac{\mu\Pi\delta^2}{kRTP_0} \quad (8)$$

где S — безразмерный параметр, характеризующий производительность вакуумного оборудования M и объем откачиваемого из автоклава воздуха V_0 .

Таким образом, уравнение изменения давления воздуха при вакуумировании древесины вдоль волокон в критериальной форме

$$\theta_p = f(X, F_0, L, S). \quad (9)$$

Представление задачи вакуумирования древесины в безразмерном виде (4) — (9) позволяет существенно расширить область применения расчетных зависимостей.

В качестве примера был выполнен расчет на ЭВМ безразмерного давления θ_p от ряда безразмерных параметров. В качестве исходных параметров использовались конкретные данные вакуумирования березы: $M = 0,1 \text{ м}^3/\text{с}$; $V_0 = 6,8 \text{ м}^3$; $k = 2,4 \cdot 10^{-11} \text{ м}^2$; $\xi = 10^4$; $R = 8,3 \text{ Дж/моль} \cdot \text{К}$; $\mu = 29 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$; $a = 1,53 \text{ Н/с}$; $T = 293 \text{ К}$; $\Pi = 0,64$; $P_0 = 10^5 \text{ Па}$. При этом параметр $L = 0,1$.

Результаты расчета зависимости $F_0(S)$ для различных значений конечного давления воздуха в автоклаве $P_{\text{ск}}$ и в древесине $P_{\text{к}}$ приведены на рис. 1. На этом же графике нанесены точки, соответствующие результатам выполненного ранее расчета [1] для различных размеров образцов при $P_{\text{ск}} = 5 \text{ кПа}$ и $P_{\text{к}} = 6 \text{ кПа}$ ($\theta_{\text{ск}} = 0,05$; $\theta_{\text{к}} = 1,2 \theta_{\text{ск}}$). Данные точки тесно группируются около кривой, соответствующей таким же значениям $\theta_{\text{ск}}$ и $\theta_{\text{к}}$. Это свидетельствует о хорошем описании процесса моделью, выраженной в критериальной форме. Экспериментальные результаты показывают различие с теоретическим значением 13 %, что является вполне удовлетворительным.

Таким образом, приведенные зависимости можно использовать для расчета продолжительности вакуумирования древесины вдоль волокон различных размеров, пород, качества обработки торцевой поверхности и параметров вакуумного оборудования.

Литература

1. Ш у т о в Г.М. Модифицирование древесины термохимическим способом. Мн., 1982.
2. Л ы к о в А.В. Теплообмен. М., 1972.

УДК 658.512.22:674.093

А.А.ЯНУШКЕВИЧ, канд. техн. наук,
М.И. КУЛАК, канд. физ.-мат. наук,
М.К.ЯКОВЛЕВ (БТИ)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ БРЕВНА БИКУБИЧЕСКИМ СПЛАЙНОМ

В настоящее время существуют разнообразные методы моделирования поверхностей. Среди наиболее общих из них можно отметить большой класс таких, как моделирование на основе аналитических и кусочно-аналитических описаний либо в виде тел вращения и др. Общность этих методов состоит в том, что осуществляется попытка приблизить (заменить) данную поверхность к другой, задаваемой небольшим числом легко определяемых параметров. Сравнительно простые поверхности могут быть воспроизведены таким способом. Существует, однако, достаточное число поверхностей (например, так называемые скульптурные), которые не могут быть в принципе приближены подобными методами либо точность приближения неудовлетворительна.