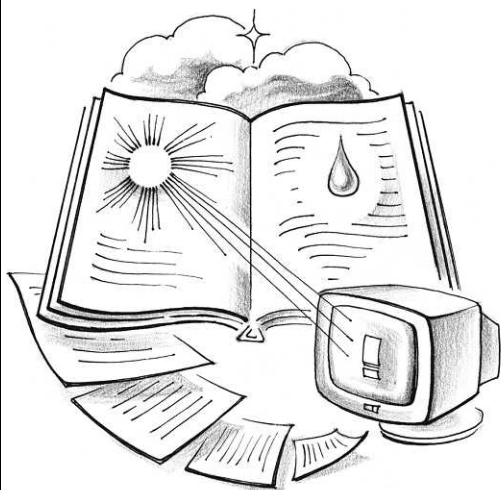




5. ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ГАЛУЗІ

УДК 674.047

*Проф. Я.І. Соколовський, д-р техн. наук;
ст. викл. О.М. Петрів – УкрДЛТУ*

ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ НЕСТАЦІОНАРНИХ ПОЛІВ ТЕПЛОМАСОПЕРЕНОСЕННЯ У ПРОЦЕСІ ПРЕСУВАННЯ ДЕРЕВНОСТРУЖКОВИХ ПЛИТ

Наведено фізико-математичну модель розрахунку динаміки температурно-вологісних полів у процесі пресування деревостружкового пакету з врахуванням фізико-механічних властивостей. Здійснено комп'ютерну реалізацію запропонованої моделі з використанням скінчено-різницевих методів. Виявлено вплив основних факторів процесу на розподіл нестационарних температурно-вологісних полів з врахуванням анізотропії теплофізичних властивостей.

Prof. Ya.I. Sokolowsky; senior teacher O.M. Petriv – USUFWT

Numerical modeling of heat and mass transfer nonstationary fields under pressing process of particle boards

The physico-mathematical model for calculation of the dynamics of thermal and moisture fluxes under pressing process of particle board is presented with takes into account of the physico-mechanical properties. The computer's realisation of proposed model has been done with using of the finite-difference methods. An influence of main process factors on the distribution of nonstationary thermal and moisture fields has been derived in view of anisotropy of physical properties.

Актуальність дослідження. Подальше вдосконалення та впровадження енергоощадних технологій на підприємствах деревообробної галузі є однією з головних умов успішної реалізації формування суспільства сталого розвитку. У вирішенні цієї проблеми значну роль відіграє розроблення нових та вдосконалення існуючих технологій виготовлення деревних композиційних матеріалів, показники якості яких у значній степені визначаються тепломасообмінними процесами і кінетикою твердіння клею в умовах інтенсивних гідробаротермічних навантажень на деревностружковий пакет. Доводиться констатувати, що ці процеси в існуючих умовах підвищення дефіциту енергетичних ресурсів є найбільш енергоємні і недостатньо вивчені. Тому для підвищення ефективності технологічних процесів виготовлення дерев-

ностружкових плит (ДСП) актуальним є подальше розроблення методів синтезу та аналізу тепломасообмінних процесів з врахуванням анізотропії фізико-механічних властивостей матеріалу.

Аналіз відомих результатів. Складність і взаємопов'язаність теплофізичних і хімічних полів у процесі пресування ДСП, особливості анізотропії гідротермічних та фільтраційних характеристик стружкового пакету, їх істотна нелінійність та залежність від вологості, температури, густини, структури та інших факторів обумовлюють важливість розробки фізико-математичної моделі процесу пресування деревностружкових плит. Даній проблемі присвячено цілий ряд наукових фундаментальних досліджень [1, 3-11]. Методи розрахунку, що розроблено на основі [4] не можуть бути використані для дослідження параметрів тепломасоперенесення через відсутність чисельних коефіцієнтів тепломасообміну для високоінтенсивних процесів, яким є процес пресування деревностружкового пакету. Також для даного підходу є проблематичним отримання рівняння фазового переходу.

Важливими і найбільш практично апробованими є дослідження [3, 5-8]. Введення об'ємних коефіцієнтів тепломасоперенесення дає змогу розглядати процеси випаровування і конденсації як подібні. Отже, у більшій мірі отримані моделі можуть бути використані для розрахунку процесів тепломасоперенесення, у яких значну роль відіграє фільтраційна складова перенесення. У подальших дослідженнях врахування границь фазових переходів, кінетики твердіння клею та інших факторів дає змогу отримувати універсальні методи розрахунку процесів пресування ДСП на основі використання рівнянь тепломасоперенесення.

Наявні методи розрахунку та аналізу в основному одномірних полів тепломасоперенесення для процесу пресування деревних композиційних матеріалів не повністю відображають складну багатогранну картину динаміки гідробаротермічних полів. Зокрема, врахування зв'язку вологи з матеріалом, її переміщення в рідкій фазі з одночасним врахуванням границь і коефіцієнтів внутрішнього фазового переходу тепломасоперенесення, дають змогу уніфікувати фізико-математичні моделі у контексті розробки чисельних алгоритмів і програмного забезпечення. Поряд з тим, одномірність описаних методів враховують відведення парогазової суміші лише через торцеві зони пакету. За даними експериментальних досліджень [3] це становить близько 40 % для періодичного способу пресування. Зазначимо, що для більш прогресивнішого безперервного способу у силу рівномірного руху металевих стрічок і кінчної конфігурації пресу, кількість парогазової суміші, виділеної через торці пакету, є ще меншою.

Таким чином, для аналізу і розрахунку технологічних процесів пресування ДСП, прогнозування їх фізико-механічних властивостей необхідно мати інформацію про розподіл температурно-вологісних полів і тиску парогазової суміші, ступінь твердіння клею, формування густини пакету з врахуванням структури анізотропії матеріалу. Такий підхід з врахуванням тримірності пакету зумовлює також розробку чисельних алгоритмів і відповідного програмного забезпечення.

Постановка задачі та фізико-математична модель. Для визначення динаміки температурного $T(x, y, z, \tau)$ і вологісного $U(x, y, z, \tau)$ полів, тиску парогазової суміші $P(x, y, z, \tau)$ у процесі пресування деревностружкового пакету, ступені твердіння клею $\Theta(x, y, z, \tau)$ розглянемо його елементарний об'єм $V = \{0 \leq x \leq b, 0 \leq y \leq l, 0 \leq z \leq h\}$. На зовнішніх площинах, що паралельні площині пресування XOY , діє зусилля P_{np} пресу з температурою T_{np} . Вважаємо, що осі анізотропії пакету збігаються з геометричними осями координат (рис. 1).

Для синтезу фізико-математичної моделі, враховуючи високоінтенсивність за температурою процесу пресування, прийнемо, що перенесення маси здійснюється рухом парогазової суміші, яка описується законом Дарсі, а також термодифузією вологи зумовленими фазовими переходами. Конденсація пари із врахуванням фазового переходу пов'язана з температурою кипіння рівнянням насичення. Оскільки в процесі нагрівання деревностружкового пакету неконденсований газ (повітря) майже повністю витісняється через торці, то парціальний тиск неконденсованих газів можна вважати сталим. Тоді рівняння нерозривності для парогазової суміші має вигляд

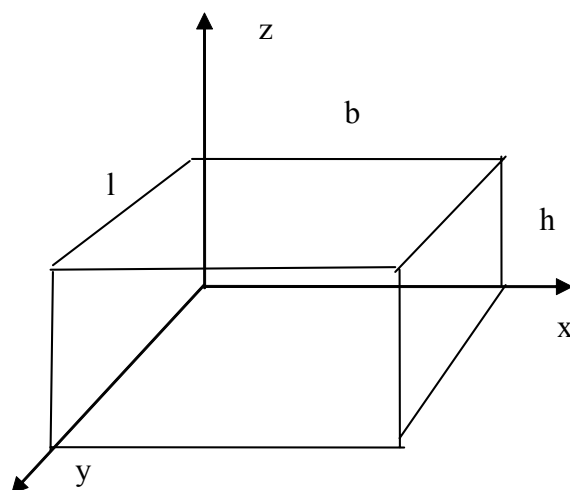


Рис. 1. Схематичне зображення деревностружкового пакету:
l – довжина, b – ширина, h – товщина

$$\Pi \frac{\partial \rho_n}{\partial \tau} - \frac{\partial}{\partial x} \left(k_x \frac{\partial P(x, y, z, \tau)}{\partial x} \right) - \frac{\partial}{\partial y} \left(k_y \frac{\partial P(x, y, z, \tau)}{\partial y} \right) - \frac{\partial}{\partial z} \left(k_z \frac{\partial P(x, y, z, \tau)}{\partial z} \right) + \rho_g \frac{\partial u}{\partial \tau} = 0. \quad (1)$$

Зазначимо, з огляду на те, що вологість ДСП у процесі пресування не перевищує границі гігроскопічності, а коефіцієнт дифузії є достатньо малим ($\approx 10^{-30} \text{ м}^2/\text{с}$), то не враховується перенесення вологи у рідкій фазі. За даними досліджень [5] різниця температури парогазової суміші і деревних частинок у процесі пресування є незначною, то можемо приймати рівність цих температур.

Отже, рівняння перенесення теплової енергії теплопровідністю і конвективним шляхом із врахуванням фазових переходів і твердіння клею, має такий вигляд

$$\begin{aligned} c(u, T) \rho \frac{\partial T(x, y, z, \tau)}{\partial \tau} = & \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda_x(u, T) \frac{\partial T(x, y, z, \tau)}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda_y(u, T) \frac{\partial T(x, y, z, \tau)}{\partial y} \right) + \\ & \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda_z(u, T) \frac{\partial T(x, y, z, \tau)}{\partial z} \right) + \sum_{i=1}^3 C_{nz} \left(k_{x_i} \frac{\partial P(x, y, z, \tau)}{\partial x_i} \right) \frac{\partial T(x, y, z, \tau)}{\partial x_i} + \\ & + \rho_g r \frac{\partial u(x, y, z, \tau)}{\partial \tau} + r M \rho_{ck} (1 - \Pi) \frac{\partial \Theta(x, y, z, \tau)}{\partial \tau}. \end{aligned} \quad (2)$$

У процесі пресування ДСП випаровування і конденсація рідини має певний гістерис [5]. Тому для визначення вологовмісту із врахуванням змінної за часом границі фазових переходів, одночасного врахування фільтраційного і дифузійного перенесення (шляхом введення внутрішніх коефіцієнтів) використано рівняння

$$\frac{\partial u}{\partial \tau} = \frac{100}{\rho} \begin{cases} \text{Ш}_1(P_{nn} - P)^2; & P \geq P_{nn}; \\ -\beta_v(P_{nn} - P)\chi; & P_{nn} - P_z < P \leq P_{nn}; \\ -\text{Ш}_2((P_{nn} - P - P_z)^2 + \beta_v P_z)\chi; & P_{nn} \geq P_r + P, \end{cases} \quad (3)$$

де: $\chi = \arctan(U / \text{Ш}_\varepsilon)$; $\beta_v = 1,8 \cdot 10^{-4} \Lambda(T) \cdot (k_0 \mu / \rho)^{0,265} \mu^{0,49} (\partial P / \partial x)^{0,43}$; $\Lambda(T) = 21,9 \cdot 10^{-6} (T/273)^{1,5}$.

Рівняння твердіння клею [3] має такий вигляд:

$$\frac{\partial \Theta(x, y, z, \tau)}{\partial \tau} = \begin{cases} (1 - \Theta(x, y, z, \tau))f(T, C_c m); & \Theta < \Theta_{zc}; \\ (\Theta_\kappa(T) - \Theta)f(T, C_c m); & \Theta_{zc} \leq \Theta \leq \Theta_\kappa(T); \\ 0; & \Theta > \Theta_\kappa(T), \end{cases} \quad (4)$$

де $f(T, C_c, m) = -\ln 0,4 / \tau_{zc}(T, C_c m)$, описує швидкість твердіння клею і визначається за допомогою величини часу досягнення гелеподібного стану.

Замикаючими співвідношеннями є рівняння тиску насиченої пари $P_{nn} = 1,033(T/100)^4$, рівняння стану $\rho_n = P/(RT)$ і реакції твердіння клею.

Для чисельної реалізації диференціальних рівнянь тепломасоперенесення необхідно задати початкові та граничні умови, зумовлені особливостями технологічного процесу.

Початкові умови для визначення $T(x, y, z, \tau)$, $U(x, y, z, \tau)$, $P(x, y, z, \tau)$ задаються рівномірно розподіленими величинами за товщиною пакету на початку пресування:

$$T(x, y, z, 0) = T_0(x, y, z, 0); \quad (5)$$

$$P(x, y, z, 0) = P_0(x, y, z, 0); \quad (6)$$

$$U(x, y, z, 0) = U_0(x, y, z, 0); \quad (7)$$

$$\Theta(x, y, z, 0) = \Theta_0(x, y, z, 0). \quad (8)$$

Граничні умови теплообміну на площинах, паралельних до пресу матимуть наступний вигляд:

$$T(x, y, 0, \tau) = T_{np} - A_0 e^{-\kappa \sqrt{\tau}}, \quad (9)$$

$$T(x, y, h, \tau) = T_{np} - A_0 e^{-\kappa \sqrt{\tau}}. \quad (10)$$

Граничні умови теплообміну на бокових поверхнях характеризують теплообмін із середовищем:

$$\lambda_x \frac{\partial T(0, y, z, \tau)}{\partial x} + \alpha_x (T_c - T(0, y, z, \tau)) = 0; \quad (11)$$

$$\lambda_x \frac{\partial T(b, y, z, \tau)}{\partial x} + \alpha_x (T_c - T(b, y, z, \tau)) = 0; \quad (12)$$

$$\lambda_y \frac{\partial T(x, 0, z, \tau)}{\partial y} + \alpha_y (T_c - T(x, 0, z, \tau)) = 0; \quad (13)$$

$$\lambda_y \frac{\partial T(x, l, z, \tau)}{\partial y} + \alpha_y (T_c - T(x, l, z, \tau)) = 0. \quad (14)$$

Граничні умови масоперенесення на площинах, паралельних до пресу, визначаються гідродинамічними коефіцієнтами контактного шару між піддоном і деревностружковим пакетом:

$$-k'_p \frac{\partial P(x, y, 0, \tau)}{\partial z} + \beta'_p (P_a - P(x, y, 0, \tau)) = 0; \quad (15)$$

$$-k'_p \frac{\partial P(x, y, h, \tau)}{\partial z} + \beta'_p (P_a - P(x, y, h, \tau)) = 0. \quad (16)$$

Граничні умови масоперенесення на бокових поверхнях мають такий вигляд

$$-k_p \frac{\partial P(0, y, z, \tau)}{\partial x} + \beta_p (P_a - P(0, y, z, \tau)) = 0; \quad (17)$$

$$-k_p \frac{\partial P(b, y, z, \tau)}{\partial x} + \beta_p (P_a - P(b, y, z, \tau)) = 0; \quad (18)$$

$$-k_p \frac{\partial P(x, 0, z, \tau)}{\partial y} + \beta_p (P_a - P(x, 0, z, \tau)) = 0 \quad (19)$$

$$-k_p \frac{\partial P(x, l, z, \tau)}{\partial y} + \beta_p (P_a - P(x, b, z, \tau)) = 0. \quad (20)$$

В останніх співвідношеннях коефіцієнти вологообміну β_p є функцією від температури зовнішнього середовища T_c і відносного вологовмісту U_p .

Для чисельної реалізації моделі (1)–(20) необхідно задати теплофізичні характеристики, які отримують експериментальним шляхом. Наведемо деякі з них [3, 6, 8, 9]. Коефіцієнти теплоємності, теплопровідності і фільтрації для напрямків анізотропії мають такий вигляд:

$$c(U, T) = \frac{(45U^2 + 195U - 3,9)(1 + 0,0036(T - 298))}{U(100 - 0,048(100U - 6)(T - 298))} 10^3; \quad (21)$$

$$\lambda_z = \left(\frac{\rho^2}{111 \cdot 10^5} + 0,062 \right) (1 + 0,0018 \cdot (T - 25)); \quad (22)$$

$$\lambda_x = \lambda_y = \left(\frac{\rho^2}{111 \cdot 10^5} + 0,062 \right) (1 + 0,0018 \cdot (T - 25)) \cdot (1,6 + 0,002U); \quad (23)$$

$$k_z = (9891,41 - 9,145\rho - 42,05d - 17,67m - 273,3C_c + 5,561T + 31,99\tau + 0,00423\rho^2 + 0,0875\rho d + 0,0335\rho C_c - 0,00487\rho T + 0,00524\rho\tau + 7,25d^2 + 2,935C_c d + 0,640d\tau - 3728m^2 + 0,617mT + 0,2263m\tau + 3,017C_c^2 - 0,4121C_c T + 0,0906T\tau - 0,574\tau^2) \cdot 10^{-7}; \quad (24)$$

$$k_x = k_y = (3638,82 - 2,587\rho - 17,11d - 118,15m - 118,47C_c + 8,011T + 16,377\tau + 0,00145\rho^2 + 0,0303\rho d + 0,0109\rho C_c + 0,0017\rho\tau - 0,850C_c d + 0,122Td + 0,212\tau d - 0,839m^2 + 0,167mC_c + 0,156mT + 1,22C_c^2 - 0,148C_c T + 0,035T\tau - 0,295\tau^2) \cdot 10^{-7}. \quad (25)$$

Для визначення гідродинамічних коефіцієнтів використано результати досліджень [3, 8, 9]:

$$\alpha = K_1 \frac{(1 - \Pi)^2}{\Pi^3} \left(\sum_{i=1}^3 \frac{1}{r_{0i}} \right)^2 \varepsilon^2 \theta^2; \beta = K_2 \frac{1 - \Pi}{\Pi^3} \left(\sum_{i=1}^3 \frac{1}{r_{0i}} \right) \varepsilon \theta; \quad (26)$$

$$\beta'_\rho = \frac{2R}{P} \frac{T}{273} \left(\alpha P_{np} \mu - \beta P_{np} \frac{k_0}{v} \frac{dP}{dx} \right),$$

де

$$R = \begin{cases} 10(46,2 - 0,023P \cdot 10^6); & P \geq 0,2424 \cdot 10^6; \\ 10(47 - 0,065 \cdot 10^6); & P < 0,2424 \cdot 10^6. \end{cases} \quad (27)$$

У формулі (27) тиск задається в МПа.

У даній фізико-математичній моделі введено наступні позначення: $c(u, t)$ – питома теплоємність пакету, Дж/кг·°С; c_{ng} – питома теплоємність парогазової суміші, Дж/кг·°С; $\lambda_x, \lambda_y, \lambda_z$ – коефіцієнт теплопровідності в напрямку осей, Вт/кг·°С; k_x, k_y, k_z – коефіцієнт фільтрації в напрямку осей; k_p – коефіцієнт фільтрації на бокових поверхнях; k'_p – коефіцієнт фільтрації на площинах пресування; ρ_s – густина води, кг/м³; ρ_n – густина пару, кг/м³; ρ – густина пакету, кг/м³; $\rho_{ск}$ – густина скелету, кг/м³; r – питома теплота фазового переходу, Дж/кг; відношення клею в абсолютно сухому стані до маси стружки; Π – пористість; T – температура, °С; P – тиск, МПа; W – вологість, %; U – вологовміст; Θ – твердіння клею; β_ρ – коефіцієнт масоперенесення на боковій площині, 1/м²; β'_ρ – коефіцієнт масоперенесення на площинах пресування, 1/м²; P_{nn} – тиск насиченої пари, МПа; P_{np} – тиск пресу (МПа); $\alpha_x, \alpha_y, \alpha_z$ – коефіцієнти теплообміну вздовж відповідних осей, Вт/м²·°С; Θ_{zc} – степінь отвердіння зв'язуючого до гелеподібного стану; τ_{zc} – час переходу до гелеподібного стану, с; Θ_k – максимальна степінь твердіння клею; C_c – концентрація клею; m – кількість затверджувача, %; d – діаметр пори (м); T_{np} – температура пресу, °С; T_c – температура зовнішнього середовища, °С, μ – коефіцієнт динамічної в'язкості, Па·с; v – коефіцієнт кінематичної в'язкості, м²·с⁻¹; k_0 – коефіцієнт проникності, м²; α, β – коефіцієнти опору в'язкості та інерції контакт-

ного шару; K_1, K_2 – коефіцієнти пропорційності; θ, ε – експериментально визначені константи, що характеризують гідродинамічний опір матеріалу; R – універсальна газова стала, Дж/кг⁻¹·К⁻¹; r_{01}, r_{02}, r_{03} – відповідно максимальні розміри частинок, м; M – відношення клею в абсолютно сухому стані до маси абсолютно сухої стружки; $\Pi_1, \Pi_2, \Pi_\varepsilon$ – параметри функції штрафу; β_v – об'ємний коефіцієнт масообміну, віднесений до різниці масових концентрацій, с/м²; P_a – атмосферний тиск; A_0, k – константи для визначення температури пакету на площині пресування.

Аспекти комп'ютерної реалізації фізико-математичної моделі. Оскільки дана математична модель – система нелінійних диференціальних рівнянь у частинних похідних, аналітичний розв'язок якої не вдалося знайти, то для числового вирішення використано ітераційно-різницеви метод [2]. Згідно з даним методом, об'єкт, що досліджується покрито просторовою сіткою, тобто задано скінчене число координат x_i, y_j, z_k , які є вузлами такої сітки, де $i = 1, \dots, N, N = b/\Delta x; j = 1, \dots, M, M = l/\Delta y; k = 1, \dots, Q, Q = h/\Delta z$. Задано також часову сітку з вузлами τ_v , де $v = 1, \dots, G; G = T/\Delta \tau$. Усі позначення з Δ – це крок розбиття у відповідних напрямках. У результаті реалізації методу знаходяться значення температури, тиску, вологості та твердіння клею в кожній i, j, k – й точці просторової сітки в будь-який v -ий момент часу.

Згідно з методом, частинні похідні замінюються різницями (використано неявну схему), а замість коефіцієнтів підставляються вирази, що їх визначають. Перемноживши многочлени та звівши подібні вирази, отримуємо систему з чотирьох нелінійних рівнянь, записавши її у вигляді матричного виразу:

$$[A] \times [S] = [B], \quad (28)$$

Для розв'язування (28) системи використано метод Ньютона. Описаний алгоритм реалізовано в електронних таблицях Excel. Сторінку електронної таблиці використано для вводу та виводу результатів. Всі розрахункові програмні модулі реалізовано об'єктно-орієнтованою мовою програмування Visual Basic for Application.

Аналіз результатів розрахунків. Розрахунок тепломасообмінних потоків у процесі пресування деревностружкових плит на основі отриманого алгоритму чисельної реалізації фізико-математичної моделі (1)-(4) з початковими умовами (6)-(8) та граничними умовами (9)-(20) здійснено для пакету з геометричними розмірами $l=20, b=20, h=16$ для таких вхідних даних:

$T_c=20, ^\circ\text{C}; T_{\text{пр}}=160, ^\circ\text{C}; A_0=28, ^\circ\text{C}; k=0,072; \rho=700, \text{кг/м}^3; \rho_{\text{ск}}=1540, \text{кг/м}^3;$
 $P_a=0,0165(\text{МПа}); C_c=0,54; P_0=0,0165, \text{МПа}; \Theta_{\text{св}}=0,6; \Theta_{\text{к}}=0,9; \Theta_0=0,4; P_{\text{пр}}=2,7;$
 $d=0,005(\text{м}); r_{01}=r_{02}=r_{03}=0,003; c_{\text{нз}}=2850, \text{Дж/кг}\cdot^\circ\text{C}; \rho_g=1, \text{кг/м}^3; r=2250000,$
 $\text{Дж/кг}; \Pi=0,7; \mu=0,11 (\text{Па}\cdot\text{с}); v=0,02, \text{м}^2\cdot\text{с}^{-1}; k_0=0,098 (\text{м}^2); K_1=88, K_2=12,42;$
 $\varepsilon=1,5; \theta=0,871; m=0,01; M=0,00047; \Pi_1=20; \Pi_2=5; \Pi_\varepsilon=0,2; W_0=12\%; T_0=20, ^\circ\text{C}.$

Аналіз графічних залежностей (рис. 2, 9) розподілу вологості свідчить про те, що приповерхневі шари досягають максимального зволоження. Із зростанням тривалості пресування більші значення вологовмісту досягаються у внутрішніх шарах. На час прогрівання деревностружкового пакету спосте-

рігається в основному перерозподіл вологи за товщиною матеріалу, а випаровування вологи є незначними. Із зростанням часу пресування збільшується вологість внутрішнього шару пакету біля торців оскільки фільтраційний потік вологи, який рухається від поверхневих шарів, накладається на аналогічний потік паралельно площини пресування, а протидія "защемленого" повітря біля торців пакету є незначною.

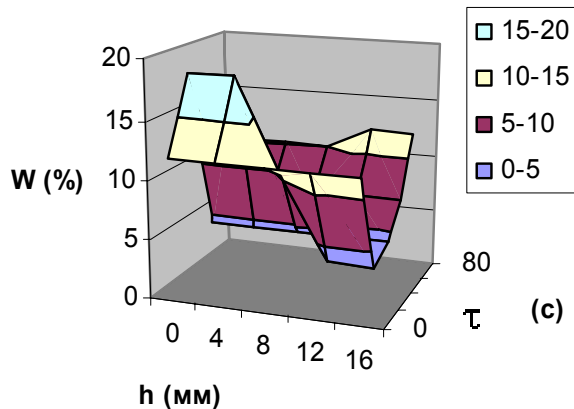


Рис. 2. Розподіл вологості за товщиною пакету

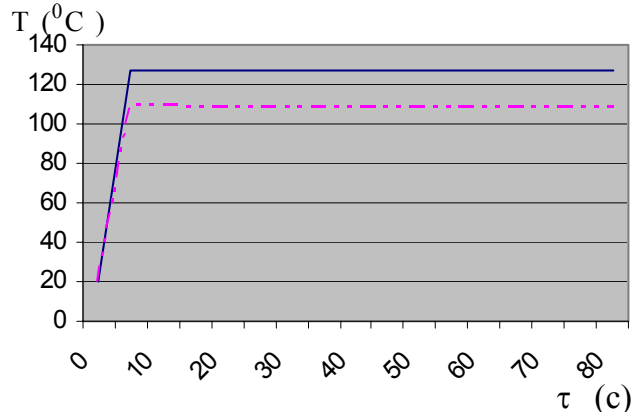


Рис. 3. Розподіл температури в процесі пресування: --- точка з координатами (10,10,8); _____ поверхня пакету

Як показують експериментальні дослідження [3], в процесі пресування деревностружкових плит вихід парогазової суміші відбувається не тільки через торці плит, але й через простір між плитами пресу і поверхнею плити. Ці положення підтверджено проведеними розрахунками. В проміжок часу 20-30 с нагріта парогазова суміш переміщується із поверхні, нагрітої пресом, всередину, де є нижча температура. Під час прогрівання взірця зміну температури подано на (рис. 3, 4), відбувається конденсація пари, а потім інтенсивне пароутворення, що приводить до швидкого зростання тиску (рис. 5, 8). Взірець із збільшенням температури стає менш проникливим, оскільки відбувається твердіння клею (рис. 7). Зростання тиску на поверхнях, перпендикулярних до пресу (рис. 8) має більш повільний характер, проте після прогрівання взірця виділення парогазової суміші відбувається інтенсивно через бокові поверхні. Розподіл тиску парогазової суміші за товщиною у часі показано на (рис. 6).

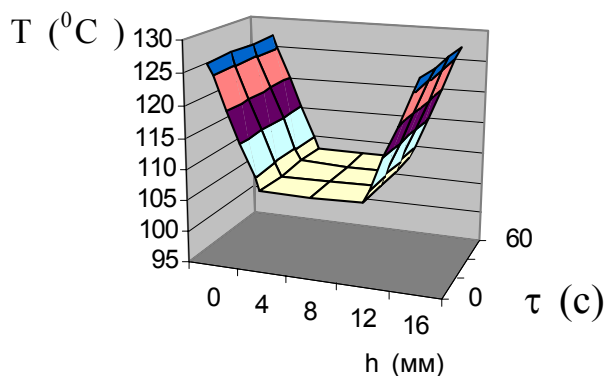


Рис. 4. Розподіл температури за товщиною пакету

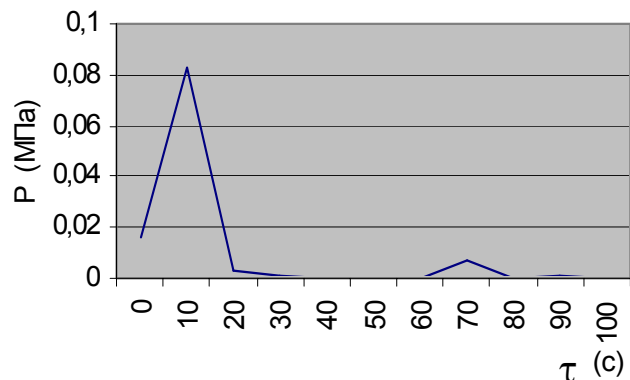


Рис. 5. Розподіл тиску в середині пакету, точка з координатами (10,10,8)

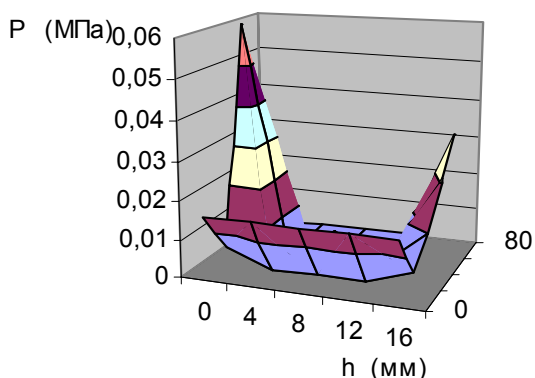


Рис. 6. Розподіл тиску за товщиною пакету

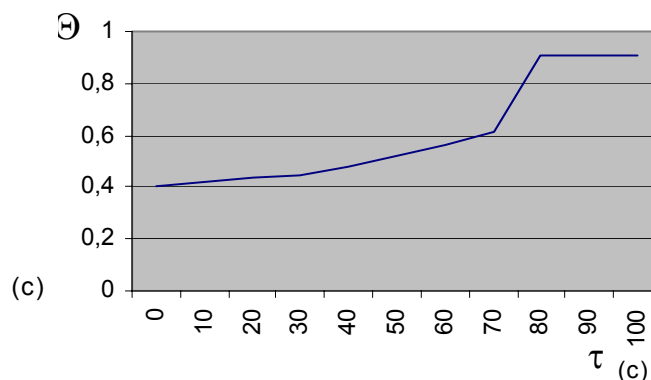


Рис. 7. Динаміка твердіння клею

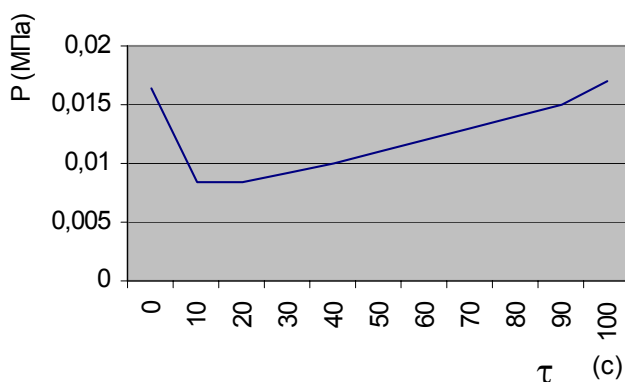


Рис. 8. Розподіл тиску на поверхнях, перпендикулярних до поверхні пресування

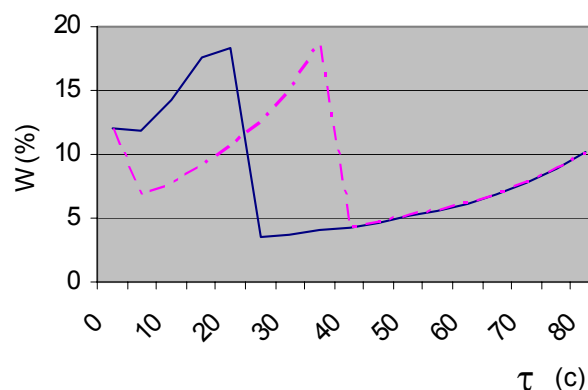


Рис. 9. Розподіл вологості в пакеті:
 - - - - - точка з координатами (10,10,8)
 _____ поверхня пресування

Таким чином, числові розрахунки процесів тепломасоперенесення у процесі нагрівання деревностружкового пакету характеризують про домінуючу роль механізму теплопровідності на початковому етапі. У подальшому починається фазовий перехід води з рідкого стану у газоподібний, який зумовлює виникнення надлишкового тиску парогазової суміші та її переміщення від середини до країв деревностружкового пакету.

Висновки. Синтезована фізико-математична модель процесу тепломасоперенесення для пресування деревностружкового пакету з врахуванням анізотропії його температурних властивостей, внутрішніх коефіцієнтів тепломасообміну і границі фазових переходів.

Розроблений на основі ітераційно-різницевого методу чисельний алгоритм реалізації моделі і програмне забезпечення дають змогу вивчити вплив різних технологічних факторів на зміну основних параметрів процесу пресування деревностружкових плит.

Література

1. Бехта П.А. Технологічні розрахунки у виробництві ДСП. – К: ІСДО, 1994. – 156 с.
2. Бабенко К.И. Основы численного анализа. – М: Энергия, 1986. – 744 с.
3. Воскресенский А.К., Обливин А.Н., Сагаль С.З. Гидродинамические характеристики пористых тел// В сб. научн. тр. МЛТИ. – М.: МЛТИ. – 1981, вып. 130. – С. 5-21.
4. Лыков А.В. Теплообмен. – М: Энергия, 1978. – 479 с.
5. Обливин А.Н. Тепло- и массообмен в производстве древесностружечных плит. – М.: Лесн. пром-сть, 1978. – 191 с.

6. Обливин А.Н., Пожиток А.И., Терпугов М.А. Расчет степени отвержения карби-доформальдегидной смолы КФ-МТ при прессовании древесностружечных плит// В сб. научн. тр. МЛТИ. – М.: МЛТИ. – 1984, вып. 159. – С. 47-50.

7. Отлев И.А. Интенсификация производства древесностружечных плит. – М.: Лесн. пром-сть, 1989. – 191 с.

8. Пожиток А.И., Шевляков А.А. Гидродинамика контактного слоя стружечного пакета//В сб. научн. тр. МЛТИ. – М.: МЛТИ. – 1987, вып. 196. – С. 80-88.

9. Сагаль С.З. Исследование гидродинамических характеристик древесно-стружечного пакета/ Автореф. дис. канд. техн. наук. – М: МЛТИ. – 1981. – С. 4-21.

10. Humphrey P.F., Bolton A.J. The hot pressing of dry-formed Wood-based composites. A simulation model for heat and moisture transfer// Holzforschung 43 № 3, 1989. – P. 199-206.

11. Frünwald A., Steffen A., Humphrey P.E., Haas G.V. Entwicklung und Überprüfung eines Modells des thermodynamischen und des rheologischen Verhaltens von Fassermatten für MDF während der Heispressung in Taktpressen und Ansätze zur modelirung von Endlosrpessen. – Univer-sitat Hamburg, 1999.

УДК 66.04.45 *Доц. В.І. Троцький, канд. техн. наук; проф. Я.М. Ханик,
до-р техн. наук; аспір. С.Г. Ягольник – НУ "Львівська політехніка"*

АДСОРБЦІЯ СТІЧНИХ ВОД ХІМІЧНО-АКТИВОВАНИМИ ЦЕОЛІТАМИ

Наведені результати досліджень процесів хімічної активації природних цеолі-тів та використання їх для очищення стічних вод від барвників.

*Doc. V.I. Trotsky; prof. Ya.M. Hanyk;
doctorate S.G. Yagolnyk – NU "L'vivs'ka Politekhnik"*

Adsorption of flows waters by the chemically-activated zeolites

In this work are represented results of researches of processes of the chemical activa-ting of natural zeolites and use them for flows waters treatment from dyes.

Відходи нафтохімічної, хімічної, целюлозно-паперової галузей є ос-новними джерелами забруднень стічних вод органічними речовинами, зокре-ма нафтопродуктами, ПАР, барвниками, полімерами. Наявність їх у розчинах навіть у малих концентраціях надає розчинам інтенсивного забарвлення, зменшує прозорість води, порушує кисневий режим водойм.

Адсорбційний метод є ефективним для очищення стічних вод, однак широке застосування вуглецевих сорбентів економічно мало перспективне, внаслідок високої вартості як самого активованого вугілля так і наступних стадій його регенерації. Природні сорбенти не вуглецевого походження, до яких відносяться цеоліти, набувають все більшого застосування в хімічних, харчових та природоохоронних технологіях, що обумовлено їх достатньо ви-сокою селективністю та адсорбційною ємністю, відносно низькою вартістю та доступністю.

Для очищення стічних вод від прямих барвників використовували природний цеоліт – клиноптилоліт, видобутий з родовища Сокирниця (пів-денно-східна частина Закарпатського внутрішнього прогину).

Мінеральний склад цеоліту: клиноптилоліт 60-90 %, кварц і польовий шпат 6-7 %, глинисті мінерали 2-6 %, плагіоклаз до 2 %.