

МЕТОДИКА РОЗДІЛЕННЯ ФАЗ І ПРОГНОЗУВАННЯ РОЗМІРІВ ВЗІРЦЯ ДЕРЕВИНИ ІЗ ЗМІНОЮ ВОЛОГОВМІСТУ ПРИ ФІКСОВАНІЙ ЛОКАЛЬНІЙ ГЕОМЕТРІЇ МАТЕРІАЛУ

Досліджено залежності відносного об'єму фаз у твердому і м'якому дереві при різних значеннях рівноважного волого вмісту. Встановлено значне розбухання матриці пористого матеріалу листяних порід дерев порівняно з хвойними сортами дерева. На основі експериментальних даних проаналізовано відносну зміну поздовжніх розмірів взірця деревини з врахуванням локальної геометрії матеріалу.

Assist. T.V. Golubets' – NUFWT of Ukraine

The principles of phase division and prediction of wood specimen size with moisture changes under fixed timber local geometry

The phase's relative volume dependencies with equilibrium moisture content have been investigated for soft and hard wood. The significant swelling of porous material matrix for deciduous wood species is established relatively to coniferous sorts of wood. Based on the experimental data, the relative longitudinal dimensional changes of wood specimen have been analyzed taking into account a material local geometry.

Актуальність

Задача розділення фаз або приведення до єдиної геометричної поверхні відіграє велику роль у дослідженні процесів тепло масообміну в капілярно-пористих колоїдних тілах. Явища поширення фронту тепла або вологи в твердій, рідкій і пароповітряній фазах відбуваються з різними швидкостями у напрямках анізотропії матеріалу, що вказує на значну залежність характеру потоків від геометричних розмірів тіла.

Особливий інтерес виникає щодо дослідження взаємозалежних процесів зміни лінійних і об'ємних розмірів деревини викликаних всиханням чи розбуханням, як також впливу даних явищ на дифузійні властивості матеріалу.

Аналіз відомих результатів

З теорії сушіння відомо, що зміни геометричних розмірів деревини характеризуються двома лінійними (S_T – тангентальний і S_R – радіальний) та одним об'ємним (S_0) коефіцієнтами всихання з зеленого ($m > m_f$) до висушеного дерева, де m_f – точка насичення судин вологою, а m – рівноважний волого вміст (ЕМС).

З експериментальних досліджень [1] знаємо, що поздовжній коефіцієнт всихання $S_L \sim 0,1 \div 0,3\%$, тому як правило змінами геометричних розмірів у даному напрямку анізотропії нехтують, а співвідношення між лінійними коефіцієнтами приймають рівним $S_T / S_R \sim 2$ і зв'язують з об'ємним у вигляді наближених формул:

$$S_T \approx 2/3 S_0 \quad \text{і} \quad S_R \approx 1/3 S_0.$$

Даний підхід не враховує сорту G_b (тут G_b – питома вага зеленого дерева при $m > m_f$) і структури деревини, тому вважається наближеним.

Постановка задачі

Будемо виходити з відомого об'ємного співвідношення:

$$V_W = V_{W_0} + V'_W + V_{water} + V_{pores},$$

де: V_W – сумарний об'єм зволоженого взірця дерева; V_{W_0} – сумарний об'єм матриці висушеного взірця дерева; V'_W – різниця між об'ємом зволоженої і сухої матриці, пов'язана з розбуханням колоїдного матеріалу комірок деревини; V_{water} – сумарний об'єм вільної води; V_{pores} – сумарний об'єм пор або пустот у деревині.

Після нескладних аналітичних перетворень приходимо до формули для визначення об'ємної пористості ($v_a = V_{pores} / V_W$):

$$v_a = 1 - G_m^W \left[\frac{1}{G_0^W} (1 + v') + m \right], \text{ де } G_m^W = \frac{G_b}{1 - 0,01S_0 \frac{m_f - m}{m_f}}, \quad (1)$$

де: $v' = V'_W / V_{W_0}$ – відносна зміна об'єму матриці деревини пов'язана з розбуханням колоїдного матеріалу; S_0 (%) – об'ємний коефіцієнт всихання з зеленого до висушеного дерева; G_b – питома вага зеленого дерева ($m > m_f$); G_0^W – питома вага висушеної матриці матеріалу деревини ($G_0^W = 1,53$); m – рівноважний волого вміст ($0 < m < 1$); m_f – точка насичення судин вологою (FSP).

Методика визначення основних геометричних характеристик деревини

Розглянемо примітивну [2] геометричну модель комірок дерева (рис. 1). З простих міркувань можна показати, що

$$v' = \frac{mG_b}{1 - 0,01S_0} (m < m_f). \quad (2)$$

Позначимо через $v_a^0 = V_{pores} / V_{W_0}$ об'ємну пористість висушеного дерева, тоді співвідношення об'ємів фаз приймають наступний вигляд:

$$\frac{V_{water}}{V_{pores}^0} = 1 - \frac{v_a}{v_a^0} (1 + v') \quad \frac{V_{cells}}{V_{pores}^0} = \frac{1 + v'}{v_a^0} - 1 \quad \frac{V_{air}}{V_{pores}^0} = \frac{v_a}{v_a^0} (1 + v'), \quad (3)$$

де: V_{pores}^0 – сумарний об'єм пор або пустот висушеного дерева; V_{water} – сумарний об'єм води (рідка фаза); V_{cells} – сумарний об'єм матриці деревини (тверда фаза); V_{air} – сумарний об'єм повітря (пароповітряна фаза).

Зміна лінійних розмірів деревини у напрямках анізотропії, як також зміна об'єму цілого взірця матеріалу є функціями рівноважного вологовмісту m і відповідних коефіцієнтів всихання:

$$\begin{aligned} \Delta V &= \Delta V(m, S_0) \\ \Delta b_T &= \Delta b_T(m, S_T) \\ \Delta b_R &= \Delta b_R(m, S_R) \end{aligned} \quad (4)$$

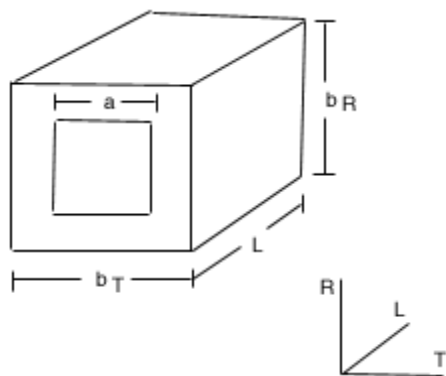


Рис. 1. Геометрична модель комірок деревини

Використаємо дані роботи [1], звідки:

$$\frac{b_T}{b_T^0} = 1 + \frac{m}{m_f} \frac{1}{1/s_T^* - 1} \quad \frac{b_R}{b_R^0} = 1 + \frac{m}{m_f} \frac{1}{1/s_R^* - 1}, \quad (5)$$

де b_T^0 і b_R^0 – поперечні розміри комірки при нульовому вологовмісті ($s_T^* = S_T/100$ і $s_R^* = S_R/100$).

Тепер на основі співвідношень (4) отримуємо відносну зміну ($\Delta = L/L_0$) поздовжніх розмірів комірок:

$$\Delta = \frac{1}{\gamma} (1 + v'), \quad (6)$$

де $\gamma = \left(1 + \frac{m}{m_f} \frac{1}{1/s_T^* - 1}\right) \left(1 + \frac{m}{m_f} \frac{1}{1/s_R^* - 1}\right)$ – відносна зміна площі комірок вздовж тангентального і радіального напрямків (див. рис. 1).

Результати досліджень

Теоретичні дослідження проводилися на основі експериментальних даних [1] для твердого і м'якого дерева.

На основі співвідношень (3) побудовано графіки залежностей відносного об'єму фаз для різних значень рівноважного волого вмісту (рис. 2-3).

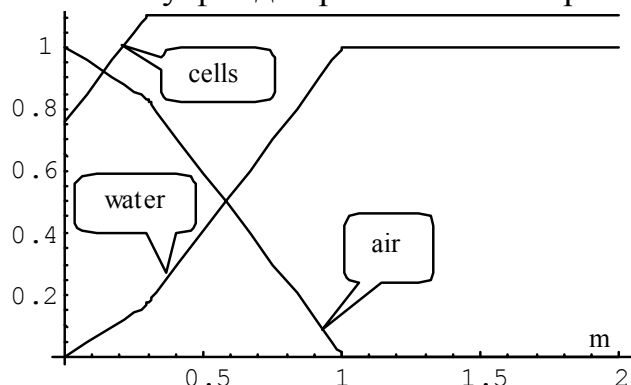


Рис. 2. Відносні об'єми фаз для Red Oak (black, $G_b = 0,56$; $S_0 = 15,1$) як функції рівноважного волого вмісту m

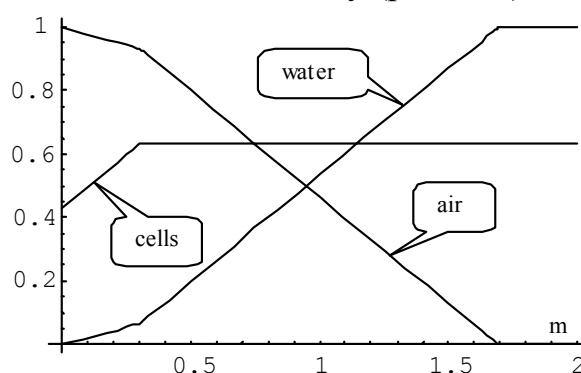


Рис. 3. Відносні об'єми фаз для Red Pine ($G_b = 0,41$; $S_0 = 11,3$) як функції рівноважного волого вмісту m

Для тих самих сортів деревини згідно (5) наведено залежності відносних лінійних розмірів уздовж напрямків анізотропії (рис. 4-5).

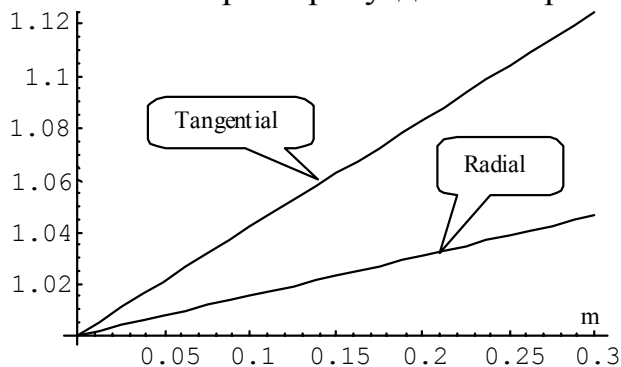


Рис. 4. Лінійні коефіцієнти висушення для Red Oak (black, $S_T = 11,1$; $S_R = 4,4$) як функції рівноважного волого вмісту m

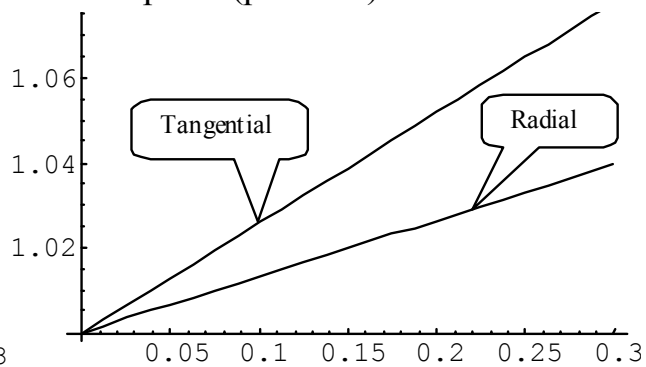


Рис. 5. Лінійні коефіцієнти висушення для Red Pine ($S_T = 7,2$; $S_R = 3,8$) як функції рівноважного волого вмісту m

Також, відповідно до формули (6), зображено зміни поздовжніх розмірів (рис. 6-7).

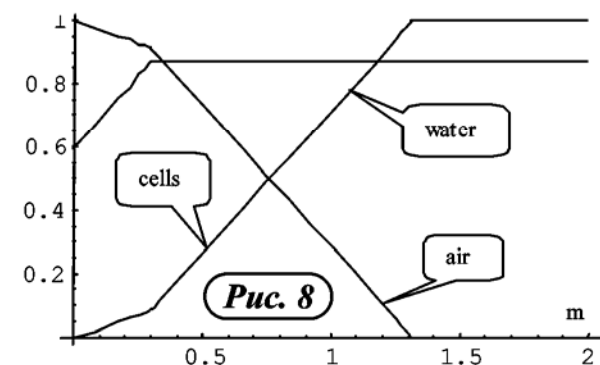
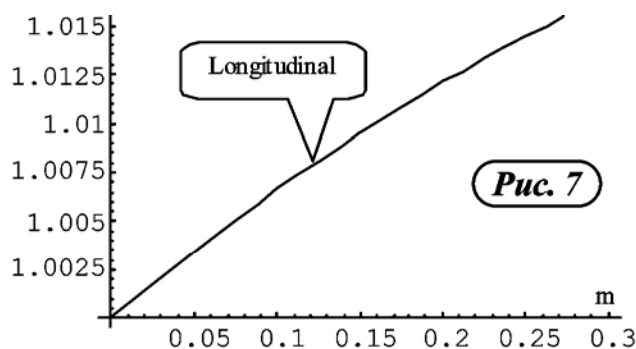
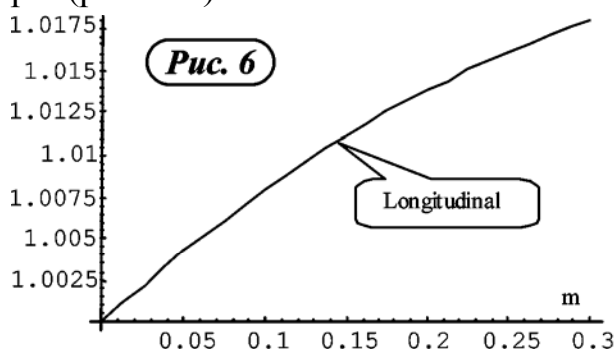


Рис. 6. Залежність відносних поздовжніх розмірів для Red Oak (black) від рівноважного волого вмісту m

Рис. 7. Залежність відносних поздовжніх розмірів для Red Pine від рівноважного волого вмісту m

Рис. 8. Відносні об'єми фаз для Paper Birch ($G_b = 0,48; S_0 = 16,2; S_T = 8,6; S_R = 6,3$) як функції рівноважного волого вмісту m

Висновки

Аналіз залежностей наведених на рис. 2-3 показує значну відмінність у процесах розбухання листяних (рис. 2, дуб) і хвойних (рис. 3, сосна) порід дерева.

У випадку твердих порід (рис. 2) відносний об'єм матриці зволоженої деревини перевищує максимальний об'єм води, який дана деревина може увібрати після точки насичення судин вологою, що не спостерігається (рис. 2) для м'яких сортів дерева. Це, насамперед, пов'язано з більшим значенням питомої ваги G_b зеленого дерева для твердого дерева порівняно з м'яким, оскільки коефіцієнти всихання (рис. 4-5) для розглянутих сортів деревини практично однакові.

Однак даний підхід не дає можливості зробити однозначний висновок відносно поділу дерева на м'які і тверді сорти, бо графік наведений на рис. 8 (береза) вказує на те, що деякі листяні породи дерев проявляють властивості розбухання схожі до хвойних.

Згідно графіків, зображених на рис. 6-7, відносне видовження у поздовжньому напрямку не перевищує $1,5 \div 2,0 \%$, що з достатньою точністю вказує на адекватність вибору (рис. 1) локальної геометрії комірок взірця деревини.

Література

1. FPL. 1999. Wood Handbook. Wood as an engineering material. Gen. Tech. Rep. FPL-GTR-113. Madison, WI: US Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 463pp.
2. Голубець Т.В. Аналіз дифузійних вологісних і теплових характеристик деревини у гігроскопічній області// Наук. вісник УкрДЛТУ: Зб. наук.-техн. праць. – Львів: УкрДЛТУ. – 2005, вип. 15.3. – С. 106-115.