

1. На підставі статистичного оброблення значень відгуків спостережень кожного з дослідів експерименту встановлено, що при фіксованих картах розкрою відповідних базових конфігурацій, залежно від різних типорозмірів плит ефективності використання розкроюваного матеріалу змінюються у таких межах:
 - КР з 1-єю "сіткою" – з 86,69 до 91,58 %, тобто на 4,90%;
 - КР з 2-ма "сітками" – з 89,21 до 93,19 %, тобто на 3,97%;
 - КР з 3-ма "сітками" – з 90,85 до 93,58 %, тобто на 2,73%;
 - КР з багатьма "сітками" – з 91,93 до 93,87 %, тобто на 1,94%.
2. На підставі проведеного двофакторного дисперсійного аналізу встановлено числові значення компонент, з яких складаються відгуки кожного з дослідів експерименту, а також з'ясовано ступені впливів на них ефектів рівнів варіювання якісних факторів і їх взаємодій з позиції вагомості кожного з них:
 - середнє вибіркове значення – 91.83%;
 - ефекти впливів фактора **A** на рівнях варіювання – -1.61, -0.01, 0.39 і 0.68;
 - ефекти впливів фактора **B** на рівнях варіювання – -1.26, -0.78, 0.28 і 0.68;
 - ефекти впливів взаємодій факторів **A** і **B** відповідно на рівнях їх варіювання – від -2.28 до 0.68;
 - помилки спостережень на рівнях варіювання – ± 0.27 .
3. Встановлено, що ефекти впливів якісних факторів **A** і **B** та їх взаємодій на зміну значень відгуків кожного з дослідів експерименту є значущими, тобто всі розглянуті в експерименті базові конфігурації карт розкрою мають значний вплив на зміну ефективності використання розкроюваного матеріалу. Однак, якщо ефекти якісних факторів **A** і **B** мають домінуючі впливи (на рівні відповідно 128.58 і 138.04), то їх взаємодії тільки часткові (на рівні 5.89).

Література

1. Грицюк Ю.І. Дослідження впливу базових конфігурацій карт розкрою на ефективність використання плитного деревного матеріалу// Наук. вісник УкрДЛТУ: Зб. наук.-техн. праць. – Львів: УкрДЛТУ. – 2005, вип. 15.2. – С. 81-95.
2. Пижурин А.А., Розенблит М.С. Исследование процессов деревообработки: Учебн. для вузов. – М.: Лесн. пром-сть, 1984. – 232 с.

УДК 674.047

Асист. Т.В. Голубець – НЛТУ України

АНАЛІЗ ДИФУЗІЙНИХ ВОЛОГІСНИХ І ТЕПЛОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЕРЕВИНИ У ГІГРОСКОПІЧНІЙ ОБЛАСТІ

Дифузійні властивості вологи і тепла гігроскопічної деревини проаналізовані на основі коміркової моделі у стаціонарних умовах. Аналітичне співвідношення для розрахунку термоградієнтного коефіцієнта встановлено з частковим врахуванням породи дерева.

An analyze of water and thermal diffusivity wood properties into hygroscopic range

The moisture and thermal diffusivity properties of hygroscopic wood have been analysed using the cellular model under stable conditions. The analytical relation sheet for thermo gradient coefficient is established taken into account partially sort of wood.

Актуальність задачі визначення коефіцієнтів перенесення тепла і вологи у деревині пов'язана з дослідженням процесів сушіння і механічних властивостей дерева у різноманітних технологічних процесах.

На теперішній час не існує чіткого уявлення про характер протікання тепла і вологи у капілярно-пористих колоїдних тілах з точки зору нерівноважної термодинаміки. Для математичного моделювання процесів переносу тепла і вологи необхідні знання: структури деревини з врахуванням анізотропії фізичних властивостей; дифузійних коефіцієнтів тепломасоперенесення залежно від зовнішніх і внутрішніх факторів; характеру протікання нерівноважних процесів на поверхні деревини.

З цієї причини винятковий інтерес виникає до експериментального або теоретичного дослідження коефіцієнтів дифузії (теплопровідності і вологопровідності) у деревині з врахуванням широкого спектру температур T і вологовмісту M у напрямках анізотропії:

$$M = \frac{W - W_0}{W} 100\%, \quad (1)$$

де: W_0 – вага висушеного дерева (при $T = 103 \pm 2^\circ\text{C}$); W – вага мокрого дерева.

Окремим не вирішеним до кінця актуальним науковим питанням залишається дослідження фізичних властивостей адсорбованої або активованої, іншими словами зв'язаної води. Зв'язана вода, приєднуючись до стінок капілярів або судин клітковини, утворює принципово нову фазу, що істотним чином впливає на об'ємну пористість деревини:

$$v_a = 1 - \frac{1}{V_W} \left(V_{W_0} + \frac{W - W_0}{\rho_W} \right) \quad V_{\text{water}} = \frac{W - W_0}{\rho_W} \quad v_a = \frac{V_{\text{pores}}}{V_W}, \quad (2)$$

де: v_a – об'ємна пористість; V_{W_0} – об'єм висушеного дерева; V_W – об'єм мокрого дерева; $\rho_W = 1000 \text{ kg/m}^3$ – густина вільної води.

Якщо врахувати, що згідно з [4] усереднений для всіх сортів твердої і м'якої деревини об'ємний коефіцієнт усадки з зеленого ($M > M_f$, де M_f – точка насичення судин) до висушеного при $T = 103 \pm 2^\circ\text{C}$ дерева $S_0 = 26,5\%$,

то, беручи за означення питому вагу дерева $G^W = \frac{W_0}{\rho_W V_W}$, отримуємо

$$G^W = \frac{G_b}{1 - 0,265 \left(\frac{30 - M}{30} \right) G_b}, \quad (3)$$

де G_b – питома вага зеленого дерева.

Тому для деревини, сорт якої визначається параметром G_b , залежність між об'ємною пористістю v_a і рівноважним вологовмістом M має вигляд, зображений на рис. 1.

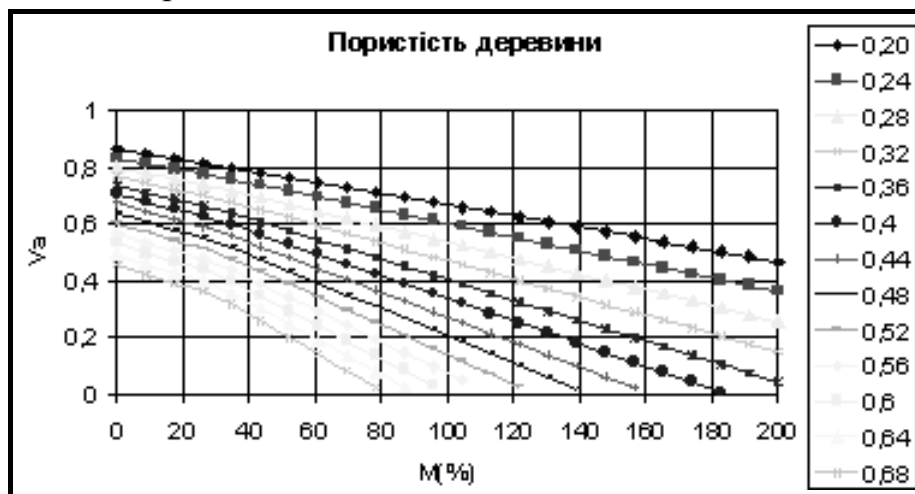


Рис. 1. Об'ємна пористість v_a деревини для довільних сортів G_b як функція рівноважного вологовмісту M

Серед моделей, які описують поширення тепла і вологи у дереві, найбільшої актуальності, з точки зору фізичної і структурної обґрунтованості, знайшли так звані коміркові моделі. Виходячи з важливості розгляду гігроскопічних властивостей деревини ($M < M_f$, де $M_f \sim 30\%$, див. рис. 1), вони найкраще підходять для опису критичних процесів. Велика кількість експериментальних даних [3, 4] дає змогу побудувати регресійні залежності і порівняти емпіричні дані з результатами коміркової моделі.

Нехай середні поперечні розміри комірок встановлено на основі розподілу, зображеного на рис. 1. Тоді, згідно з [5], беручи за основу аналогію в явищах перенесення тепла і вологи з явищами електричної провідності, можемо записати базові рівняння для коефіцієнтів тепломасообміну у випадку стаціонарних потоків на поверхні і у середині деревини.

Для коефіцієнта, що характеризує перенесення тепла, отримуємо:

$$K_{qT} = \frac{Z}{\frac{1-a}{K_{qT}^W Z} + \frac{a}{(1-a)K_{qT}^W + aK_{qa}}} = 1 - a(1 - w_1 - K_{qa} / K_{qT}^W) \quad (4)$$

$$w_1 = \frac{0.48(1-a)}{a} \left[1 - \exp \frac{-2.08a}{(1-a)} \right] \quad M < M_f$$

де: $K_{qT} (W/mK)$ – поперечна дифузійна теплопровідність деревини; $K_{qT}^W = 0,44 (W/mK)$ – поперечна теплопровідність стінок твердих комірок; $K_{qa} = 0.042 (W/mK)$ – теплопровідність чистого повітря; $a = \sqrt{v_a}$ – квадратний корінь з пористості деревини.

У напрямку вздовж волокон деревини при $M < M_f$ маємо

$$K_{qL} = K_{qL}^W(1 - v_a) + K_{qa}v_a \quad K_{qL}^W = 2K_{qT}^W, \quad (5)$$

де K_{qL} – поздовжня теплопровідність деревини.

Для коефіцієнтів, що характеризують перенесення вологи, отримуємо

$$D_{WT} = \frac{1}{1-a^2} \frac{D_{BT} D_v}{D_{BT} + D_v(1-a)} \quad M < M_f, \quad (6)$$

де: D_{WT} – поперечний коефіцієнт дифузії вологи у деревини; D_{BT} – коефіцієнт дифузії зв'язаної води на стінках комірок; $D_v (m^2/s)$ – коефіцієнт дифузії водяної пари у судинах, пов'язаний з концентрацією зв'язаної води на стінках комірок.

У напрямку вздовж волокон деревини при $M < M_f$ отримуємо

$$D_{WL} = \frac{1}{\frac{1}{D_v v_a} + D_{BL}(1-v_a)} + \frac{1-a}{100 D_{BL} v_a (1-v_a)}, \quad (7)$$

де $D_{WL} (m^2/s)$ – коефіцієнт дифузії вологи у деревині вздовж волокон.

Коефіцієнт термодифузії D_q у напрямках анізотропії визначатимемо за відомим співвідношенням:

$$D_q = \frac{K_q}{c_{pW} \rho} \quad \rho = G^W (1 + 0,01M) \rho_W, \quad (8)$$

де: $K_q (W/mK)$ – теплопровідність, розрахована за формулами (4) і (5); $c_{pW} (J/kgK)$ – питома теплоємність мокрого дерева; $\rho (kg/m^3)$ – густина мокрого дерева; $\rho_W (kg/m^3)$ – густина вільної води; G^W – питома вага деревини, згідно з формулою (3).

Питома теплоємність деревини c_{pW} визначається на основі даних [4] з додатковою поправкою на енергію зв'язаної води

$$c_{pW} = \frac{c_{p0} + 0,01M c_W}{1 + 0,01M} + A_c \quad c_{p0} = 0,2605 + 0,0005132T \quad (9)$$

$$A_c = M(b_1 + b_2 T + b_3 M)$$

де: $c_{p0} (kJ/kgK)$ – питома теплоємність висушеного дерева; $c_{p1} = 4,19 (kJ/kgK)$ – питома теплоємність вільної води; $A_c = A_c(M, T)$ – поправка на енергію зв'язаної води.

Питома теплоємність зволоженого дерева (9) у гігроскопічній області, як функція рівноважного вологовмісту M при різних температурах T , зображена на рис. 2.

На основі співвідношень (4) і (5) отримуємо залежності (рис. 3-4) коефіцієнтів теплопровідності K_{qT} і K_{qL} при $T = 30^\circ C$ від рівноважного вологовмісту M для різних сортів G_b деревини.

Розрахунки, проведені згідно з формулою (8) показують, що коефіцієнти дифузії тепла у деревині D_{qT} і D_{qL} в гігроскопічній області ($M < M_f$) практично не залежать від температури.

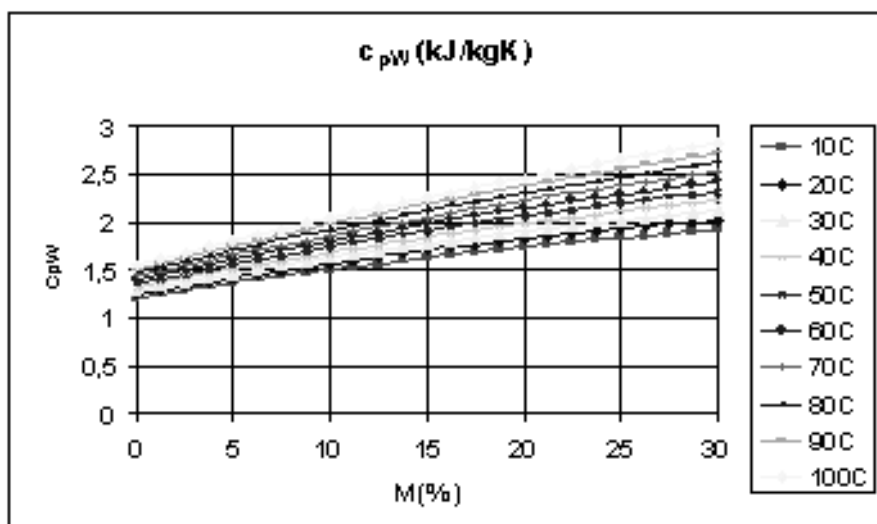


Рис. 2. Питома теплоємність c_{pW} зволоженого дерева як функція рівноважного вологовмісту M при різних температурах T

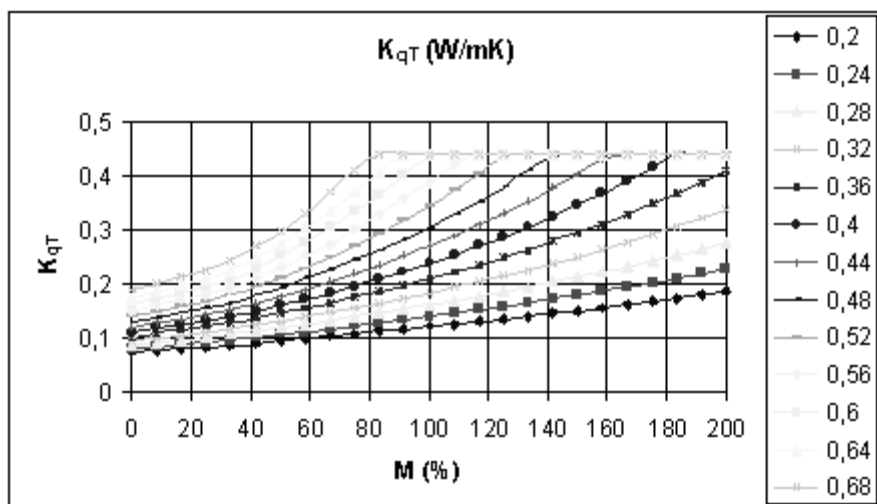


Рис. 3. Залежність коефіцієнта теплопровідності K_{qT} в тангентальному напрямі від рівноважного вологовмісту M для різних сортів G_b деревини

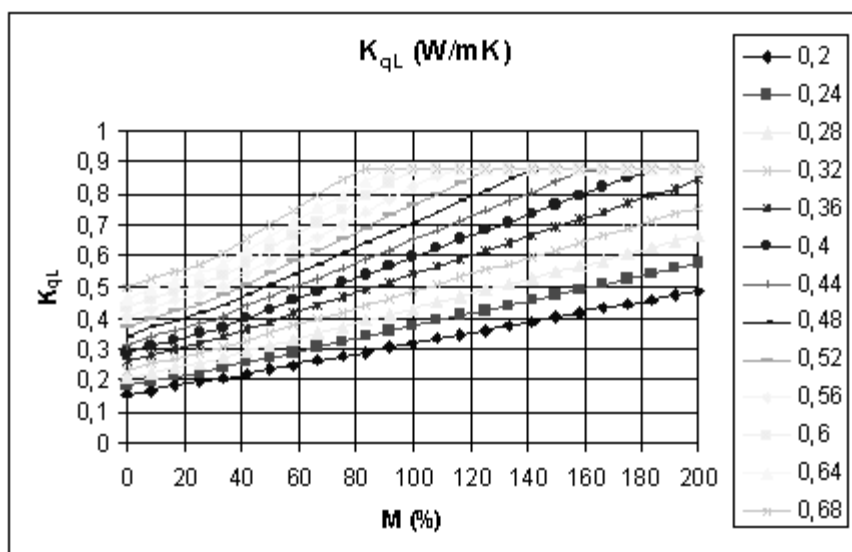


Рис. 4. Залежність коефіцієнта теплопровідності K_{qL} в поздовжньому напрямі від рівноважного вологовмісту M для різних сортів G_b деревини

Вологісні характеристики теплодифузійних коефіцієнтів у тангентальному і поздовжньому напрямках для різних сортів деревини (параметр G_b) зображені відповідно на рис. 5 і рис. 6.

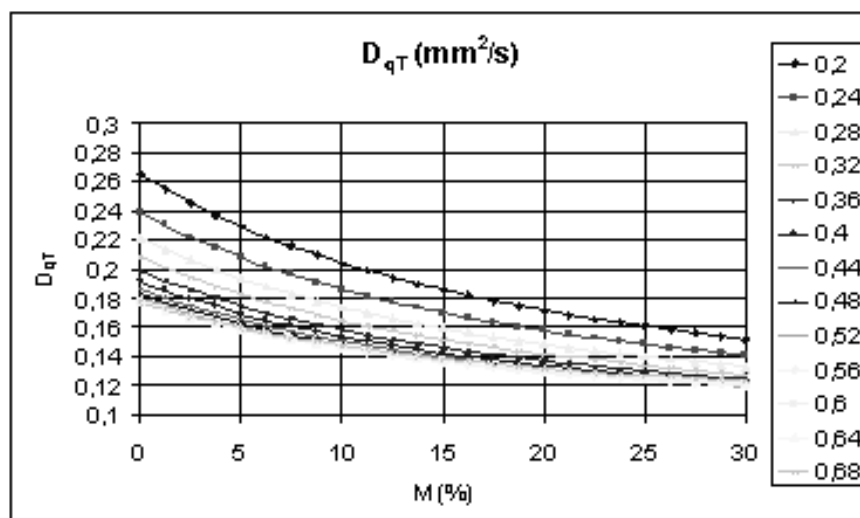


Рис. 5. Тангентальний коефіцієнт термодифузії D_{qT} як функція рівноважного вологовмісту M для різних сортів деревини G_b

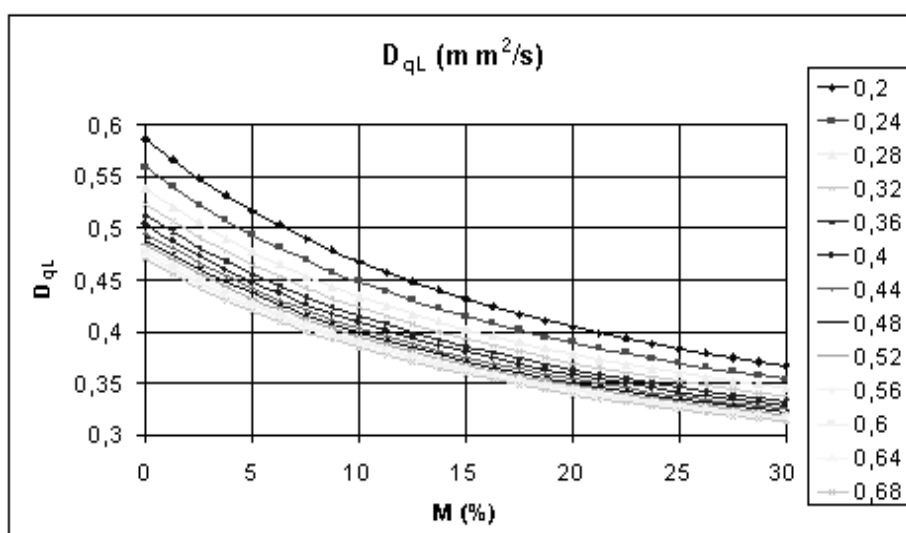


Рис. 6. Поздовжній коефіцієнт термодифузії D_{qL} як функція рівноважного вологовмісту M для різних сортів деревини G_b

Характерним є відношення D_{qL} / D_{qT} , яке в гігроскопічній області згідно з чисельними розрахунками відповідає $K_{qL} / K_{qT} \sim 2.5$ (рис. 7).

Незалежно Choong (1963) і Stamm (1964) [5] показали, що

$$D_{BT} = D_0 \exp(-E_b / RT), \quad (10)$$

$$E_b = 38500 - 290M$$

де: D_{BT} (m^2/c) – тангентальний коефіцієнт дифузії зв'язаної води; E_b (J/mol) – енергія активації дифузії зв'язаної води; M – рівноважний вологовміст; $D_0 = 7 \times 10^{-6}$ (m^2/c) – константа.

Згідно з теорією Anderson і McCarty (1963) [5], а також досліджень Dushman і Laffery (1962) [5] маємо:

$$D_v = \frac{0.04Ab}{G_M^W} \left(\frac{T}{273} \right)^{1.75} \frac{\exp(-bM/100)}{\rho_W RT}, \quad (11)$$

$$A = 7.73 - 0.0143T \quad b = 0.875 + 0.00567T$$

де: $D_v (m^2/s)$ – коефіцієнт дифузії водяної пари у судинах, пов'язаний з концентрацією зв'язаної води на стінках комірок; G_M^W – питома вага комірок при рівноважному вологовмісті M ; $R = 8.31 (J/molK)$ – газова постійна; $T(^{\circ}K)$ – термодинамічна температура; $\rho_W = 1000 (kg/m^3)$ – густина вільної води.

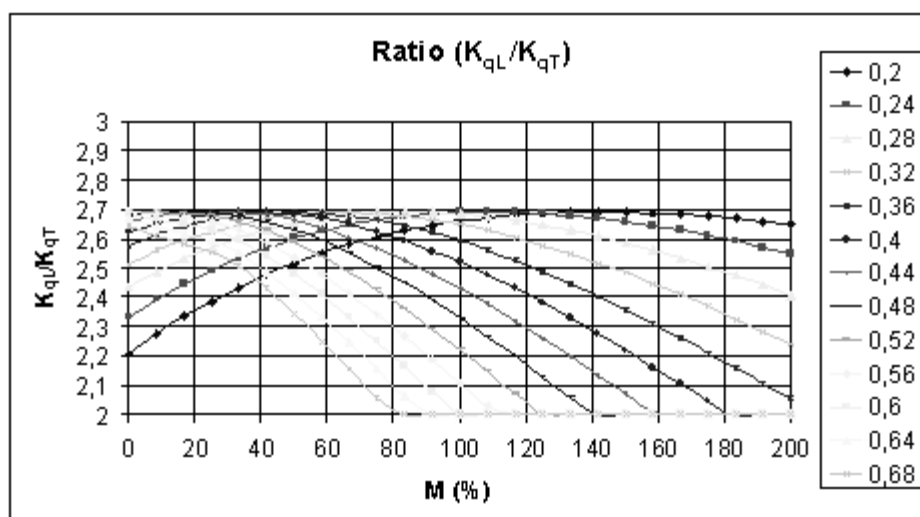


Рис. 7. Відношення D_{qL} / D_{qT} як функція рівноважного вологовмісту M для різних сортів деревини G_b

Для аналізу зміни коефіцієнтів дифузії води під впливом рівноважного вологовмісту підставимо формули (10) і (11) у відомі співвідношення (6) і (7). Отримуємо залежності коефіцієнтів дифузії води D_{WT} і D_{WL} у напрямках анізотропії при $T = 30^{\circ}C$ для різних сортів деревини G_b (рис. 8 і рис. 9).

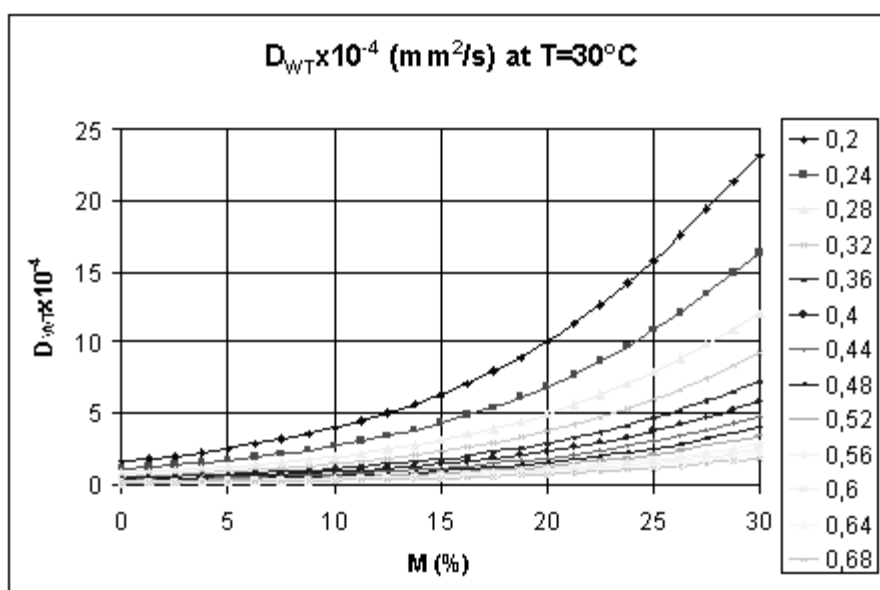


Рис. 8. Тангентальний коефіцієнт дифузії D_{WT} води як функція рівноважного вологовмісту M для різних сортів дерева G_b

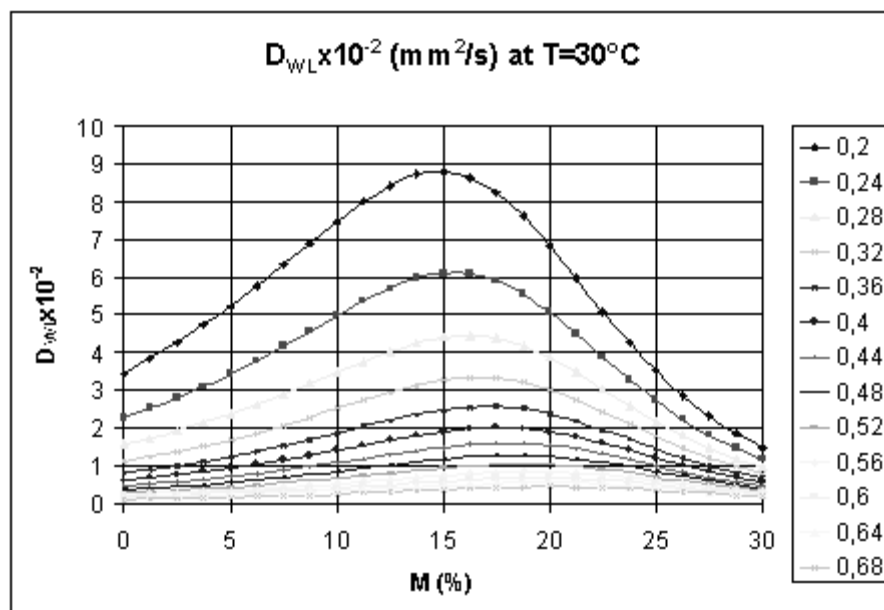


Рис. 9. Поздовжній коефіцієнт дифузії D_{WL} води як функція рівноважного вологовмісту M для різних сортів дерева G_b

Характерним є відношення D_{WL} / D_{WT} , яке посередині області гігроскопічності, згідно з чисельними розрахунками $D_{WL} / D_{WT} \sim 100$ (рис. 10).

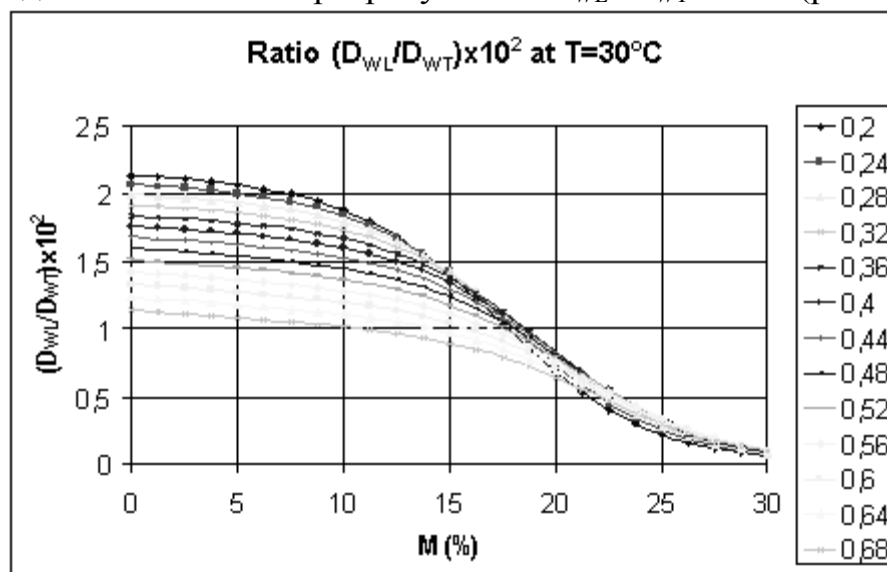


Рис. 10. Відношення коефіцієнтів дифузії D_{WL} / D_{WT} води в поздовжньому і тангентальному напрямках, як функція рівноважного вологовмісту M для різних сортів дерева G_b

Важливою теплофізичною характеристикою деревини є термоградієнтний коефіцієнт

$$\delta_m = \frac{100}{TG^w \ln(100/H)} \left(\frac{TA}{100} \frac{db}{dT} M - T \frac{dA}{dT} - A \right) \exp(-Mb/100), \quad (11)$$

де $H(\%)$ – відносна вологість повітря.

На рис. 11 зображено залежність модельного термоградієнтного коефіцієнта δ_m при $T = 30^\circ\text{C}$ і $H = 30\%$ від рівноважного вологовмісту для різних порід G_b деревини.

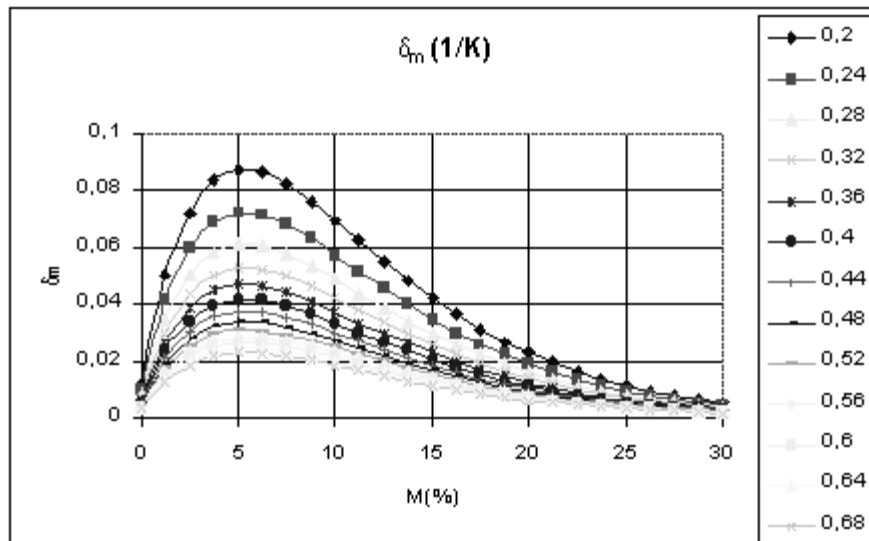


Рис. 11. Модельний термоградієнтний коефіцієнт δ_m при $T = 30^\circ \text{C}$ і $H = 30\%$ як функція рівноважного вологовмісту M для різних сортів G_b деревини

Висновки

Аналіз залежностей зображених на рис. 5 та рис. 6 дає змогу встановити, що у гігроскопічній області, незважаючи на зростання теплопровідності (рис. 3 і рис. 4) з ростом рівноважного вологовмісту, дифузійні властивості переносу тепла зменшуються. Це пов'язано, у першу чергу, зі стрімким зростанням (рис. 2) теплоємності деревини при насиченні водою.

Швидкість переносу фронту тепла зменшується при переході від м'якої деревини (малі значення G_b) до твердої деревини (великі значення G_b), що пояснює доцільність використання твердого насиченого ($M > M_f$) за певних умов водою дерева у теплоізоляційних конструкціях.

Згідно з рис. 7, у гігроскопічній області відношення теплопровідностей у поздовжньому і тангентальному напрямках ($K_{qL} / K_{qT} \sim 2.5$), встановлене MacLean (1941) [5], зберігається для теплодифузійних коефіцієнтів.

Зрозумілим є той факт, що з ростом рівноважного вологовмісту до точки насичення судин водою, дифузія водяної пари стрімко зменшується, в той час, як дифузія зв'язаної води зростає, хоча остання приблизно на три порядки менша за величиною. Проте, залежність, зображена на рис. 8, показує переважаючий вклад зв'язаної води у дифузію води в тангентальному напрямку, в той час, як у поздовжньому напрямку (рис. 9), дифузія зв'язаної води і водяної пари борються між собою, утворюючи максимум посередині області гігроскопічності.

Вигляд залежності, зображеної на рис. 10, дає змогу зробити висновок, що основним фактором в анізотропії вологісних дифузійних характеристик деревини є геометричні розміри комірок, оскільки порядок відношення $D_{WL} / D_{WT} \sim 100$ по середині гігроскопічної області приблизно співпадає з порядком відношення поздовжніх і поперечних розмірів комірок.

Очевидним є також той факт, що у м'якому дереві дифузія води відбувається швидше, ніж у твердій деревині. Тому для підтримання низької відносної вологості повітря в ізольованих приміщеннях краще використовувати висушене тверде дерево.

Наявність максимумів (рис. 11) для модельного термоградієнтного коефіцієнта δ_m вказує на правильність емпіричних наближень, в основному, враховуючи перенесення вологи в адсорбованій і пароповітряній фазах.

На наш погляд, деякі емпіричні залежності потребують уточнення.

Література

1. **Лыков А.В.** Теория сушки. – М.: Энергия, 1986. – 470 с.
2. **Шубин Г.С.** Сушка и тепловая обработка древесины. – М.: Лесн. пром-сть, 1990. – 236 с.
3. **Билей П.В.** Сушка древесины твердых лиственных пород. – М.: Экология, 2002. – 223 с.
4. **FPL. 1999. Wood handbook**-Wood as an engineering material. Gen. Tech. Rep. FPL-GTR-113. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 463 pp.
5. **Siau, J. F. 1995.** Wood: influence of moisture on physical properties. Department of Wood Science and Forest Products Virginia Polytechnic Institute and State University. 227pp.

УДК 674.09

*Доц. Ю.І. Грицюк, канд. техн. наук;
магістрант С.І. Яцишин – НЛТУ України*

ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ СХЕМ РОЗКРОЮ КОЛОД НА РАДІАЛЬНІ ПИЛОМАТЕРІАЛИ

Запропоновано методику розрахунку оптимальних схем розкрою колод на пиломатеріали за критерієм, що характеризує ефективність використання торця колоди. Це дає змогу обчислити оптимальні товщини дощок для секторного способу розкрою колод на радіальні пиломатеріали. Проведені розрахунки за розробленою математичною моделлю дають результати, придатні для подальшого використання у виробничих умовах.

Doc. Yu.I. Gryciuk; master S.I. Yacyshyn – NUFWT of Ukraine

I will cut out determination of optimum charts logs on radial saw-timbers

The method of calculation of optimum charts is offered I will cut out logs on saw-timbers after a criterion, that characterizes efficiency of the use of butt end of log. It enables to calculate optimum thickness of boards for a sector method I will cut out logs on radial saw-timbers. The conducted calculations after the developed mathematical model give results suitable for the subsequent use in productions terms.

Постановка завдання

Г.Г. Тітков в роботі "Основы теории максимальных поставов" [7] описав метод обчислення оптимальних товщин двосторонньо обрізаних дощок і методику знаходження абсолютно максимального поставу за критерієм, що характеризує ефективність використання вершинного торця колоди [1, ст. 79]. Запропонований ним метод давав змогу обчислити оптимальні товщини дощок для розвального способу розкрою колод на пиломатеріали. Але, окрім розвального способу для виготовлення, наприклад, заготовок для авіа- і суднобудування, бондарного виробництва, спортивного інвентарю і ін. широко застосовуються спеціальні способи розкрою: секторний, розвально-сегментний, брусково-сегментний і інші. Внаслідок застосування того чи іншого способу розкрою отримують відповідну пилопродукцію – радіального або тангентального випилювання.