

## МОДЕЛЮВАННЯ ГІДРОБАРОТЕРМІЧНИХ ТА ДИФУЗІЙНИХ ПРОЦЕСІВ ПІД ЧАС ПРЕСУВАННЯ ДЕРЕВНОСТРУЖКОВИХ ПЛИТ

Наведено математичну модель гідробаротермічних та дифузійних процесів, яка дає змогу визначити температуру, вологість, тиск парогазової суміші та твердіння клею деревностружкової плити під час пресування. Встановлено, що закон збереження внутрішньої енергії плити під час пресування визначається рівнянням, у якому перший доданок його правої частини визначає збільшення внутрішньої енергії за рахунок теплопровідності, другий – конвективним теплообміном, третій – випромінюванням тепла під час тверднення клею, четвертий – визначає втрати теплоти, пов'язані з випаровуванням вологи.

**Вступ.** Розглядаючи процеси перенесення тепла під час пресування капілярно-пористих тіл, зокрема деревностружкових плит, зазвичай виділяють такі типи теплообміну: теплопровідність, конвективний теплообмін, випромінювання та дифузію, які відбуваються одночасно, накладаючись один на одного, і утворюють єдиний процес теплоперенесення. Проте, на певних етапах пресування, один із видів теплоперенесення може домінувати над іншими.

**Математична модель.** Математичне моделювання гідробаротермічних і дифузійних процесів під час пресування деревностружкових плит базується на законах перенесення маси речовини Дарсі, Фур'є та Фіка. Ці процеси в кожний момент часу  $\tau$  та в  $i$ -ій точці, яка задається координатами  $(x, y, z)$ , буде визначатися такими характеристиками: температурою  $T$ , вологістю плити  $U$ , тиском парогазової суміші  $P$ , ступенем тверднення клею  $\Theta$ . Для визначення цих характеристик, на основі базових рівнянь, побудовано модель, що є системою диференціальних рівнянь.

На основі закону збереження маси, кількість речовини, що переноситься, визначено рівнянням нерозривності парогазової суміші:

$$PR \frac{\partial \rho_{\text{пар}}}{\partial \tau} = \nabla (k_{\phi} \nabla P(i, \tau)) + \rho_{\text{пар}} \nabla U(i, \tau), \quad (1)$$

де:  $PR$  – пористість деревностружкової плити;  $\rho_{\text{пар}}$  – густина пари, яка визначається рівнянням стану  $\rho_{\text{пар}} = P/(RT)$ ;  $R$  – універсальна газова стала;  $k_{\phi}$  – коефіцієнт фільтрації деревностружкової плити.

Закон збереження внутрішньої енергії плити під час пресування визначається рівнянням (2), де перший доданок правої частини рівняння визначає збільшення внутрішньої енергії за рахунок теплопровідності, другий – конвективним теплообміном, третій – випромінюванням тепла під час тверднення клею, четвертий – визначає втрати теплоти, пов'язані з випаровуванням вологи.

$$C_{\text{пл}} \rho_{\text{пл}} \frac{\partial T(i, \tau)}{\partial \tau} = \nabla (\lambda_{\text{пл}i} \nabla T(i, \tau)) + C_{\text{пар}} k_{\phi} \nabla P(i, \tau) + \rho_{\text{пл}} r (1 - PR) \nabla \Theta - h \nabla U, \quad (2)$$

де:  $\lambda_{\text{пл}i}$  – коефіцієнти теплопровідності плити вздовж відповідних осей;  $\rho_{\text{пл}}$  – густина плити;  $C_{\text{пл}}$ ,  $C_{\text{пар}}$  – відповідно питома теплоємність плити та пари;  $r$  – питома теплота фазового переходу;  $h$  – ентальпія.

У процесі пресування деревностружкової плити випаровування і конденсація рідини має певний гістерис [3] і може бути описано рівнянням

$$\frac{\partial}{\partial \tau}(\rho_{nl}U(i, \tau)) = \nabla(\rho_{nl}D_{вз}\nabla U_{nl}(i, \tau)) + \nabla(\rho_{nap}D_{nap}k_{\phi}), \quad (3)$$

де:  $D_{вз}$  – коефіцієнт дифузії зв'язаної води;  $D_{nap}$  – коефіцієнт дифузії пари.

Доповнює модель четверте емпіричне рівняння твердіння клею

$$\frac{\partial \Theta(i, \tau)}{\partial \tau} = (1 - \Theta(i, \tau)) \cdot (-\ln 0,4 / \tau_{gs}(T, C_c, m)), \quad (4)$$

де:  $\Theta_{gs}$  – степінь тверднення зв'язки до гелеподібного стану;  $\tau_{gs}$  – час переходу до гелеподібного стану;  $C_c$  – концентрація клею;  $m$  – кількість закріпника, %.

Диференціальні рівняння (1)–(4) виведені на основі загальних законів фізики, тому можуть мати безмежну кількість розв'язків. Щоб отримати розв'язок для конкретного випадку, необхідно задати початкові та граничні умови, які залежать від фізичних властивостей тіла та технологічних параметрів пресування.

У початковий момент часу  $\tau_0$  деревностружкова плита розташована в середовищі з температурою  $T_0$ , на неї діє атмосферний тиск  $P_0$ , має початкову вологість  $U_0$ , а клей перебуває в рідкому стані зі ступенем тверднення  $\Theta_0$ , тому початкові умови для цієї моделі такі:

$$T(i, 0) = T_0; \quad P(i, 0) = P_0; \quad (5)$$

$$U(i, 0) = U_0; \quad \Theta(i, 0) = \Theta_0. \quad (6)$$

Граничні умови теплообміну на площинах, паралельних до преса, на основі експериментальних даних, запишемо:

$$T(i, \tau) = T_{np} - A_0 e^{-\kappa \sqrt{\tau}}, \quad (7)$$

де:  $A_0, \kappa$  – емпіричні константи, а  $T_{np}$  – початковий тиск пресу.

Граничні умови теплообміну на бокових поверхнях, які характеризують теплообмін із середовищем, визначаються залежністю:

$$\lambda_{nl} \frac{\partial T(i, \tau)}{\partial i} + \alpha_{nl} (T_c - T(i, \tau)) = 0, \quad (8)$$

де:  $\alpha_{der i}$  – коефіцієнти теплообміну вздовж відповідних осей;  $T_c$  – температура зовнішнього середовища.

Граничні умови масоперенесення на площинах, паралельних до преса, визначаються гідродинамічними коефіцієнтами контактного шару деревностружкової плити і піддону

$$-k'_{\phi} \frac{\partial P(i, \tau)}{\partial z} + \beta'_{nl} (P_a - P(i, \tau)) = 0, \quad (9)$$

де:  $k'_{\phi}$  – коефіцієнт фільтрації;  $\beta'_{nl}$  – коефіцієнт вологообміну плити на площинах, паралельних до преса;  $P_a$  – атмосферний тиск. Всі коефіцієнти моделі визначаються емпіричними залежностями, поданими в [1, 2].

**Висновок.** Математична модель гідробаротермічних і дифузійних процесів враховує анізотропію теплофізичних властивостей та неоднорід-

ність матеріалу і дає змогу прогнозувати значення температури, вологості плити, тиску, парогазової суміші для плит із різними початковими технологічними параметрами та режимами пресування.

### Література

1. Обливин А.Н. Тепло- и массоперенос в производстве древесностружечных плит / А.Н. Обливин. – М. : Изд-во "Лесн. пром-сть", 1978. – 191 с.
2. Петрів О. Дослідження тепломасоперенесення у процесі пресування деревних композитних матеріалів / О. Петрів, Я.І. Соколовський // Промислова гідраліка і автоматика: Всеукраїнський науково-технічний журнал, 2006. – 4(14). – С. 30-34.
3. Thoemen, Heiko. 3D simulation of macroscopic heat and mass transfer properties from the microstructure of wood fibre networks / Heiko Thoemen, Thomas Walther, Andreas Wiegmann // Composites Science and Technology 68 (2008). – PP. 608-616.
4. Truscott S.L. A heterogeneous three-dimensional computational model / S.L. Truscott, I.W. Turner // Applied Mathematical Modelling 29 (2005). – PP. 381-410.

#### **Петрив О.М. Моделирование гидробаротермических и диффузионных процессов при прессовании древесностружечных плит**

Приведена математическая модель гидробаротермических и диффузионных процессов, которая дает возможность определить температуру, влажность, давление парогазовой смеси и отвердевания клея древесностружечной плиты при ее прессовании. Установлено, что закон сохранения внутренней энергии плиты при ее прессовании определяется уравнением, в котором первое слагаемое его правой части определяет увеличение внутренней энергии за счет теплопроводности, второй – конвективным теплообменом, третий – излучением тепла при затвердевании клея, четвертый – определяет потери теплоты, связанные с испарением влаги.

#### **Petriv O.M. Modelling hydro-baro-thermal and diffusion processes during pressing of particleboards**

In article it is presented mathematical model hydro-baro-thermal and diffusion processes which gives the chance to define temperature, humidity, pressure gas-vapor mixture to a mix and harden glue of particleboards during pressing. It is set that the law of conservation of internal energy of flag during pressing is determined equalization in which the first element him right part determines the increase of internal energy due to a heat-conducting, second – by a convective heat exchange, third – by the radiation of heat during the solidifiability of glue, fourth – determines the losses of warmth related to evaporation of moisture.

**УДК 647.047**     *Доц. Л.Я. Сорока, канд. техн. наук – НЛТУ України, м. Львів;  
викл. Н.Л. Сорока, магістр – ВПУ дизайну та будівництва*

### **КОНСТРУКТИВНІ ОСОБЛИВОСТІ ДЕРЕВ'ЯНИХ БУДИНКІВ І ТЕХНОЛОГІЙ ЇХНЬОГО ВИГОТОВЛЕННЯ**

Подано характеристику основним методам виготовлення дерев'яних будинків. Проаналізовано технології виготовлення, а також конструктивні особливості стін дерев'яних будинків. Встановлено, що будинки, виготовлені із зрубу, переважають за довговічністю як брусові, так і каркасні будинки, але великі трудовитрати, значна усадка у процесі експлуатації, а також, з екологічної точки зору, велика витрата деревини, дає підстави стверджувати про доцільність виготовлення будинків каркасної конструкції або із клеєного бруса.

Аналізуючи різні технології виготовлення, а також віковий досвід експлуатації дерев'яних будинків, можна зазначити цілу низку переваг: