

5. ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ГАЛУЗІ

УДК 674.047

Проф. П.В. Білей¹, д-р техн. наук; доц. Я.Ф. Кулешиник²,
канд. техн. наук; доц. І.В. Петришак¹, канд. техн. наук

ТЕПЛОМАСООБМІН В ПРОЦЕСАХ ВИРОБНИЦТВА ПЛИТНИХ КОМПОЗИТНИХ МАТЕРІАЛІВ

Розглянуто особливості фізико-хімічних явищ у процесі пресування плитних матеріалів. Розроблено фізико-математичні моделі теплопровідності плитних матеріалів та теплоперенесення в процесах їх склеювання-пресування. Запропоновано методику визначення витрат теплової енергії в процесах склеювання-пресування деревинностружкових плит та фанери.

Ключові слова: тепломасообмін, теплообмін, деревинностружкова плита, фанера, шпон, фізико-математичні моделі, теплопровідність, фізико-хімічні явища.

Вступ. Особливе місце в технологічному процесі виготовлення деревинностружкових плит належить операції термічного оброблення стружкового килима в поєднанні з прикладанням тиску до нього. Вона є найвідповідальнішою операцією, яка визначає всі властивості готового матеріалу – деревинностружкової плити. Саме під час термічного оброблення у процесі пресування стружковий килим перетворюється в тверду масу – плиту. Утворення готової деревинностружкової плити досягається внаслідок розвитку і завершення ряду фізичних і хімічних процесів, що відбуваються у пресованому пакеті. Основними з них є ущільнення пакетів під дією наростаючого зовнішнього тиску, зміна напруженого стану ущільненого пакета за умови постійної деформації, тепло- і масоперенесення в пресованому пакеті, який визначає зміну його температури за товщиною, парового та газового тиску і вмісту компонентів у стружковому пакеті, хімічні зміни складових частин деревини під дією температури, вологості і тиску середовища, утворення летких продуктів часткового перегідролізу і перепіролізу деревини, хімічна взаємодія клею з компонентами деревини і якісні його зміни в процесі затвердіння. Кожний з перерахованих процесів більшою або меншою мірою впливає на формування властивостей готової плити.

Аналіз фізико-хімічних явищ, що відбуваються в процесі термічного оброблення плитних матеріалів. Деревинностружкові плити є капілярнопористими тілами, які утримують в собі (своєму складі) увібрану ними вологу. Процес пресування капілярнопористого тіла залежить від характеру молекулярного зв'язку рідини з речовиною будови тіла. У процесі пресування відбувається термічне оброблення з вилученням рідин та деяких інших компонентів вуглеводневих сполук. На цей процес витрачається певна кількість

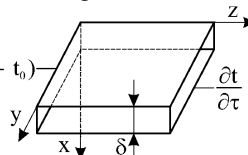
теплової та електричної енергії. Отже, процес пресування плит є не тільки технологічним, але і теплофізичним процесом, у характері якого вирішальну роль відіграє форма молекулярного зв'язку між молекулами матеріалу плит і вологою, що знаходиться в них.

У процесі пресування і термічного оброблення відбувається зміна форм зв'язку вологи і вуглеводневих сполук з матеріалом плит. Нагрівання плит до високої температури призводить до виникнення екзотермічних реакцій, початок яких можна встановити тільки експериментальним шляхом. У період проходження екзотермічних реакцій спостерігається інтенсивне виділення тепла, що спричинює досить великий перепад температури в матеріалі плити, який негативно впливає на фізико-механічний стан плит. На основі закону збереження енергії і маси речовини тепло, яке підведене до тіла, витрачається на нагрівання матеріалу плит і випаровування вологи та інших компонентів. З появою екзотермічних процесів, які відбуваються в матеріалі плит, виникає перерозподіл температури за товщиною матеріалу та в самому обладнанні.

Фізико-математична модель теплопровідності плитних матеріалів. Під час дії теплової енергії на матеріал деревинностружкової або деревинноволокнистої плити фізичний процес розподілу тепла в матеріалі тісно пов'язаний з теплопровідністю. Зупинимось на дослідженні теплопровідності, враховуючи, що деревинностружкова (деревинноволокниста) плита є капілярнопористим тілом зі складною структурною будовою.

Незважаючи на те, що теоретичні передумови у математичному дослідженні теплопровідності в капілярнопористих матеріалах приймають з певним наближенням, цей метод дослідження процесу дає змогу визначити ефективно значення фізичних характеристик теплопровідності з достатньо високою точністю. Складна будова і пористість деревинностружкових (деревинно-волокнистих) плит створюють різну орієнтацію тепловому потоку. Передача теплоти в пористих матеріалах у цьому випадку відбувається через: теплопровідність частинок матеріалу плит; теплопровідність газів, якими заповнені пори матеріалу плит; теплопровідність газів мікропроміжків між частинками; контактну теплопровідність частинок матеріалу плит в місцях їх стикання між собою; випромінювання між частинками.

У постановці цього математичного дослідження деревинностружкову плиту (рис. 1) розглядаємо як горизонтальну пластину товщиною δ в координатах. Під час математичного розгляду цієї задачі можуть бути два варіанти. У першому варіанті допускаємо, що, згідно з законом Бугера, потужність теплового удару на матеріал деревинностружкової плити не залежить від часу, а тільки від температури плит преса, яка миттєво діє на неї.



$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = h_1 \cdot (t - t_0)$$

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = h_2 \cdot (t - t_0)$$

Рис. 1. Модель плити в координатах: δ – товщина плити

¹ НЛТУ України, м. Львів;

² Львівський ДУВС

Математично цю умову запишемо так:

$$J = J_0 \cdot e^{-kx}, \quad J_0 = const. \quad (1)$$

Рівняння теплопровідності для цієї задачі запишемо у вигляді

$$\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} = \frac{1}{a} \cdot \frac{\partial t}{\partial \tau} - J_0 \cdot e^{-kx} \cdot \frac{1}{a}, \quad (2)$$

де: k – коефіцієнт поглинання тепла матеріалом; J_0 – інтенсивність теплового потоку; a – коефіцієнт температуропровідності; τ – час.

Відомо, що між поверхнею плити і навколишнім середовищем відбувається теплообмін за законом Ньютона з такими граничними умовами:

$$\begin{cases} \frac{\partial t}{\partial x} = h_1 \cdot (t - t_0) \text{ при } x = 0, \text{ де } h_1 = \frac{\alpha_1}{\lambda_1}; \\ \frac{\partial t}{\partial x} = h_2 \cdot (t - t_0) \text{ при } x = \delta, \text{ де } h_2 = \frac{\alpha_2}{\lambda_2}, \end{cases} \quad (3)$$

де: h_1, h_2 – показники ослаблення теплового потоку, m^{-1} ; α_1, α_2 – коефіцієнт теплообміну відповідних поверхонь плит, $Вт/(m^2 \cdot K)$; λ_1, λ_2 – теплопровідність відповідних поверхневих шарів плити, $Вт/(m \cdot K)$.

Застосовуючи до рівняння (2) і граничних умов (3), якщо $\tau = 0, t = t_0$, перетворення Лапласа за змінною (x), отримаємо рівняння:

$$\frac{d^2 \bar{t}}{dx^2} - \frac{S}{a} \bar{t} = \frac{J_0}{S} e^{-kx}; \quad (4)$$

$$\begin{cases} \frac{d\bar{t}}{dx} = h_1 \cdot \left(\bar{t} - \frac{t_0}{s} \right) \text{ при } x = 0; \\ \frac{d\bar{t}}{dx} = h_2 \cdot \left(\bar{t} - \frac{t_0}{s} \right) \text{ при } x = \delta, \end{cases} \quad (5)$$

де S – оператор Лапласа.

Загальний розв'язок рівняння (4) набуде вигляду

$$\bar{t} = C_1 \cdot e^{x \cdot \sqrt{\frac{S}{a}}} + C_2 \cdot e^{-x \cdot \sqrt{\frac{S}{a}}} + \frac{J_0}{S \cdot \left(\frac{S}{a} - k^2 \right)} \cdot e^{-kx}. \quad (6)$$

У другій задачі тепловий потік агента термічного оброблення змінюється за законом $q = q_0 e^{-k\tau}$. Тут температура плит преса залежить від часу. Очевидно, що і температура нагрівання плит також знаходиться у функціональній залежності від часу.

Для цієї задачі рівняння теплопровідності запишемо у вигляді

$$\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} - \frac{1}{a} \frac{\partial t}{\partial \tau} = -q_0 e^{-k\tau}, \quad (7)$$

де q_0 – інтенсивність теплового потоку.

Інші позначення в рівнянні (7) аналогічні попередній задачі.

$$\begin{cases} \frac{\partial t}{\partial x} = h_1 \cdot (t - t_0) \text{ за } x = 0; \\ \frac{\partial t}{\partial x} = h_2 \cdot (t - t_0) \text{ за } x = \delta. \end{cases} \quad (8)$$

Застосовуючи до рівняння (7) з граничними умовами (8) (коли $t = 0$ за $\tau = 0$) перетворення Лапласа за змінною τ , рівняння (7) запишемо у вигляді

$$\frac{d^2 \bar{t}}{dx^2} - \frac{S}{a} \bar{t} = -\frac{q_0}{S+k}. \quad (9)$$

За виконання граничних умов

$$\begin{cases} \frac{d\bar{t}}{dx} = h_1 \cdot \left(\bar{t} - \frac{t_0}{s} \right) \text{ при } x = 0; \\ \frac{d\bar{t}}{dx} = h_2 \cdot \left(\bar{t} - \frac{t_0}{s} \right) \text{ при } x = \delta. \end{cases} \quad (10)$$

Розв'язок рівняння (7) запишемо у вигляді

$$\bar{t} = C_1 e^{x \sqrt{\frac{S}{a}}} + C_2 e^{-x \sqrt{\frac{S}{a}}} + \frac{aq_0}{S(S+k)}. \quad (11)$$

Використовуючи ряд математичних перетворень, знаходимо для рівняння (10) значення коефіцієнтів C_1 і C_2 .

Фізико-математична модель теплоперенесення в процесах склеювання-пресування деревинних композитних матеріалів. Фізико-математичну модель в процесах склеювання-пресування деревинних композитних матеріалів (на прикладі деревинностружкових плит – ДСП та багатшарової фанери можна представити в такому вигляді (рис. 2).

Деревинностружкову плиту (рис. 2 а) можна представити як тришаровий матеріал. Поверхневі шари товщиною (δ_1 , см) мають більшу густину (ρ_1 , $кг/м^3$), більший вміст клею та, відповідно, більшу теплопровідність ($\lambda_1 > \lambda_2$).

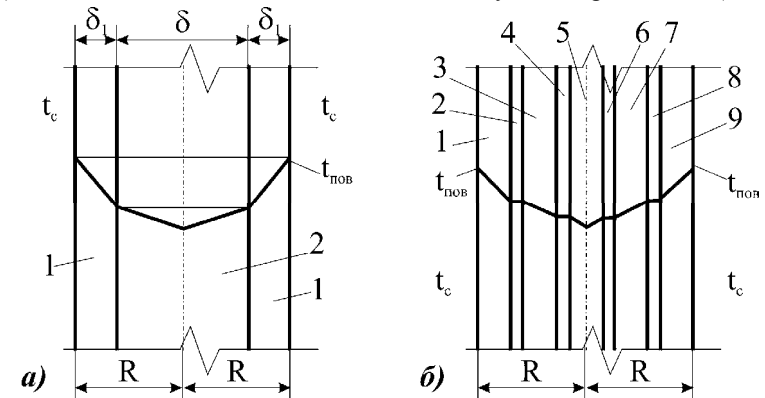


Рис. 2. Модель пластини в процесах пресування-склеювання: а) тришарової деревинностружкової плити; б) п'ятишарової фанери

Кількість тепла, яка необхідна на нагрівання поверхневого шару, визначають за формулою

$$Q_1 = q_1 \frac{F \cdot \delta_1}{\tau_1}, \text{ кВт}, \quad (12)$$

де: F – поверхня, через яку подається тепло (зовнішні шари (пласти) плити), м^2 ; δ_1 – товщина поверхневого шару плити, м ; τ_1 – час, за який нагрівається поверхневий шар плити, с ; q_1 – питома теплота нагрівання одиниці об'єму плити, кДж/м^3 , яку визначають за формулою

$$q_1 = \rho_1 \cdot C_1 \cdot \Delta t_1, \text{ кДж/м}^3, \quad (13)$$

де: Δt_1 – різниця температури ($\Delta t_1 = t_{\text{нов}} - t_0$, тут, відповідно, температура поверхні матеріала $t_{\text{нов}}$ та початкова температура матеріала t_0), $^{\circ}\text{C}$; ρ_1 – густина плити, кг/м^3 ; C_1 – питома теплоємність матеріалу поверхневого шару плити, $\text{кДж/(кг}\cdot^{\circ}\text{C)}$. Деревинностружкові плити нагріваються від плит преса, які мають температуру ($t_{\text{пл}}$, $^{\circ}\text{C}$) симетрично з обох сторін. Кількість тепла, яку потрібно витратити для нагрівання внутрішнього шару плити, визначають за формулою

$$Q_2 = q_2 \frac{F \cdot \delta_2}{\tau_2}, \text{ кВт}, \quad (14)$$

де: τ_2 – час на нагрівання внутрішнього шару плити товщиною (δ), с ; q_2 – питома теплота нагрівання одиниці об'єму внутрішнього шару плити, кДж/м^3 ; визначають за формулою

$$q_2 = \rho_2 \cdot C_2 \cdot \Delta t_2, \text{ кДж/м}^3, \quad (15)$$

де: Δt_2 – різниця температури ($\Delta t_2 = t_1 - t_u$, тут, відповідно: t_1 – температура на межі поверхневого і внутрішнього шарів плити, $t_1 = t_{\text{нов}} - \Delta t$; t_u – температура в центрі плити), $^{\circ}\text{C}$; ρ_2 – густина внутрішнього шару плити, кг/м^3 ; C_2 – питома теплоємність внутрішнього шару плити, $\text{кДж/(кг}\cdot^{\circ}\text{C)}$.

З формул (12) та (14) можна визначити тривалість пресування-склеювання (витримки) деревинностружкової плити ($\tau_{\text{пр}}$), або навпаки – за тривалістю витримки знаходять витрати теплової енергії, отже

$$\tau_{\text{пр}} = \tau_1 + \tau_2. \quad (16)$$

З огляду на те, що передача тепла від плит преса до поверхні матеріалу плити є дуже інтенсивна, а товщина поверхневого шару (δ_1) є дуже малою, можна вважати, що $\tau_1 \rightarrow 0$. Тепловіддача від плит преса, а далі від верхнього шару плити до внутрішнього здійснюється, здебільшого, за рахунок теплопровідності. Кількість теплоти, яка передається від плит преса зовнішньому шару плити, визначають за формулою

$$Q_1 = \frac{\lambda_1}{\delta_1} (t_{\text{пл}} - t_0) F \cdot \tau_1, \text{ Дж}, \quad (17)$$

де: $t_{\text{пл}}$ – температура плит преса, $t_{\text{пл}} \approx t_{\text{нов}}$, $^{\circ}\text{C}$; F – площа поверхні плити, м^2 ; τ_1 – тривалість нагрівання поверхневого шару плити, с .

Для внутрішнього шару плити кількість теплоти, яка подається від поверхневого шару (на межі з внутрішнім), визначають за формулою

$$Q_2 = \frac{2\lambda_2}{\delta_2} (t_1 - t_u) F \cdot \tau_2, \text{ Дж}. \quad (18)$$

Отже, загальну кількість теплоти (Q_{Σ}), яка необхідна на час нагрівання-пресування деревинностружкової плити, визначають за сумою

$$Q_{\Sigma} = 2Q_1 + Q_2. \quad (19)$$

Отже, кількість теплоти, яку необхідно витратити на технологічну операцію склеювання-пресування деревинностружкових плит, можна знайти або за кількістю теплоти, що йде на нагрівання одиниці об'єму плити (12) та (14) або за рівняннями теплопровідності (17) та (18).

Аналогічно можна знайти кількість тепла, яка необхідна на склеювання-пресування фанери. З рис. 2 б видно, що цифрами 1, 3, 5, 7, 9 позначено листи шпону, які мають свою теплотехнічну характеристику (ρ_1 , кг/м^3 ; λ_1 , $\text{Вт/(м}\cdot\text{град)}$; C_1 , $\text{кДж/(кг}\cdot\text{град)}$; δ_1 – товщина, м), а цифрами 2, 4, 6, 8 – шари клею з своїми відповідними теплотехнічними характеристиками (ρ_k , λ_k , C_k , δ_k). Отже, загальна кількість теплоти, яку необхідно витратити на нагрівання-пресування фанери, визначають за формулою

$$Q_{\Sigma} = \left[\sum_{i=1}^n \frac{\lambda_1}{\delta_1} (t_{\text{пл}} - t_u) \cdot F + \sum_{i=1}^m \frac{\lambda_k}{\delta_k} (t_1 - t_u) \cdot F \right] \cdot \tau_{\Sigma}, \quad (20)$$

де: λ_k , δ_k – відповідно, теплопровідність та товщина клейового шва, $\text{Вт/(м}\cdot^{\circ}\text{C)}$ та м ; $t_{\text{пл}}$, t_1 , t_u – відповідно, температура плит преса, першого клейового шва та в центрі фанери, $^{\circ}\text{C}$; n , m – відповідно, кількість шарів шпону та клейових швів.

Висновки. Тепломасообмін в процесах виробництва деревинних композитних матеріалів характеризується складними явищами перенесення тепла в матеріалі і хімічними перетвореннями. Основним способом теплообміну є теплопровідність, яка супроводжується конвективним масообміном між матеріалом і середовищем. Водночас, необхідно також визначати витрати теплової енергії в процесах склеювання-пресування за відповідною методикою.

Література

1. Бехта П.А. Виробництво фанери : підручник / П.А. Бехта. – К. : Вид-во "Основа", 2003. – 320 с.
2. Білей П.В. Теоретичні основи теплової оброблення і сушіння деревини / П.В. Білей. – Коломия : Вид-во "Вік", 2005. – 364 с.

Білей П.В., Кулешник Я.Ф., Петришак И.В. Тепломасообмен в процессах производства плитных композитных материалов

Рассмотрены особенности физико-химических явлений в процессе прессования плитных материалов. Разработаны физико-математические модели теплопроводности плитных материалов и тепломассопереноса в процессах их склеивания-прессования. Предложена методика определения затрат тепловой энергии в процессах склеивания-прессования древесностружечных плит и фанеры.

Ключевые слова: тепломасообмен, теплообмен, древесностружечная плита, фанера, шпонов, физико-математические модели, теплопроводность, физико-химические явления.

Biley P.V., Kyleshnyk Ya.F., Petryshak I.V. A heat-mass-transfer is in the processes of production of board composite materials

The features of the physical and chemical phenomena are considered in the process of pressing of boarded materials. The physic-mathematics models of heat-conducting of boarded materials and heat-transference are developed in the processes of their agglutination-pressing. The method of determination of charges of thermal energy is offered in the processes of agglutination-pressing of particle boards and plywood.

Keywords: heat-mass-transfer, heat exchange, particle boards, plywood, leads, physic-mathematics models, heat-conducting, physical and chemical phenomena.

УДК 004.032.26:332.6

**Проф. В.С. Григорків, д-р фіз.-мат. наук;
доц. О.І. Ярошенко, канд. екон. наук; доц. Н.В. Філіпчук, канд. екон. наук –
Чернівецький НУ ім. Юрія Федьковича**

**НЕЙРОННІ МЕРЕЖІ ТА ЇХНЄ ВИКОРИСТАННЯ ДЛЯ
ПРОГНОЗУВАННЯ ТЕНДЕНЦІЙ РИНКУ НЕРУХОМОСТІ**

Розглянуто сутність нейронних мереж, методи їх проектування та навчання, переваги моделей оцінки нерухомості, побудованих на основі нейронних технологій. Теоретичні положення проілюстровано на прикладі нейронної мережі, що дає змогу здійснювати короткостроковий прогноз ціни на житлову нерухомість у Чернівцях.

Ключові слова: нейронні мережі, прогнозування, ринок нерухомості.

Постановка проблеми. Ринок нерухомості є складною системою, яка постійно змінюється у часі. Протягом останніх десяти років спостерігалися протилежні тенденції: спочатку ціни на нерухомість були досить низькими, а потім значно піднялися, спочатку спостерігалася майже повна зупинка будівництва, яка потім переросла у справжній будівельний бум. Звичайно, це пов'язано з тим, що на ринок нерухомості здійснює вплив досить значна кількість економічних, соціальних та адміністративних факторів. Вони спричиняють підвищений ризик для суб'єктів ринку нерухомості, які прагнуть отримати прибуток: продавців, страхових компаній, ріелторських фірм, будівельних організацій тощо. Якщо, крім цього, врахувати недосконалість статистичної інформації про об'єкти нерухомості, її нечіткість та недоступність, стає зрозумілою роль прогнозування як для банків, що використовують нерухомість як заставу в іпотечному кредиті, так і для державних установ чи приватних фірм, що прагнуть отримати максимальний прибуток [1].

При оцінці нерухомості, зазвичай, використовують нормативну (як базу для оподаткування) та експертну (як базу для визначення ринкової вартості при здійсненні операцій купівлі-продажу, даруванні чи інших операцій з нерухомістю) види грошової оцінки. Експертна вартість нерухомості – це найбільш імовірна ціна її продажу на конкретну дату в умовах конкурентного ринку. Завдання експерта – врахувати всі фактори, що впливають на вартість нерухомості – місце знаходження, площу, цільове призначення, стан місцевого ринку нерухомості, довкілля інфраструктуру [2].

Для підвищення точності і достовірності прогнозування вартості нерухомості, крім традиційних суб'єктивних методів порівняння продажів, залишкової вартості тощо, часто використовують статистичні та економетричні ме-

тоди [3-5], які можна застосовувати після виконання таких передумов: проведення тесту на незалежність даних (або більш сильного – про їх некорельованість), мультиколінеарність, гетероскедастичність та автокореляцію.

Ще одним поширеним методом для аналізу ринку нерухомості є використання нейронних мереж. Більшість дослідників вважають, що нейронні мережі є досить потужним інструментом у роботі аналітиків на ринку нерухомості, оскільки працюють як з кількісними, так і з якісними характеристиками, певним чином підготовленими, дають змогу встановити зв'язки, які іншими методами складно виявити [6-11].

Основний матеріал. Перші нейронні мережі почали використовувати у 50-60-х роках минулого століття. На той час основна робота була зосереджена на вивченні мережі, що складалася з одного рівня нейронів – перцептроні (англ. perceptron – сприйняття). Такі мережі успішно використовували для аналізу кардіограм, прогнозування погоди та моделювання зору [6], проте коло задач, які можна було розв'язати за їх допомогою, було досить вузьким. У 80-х роках минулого століття вчені ускладнили архітектуру мереж і вже через 10 років ця наука стала надзвичайно популярною – інтенсивно розвивалася і теорія, і практика застосування нейронних мереж.

Будь-яка нейронна мережа складається з відносно простих однотипних елементів, що імітують роботу головного мозку. Кожний нейрон містить синапси (однонаправлені вхідні зв'язки з іншими нейронами) та аксон (вихідний зв'язок з іншими нейронами). Коли нейрон отримує сигнал, що надходить до нього від взаємопов'язаних нейронів, то відповідно до нього виконує типову операцію – змінює свої параметри, так звані синаптичні ваги за допомогою нелінійного перетворення та передає її далі по мережі.

Нейрони, які зібрані в систему певної архітектури, називають нейронною мережею. Тип цієї мережі визначається задачею, але у будь-якому випадку мережа повинна містити вхідний та вихідний рівні. На рис. 1 зображено чотирирівневу мережу, перший рівень якої містить чотири нейрони, другий – три, третій – два і четвертий – три нейрони.

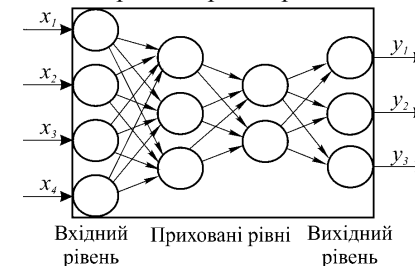


Рис. 1. Структура чотирирівневої мережі

По суті, нейронна мережа є "темною скринькою", оскільки ваги конкретних нейронів невідомі для спостерігача, то роботу мережі оцінюють на основі реакції на вхідні сигнали x_1, \dots, x_n , тобто за допомогою значень y_1, \dots, y_m , які отримують на виході. Для того, щоб мережа функціонувала ефективно,