

Умовні позначення: A, B, A^*, B^* – коефіцієнти, які визначаються експериментально, a – питома поверхня шару зернистого матеріалу, $\text{м}^2/\text{м}^3$; $d_{\text{ум}}$ – умовний діаметр частинок, м ; H – висота шару зернистого матеріалу, м ; n – кількість фракцій; N – швидкість сушіння у першому умовному періоді, $\frac{\text{кг}}{\text{кг} \cdot \text{с}}$; $N_{\Delta P}$ – степінь впливу окремої фракції на гідралічний опір стосовно фракції, що має найменший опір ($d=(6,0 \div 10) \cdot 10^{-3} \text{ м}$); T – температура теплоносія, К ; $W_o, W, W_{\text{кр}}, W_p$ – відповідно, початковий, біжучий, критичний та рівноважний вологовміст матеріалу, $\frac{\text{кг } H_2O}{\text{кг с.м.}}$; x_i – процентний вміст фракції у загальній суміші; ΔP – втрата тиску, Па ; μ – в'язкість повітря, $\text{Па} \cdot \text{с}$; ρ – густина теплоносія, $\text{кг}/\text{м}^3$; ε – вільний об'єм, $\text{м}^3/\text{м}^3$; τ – час сушіння, с ; ω_o – фіктивна швидкість руху теплоносія, $\text{м}/\text{с}$.

Література

1. Кіндзера Д.П., Ханік Я.М., Атаманюк В.М. Вплив дисперсного складу вугілля на кінетику сушіння у щільному шарі// Наук. вісн. УкрДЛТУ: Розробка сучасних технологій деревообробки. – Львів: УкрДЛТУ. – 2002, вип. 12.5. – С. 111-115.
2. Мисак Й.С., Омелянський П.Й., Кравець Т.Ю. Економічна ефективність використання низькоякісного твердого палива західного регіону України. Тези доповіді на міжнар. наук.-техн. конференц. Енергоефективність. – К., – 2002. – С. 113.
3. Сушіння паливних матеріалів у щільному шарі, як метод інтенсифікації та енергозбереження. Тези доповіді на міжнар. наук.-техн. конференц. Енергоефективність. – К., – 2002. – С. 93.
4. Кіндзера Д.П., Ханік Я.М., Атаманюк В.М. Зернистий матеріал. Гідродинаміка полідисперсного шару. Хімічна промисловість України. – 2002, № 6. – С. 38-42.
5. Кіндзера Д.П., Ханік Я.М., Атаманюк В.М. Вплив фракційного складу вугілля на гідродинаміку і кінетику сушіння у щільному шарі// Вісник НУ "Львівська політехніка": Хімія, технологія речовин та їх застосування. – Львів: НУ "Львівська політехніка" – 2002, № 461. – С. 245-252.
6. Ханік Я.М. Фильтрационная сушка плоских проницаемых материалов. – Дис. доктора техн. наук. – Львов, 1992. – 401 с.

УДК 674.047 Проф. Я.І. Соколовський, д-р техн. наук; асист. М.В. Дендюк;
доц. Б.П. Поберейко, канд. техн. наук – УкрДЛТУ

МОДЕЛЮВАННЯ ДЕФОРМАЦІЙНО-РЕЛАКСАЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ У ДЕРЕВИНІ ПІД ЧАС СУШІННЯ

Розглянуто математичну модель розрахунку двовимірних деформаційно-релаксаційних полів у висушуваній деревині. Методом скінчених елементів отримано чисельні розв'язки задачі у випадку сталих коефіцієнтів. Проаналізовано вплив різних факторів на розподіл деформаційно-релаксаційних полів деревини у процесі конвективного сушіння.

Prof. Ya.I. Sokolovskij; assist. M.V. Dendyuk; doc. B.P. Poberejko – USUFWT

Modeling of deformation-relaxational process in drying wood

We have considered the mathematical model of calculation of the deformation-relaxational fields in drying wood. By the finite elements method we have obtained the numerical solution of the problem in case of constant coefficients. We have analyzed the influ-

ences of the various factors on a distribution of deformation-relaxational fields of wood in the convective drying process.

1. Актуальність досліджень

Розробка нових та удосконалення існуючих прогресивних технологій сушіння деревини гостро ставить питання створення універсальних методів синтезу та аналізу деформаційно-релаксаційних і тепломасообмінних полів у висушуваних пиломатеріалах. Адже значні за величиною величини напружень є основним стримуючим фактором для інтенсифікації процесу сушіння.

Вирішення даного питання ускладнюється тим, що деревина належить до класу фізично-нелінійних гідрофільних полімерів, які характеризуються значною мілілітністю структурних і фізико-механічних властивостей.

2. Аналіз відомих досліджень

Проблемі синтезу та аналізу реологічної поведінки деревини у процесі сушіння присвячено значну кількість робіт теоретичного та експериментального характеру. Напруження і деформації, які виникають у висушуваній деревині, проаналізовані у [1-3] на розрахункових стержневих одноосних моделях для заданої функції вологості за товщиною пиломатеріалів з врахуванням залежності модуля пружності від вологості. Застосування чисельних методів дозволило розв'язати плоску задачу розрахунку напружень у висушуваних пиломатеріалах у рамках теорії пружності [4-7]. Для робіт [8, 9] є характерним підхід, який обґрунтовується існуванням особливого механізму утворення механіко-сорбційної повзучості і виявленого для умов циклічної зміни вологості навантаженої деревини. Особливості деформування деревини з врахуванням в'язкопружних властивостей у рамках одновимірної задачі наведено в роботах [10, 11].

У даній роботі методом скінченого елемента (МСЕ) визначено напружено-деформівний стан висушуваної деревини як двовимірного анізотропного матеріалу з врахуванням реологічної поведінки. Дані результати є продовженням досліджень [12-14], у яких визначався напружено-деформівний стан (НДС) деревини у процесі сушіння без в'язкопружних властивостей матеріалу. Для цього у статті проведено узагальнення МСЕ для визначення напружень у двовимірному анізотропному матеріалі з врахуванням реологічних властивостей.

3. Постановка задачі і математична модель

Визначення НДС деревини у процесі сушіння базується на основі моделювання зв'язку деформаційно-релаксаційних і масообмінних процесів з використанням загальних положень термодинаміки незворотних процесів і методів механіки суцільного середовища. У випадку двовимірної задачі в'язкопружності, де розглядається прямокутний переріз пиломатеріалу (рис. 1), компонентами деформацій ε_{ij} і напружень σ_{ij} будуть:

$$\{\varepsilon\}^T = [\varepsilon_{11} \quad \varepsilon_{22} \quad \varepsilon_{12}] \text{ та } \{\sigma\}^T = [\sigma_{11} \quad \sigma_{22} \quad \sigma_{12}], \quad (1)$$

де x, y – координатні осі позначені відповідно 1 і 2.

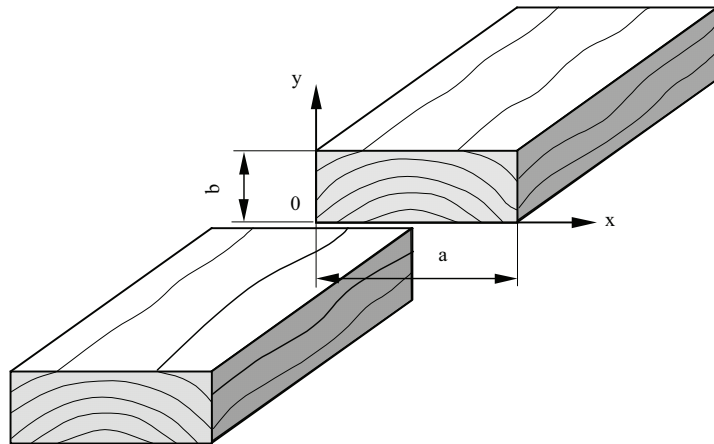


Рис. 1. Прямокутний перетин пиломатеріалу

Найбільш загальний зв'язок між напруженнями $\sigma(t)$ і деформаціями $\varepsilon(t)$ для матеріалів, де ця залежність носить часовий характер, встановлюється інтегральними рівняннями в'язкопружності за допомогою спадкової теорії Больцмана-Вольтерри [15]. Для двовимірної задачі в'язкопружності зв'язок між напруженнями і деформаціями визначаються за формулами:

$$\begin{aligned} \sigma_{11}(t) = & C_{1111}\varepsilon'_{11} - C_{1111} \int_0^t R_{1111}(t-\tau)\varepsilon'_{11}(\tau)d\tau + \\ & + C_{1122}\varepsilon'_{22} - C_{1122} \int_0^t R_{1122}(t-\tau)\varepsilon'_{22}(\tau)d\tau, \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \sigma_{22}(t) = & C_{2211}\varepsilon'_{11} - C_{2211} \int_0^t R_{2211}(t-\tau)\varepsilon'_{11}(\tau)d\tau + \\ & + C_{2222}\varepsilon'_{22} - C_{2222} \int_0^t R_{2222}(t-\tau)\varepsilon'_{22}(\tau)d\tau, \end{aligned} \quad (3)$$

$$\sigma_{12}(t) = 2C_{1212}\varepsilon'_{12} - 2C_{1212} \int_0^t R_{1212}(t-\tau)\varepsilon'_{12}(\tau)d\tau, \quad (4)$$

де: σ_{ij} – компоненти напружень; ε'_{ij} – компоненти деформацій, обумовлені градієнтом вологи в матеріалі; $R(t-\tau)$ – ядра релаксації; C – компоненти тензорів пружних постійних, $C_{1111} = \frac{E_{1111}}{1-\nu_1\nu_2}$; $C_{2222} = \frac{E_{2222}}{1-\nu_1\nu_2}$;

$$C_{1122} = C_{2211} = \frac{\nu_1 E_{2222}}{1-\nu_1\nu_2}; \quad 2C_{1212} = \mu; \quad \mu - \text{модулі зсуву}; \quad E - \text{модулі пружнос-}$$

ті; ν – коефіцієнт Пуассона.

Загальноприйняте формулювання МСЕ [16, 17] передбачає відшукання поля переміщень і зв'язане з мінімізацією потенціальної енергії системи на основі обрахунку вузлових значень вектора переміщень. Після того, як переміщення будуть визначені, обчислюються компоненти тензорів деформацій і напружень. Повна енергія деформації визначається шляхом інтегрування потенціальної енергії за об'ємом V пиломатеріалу:

$$\Lambda = \int_V \frac{1}{2} [\{\varepsilon\}^T \{\sigma\} - \{\varepsilon_0\}^T \{\sigma\}] dV. \quad (5)$$

Компоненти деформацій $\{\varepsilon_0\}$, зумовлені усадкою при видаленні вологи в процесі сушіння з врахуванням анізотропії властивостей деревини, визначаються із залежності [18, 19]

$$\{\varepsilon_0\}^T = \{K_\beta\}^T \Delta U, \quad (6)$$

де: $\{K_\beta\}$ – коефіцієнти усадки в напрямках осей анізотропії

$$\{K_\beta\}^T = [K_{\beta 11} \quad K_{\beta 22} \quad 0]; \quad (7)$$

ΔU – зміна вологовмісту за проміжок часу Δt ,

$$\Delta U = U(t) - U(t - \Delta t). \quad (8)$$

Нестационарний процес вологоперенесення в процесі сушіння деревини на етапі видалення зв'язаної вологи описується рівнянням [20] у частинних похідних

$$\frac{\partial U}{\partial \tau} = \alpha_x \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + \alpha_y \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} \quad (9)$$

і відповідними граничними умовами 3-го роду

$$U = U_B(S), \quad (10)$$

$$\alpha \frac{\partial U}{\partial n} = \beta(U_\Pi - U_R) \quad (11)$$

та початковою умовою

$$U|_{\tau=0} = U_0, \quad (12)$$

де: U – вологовміст; τ – час; α_x, α_y – коефіцієнти вологопровідності вздовж осей анізотропії, $\text{м}^2/\text{с}$; $U_B(S)$ – вологовміст на поверхні, який може бути функцією координат; n – зовнішня нормаль; β – коефіцієнт вологовіддачі, $\text{м}^2/\text{с}$; U_Π – вологовміст на поверхні; U_R – рівноважний вологовміст; U_0 – початковий розподіл вологи.

Початковий розподіл вологи U_0 на початку сушіння приймаємо рівномірним, тобто

$$U_0 = \text{const},$$

а на етапі регулярного процесу (критерій Фур'є $F_0 = 0.1$) – параболічним

$$U|_{F_0=0.1} = U_{\Pi} - \left[1 - \left(\frac{x - a/2}{a/2} \right)^2 \right] \left[1 - \left(\frac{y - b/2}{b/2} \right)^2 \right] (U_{\Pi} - U_{\Pi}), \quad (13)$$

де: U_{Π} , U_{Π} – вологовміст в центрі та на поверхні пиломатеріалу; a , b – ширина та товщина пиломатеріалу; x , y – поточні координати на відповідних осях.

4. Узагальнення методу скінченного елемента на в'язкопружну область деформування деревини і чисельна реалізація

Для визначення в'язкопружних компонент деформацій використаємо гіпотезу тонких перерізів, згідно з якою переріз можна представити у вигляді нескінченно тонких шарів [21, 22]. Видалення вологи в процесі сушіння для першого шару спричиняє деформацію $\{\varepsilon_0\}$ (рис. 2). Насправді ж повна деформація $\{\varepsilon\}$ буде меншою за $\{\varepsilon_0\}$ на величину, зумовлену зв'язкам першого шару з наступним. Таким чином, компоненти повних деформацій $\{\varepsilon\}$ визначаються як різниця деформацій, зумовлених зміною вологи в часі $\{\varepsilon_0\}$ та деформаціями $\{\varepsilon'\}$, зв'язаних з перепадом вологи у деревині, тобто

$$\{\varepsilon\} = \{\varepsilon_0\} - \{\varepsilon'\}, \quad (14)$$

звідки

$$\{\varepsilon'\} = \{\varepsilon_0\} - \{\varepsilon\}. \quad (15)$$

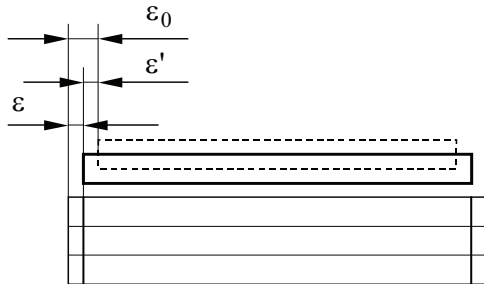


Рис. 2. Компоненти деформацій шарів деревини

Підставивши (15) в (2)-(4), запишемо закон Больцмана-Вольтерри у матричному вигляді:

$$\{\sigma\} = [D]\{\varepsilon_0\} - [D]\{\varepsilon\} - [D_1]\{\varepsilon_{01}\} + [D_1]\{\varepsilon_1\} - [D_2]\{\varepsilon_{02}\} + [D_2]\{\varepsilon_2\}, \quad (16)$$

де:

$$[D] = \begin{bmatrix} C_{1111} & C_{1122} & 0 \\ C_{2211} & C_{2222} & 0 \\ 0 & 0 & 2C_{1212} \end{bmatrix}, [D_1] = \begin{bmatrix} C_{1111} & 0 & 0 \\ 0 & C_{2222} & 0 \\ 0 & 0 & 2C_{1212} \end{bmatrix},$$

$$[D_2] = \begin{bmatrix} 0 & C_{1122} & 0 \\ C_{2211} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \{\varepsilon_0\} = \begin{bmatrix} \varepsilon_{011} \\ \varepsilon_{022} \\ \varepsilon_{012} \end{bmatrix}, \{\varepsilon\} = \begin{bmatrix} \varepsilon_{11} \\ \varepsilon_{22} \\ \varepsilon_{12} \end{bmatrix},$$

$$\{\varepsilon_{01}\} = \begin{bmatrix} \int_0^t R_{1111}(t-\tau)\varepsilon_{011}(\tau)d\tau \\ \int_0^t R_{2222}(t-\tau)\varepsilon_{022}(\tau)d\tau \\ \int_0^t R_{1212}(t-\tau)\varepsilon_{012}(\tau)d\tau \end{bmatrix}, \{\varepsilon_{02}\} = \begin{bmatrix} \int_0^t R_{2211}(t-\tau)\varepsilon_{011}(\tau)d\tau \\ \int_0^t R_{1122}(t-\tau)\varepsilon_{022}(\tau)d\tau \\ 0 \end{bmatrix},$$

$$\{\varepsilon_1\} = \begin{bmatrix} \int_0^t R_{1111}(t-\tau)\varepsilon_{11}(\tau)d\tau \\ \int_0^t R_{2222}(t-\tau)\varepsilon_{22}(\tau)d\tau \\ \int_0^t R_{1212}(t-\tau)\varepsilon_{12}(\tau)d\tau \end{bmatrix}, \{\varepsilon_2\} = \begin{bmatrix} \int_0^t R_{2211}(t-\tau)\varepsilon_{11}(\tau)d\tau \\ \int_0^t R_{1122}(t-\tau)\varepsilon_{22}(\tau)d\tau \\ 0 \end{bmatrix}.$$

Для визначення критеріїв вибору ядра релаксації $R(t-\tau)$ необхідно виходити із специфічних особливостей реологічної поведінки деревини під дією сталого механічного навантаження в різних стаціонарних температурно-вологісних умовах. Виходячи з проведених раніше досліджень [23-25], вибираємо ядро реологічної поведінки деревини у такому вигляді

$$R(t-\tau) = \aleph e^{-\mu(t-\tau)}, \quad (17)$$

де: $\aleph$ – параметр релаксації; μ – реологічний параметр ядра.

Для розв'язання рівняння Вольтерри II роду запишемо ядро $R(t)$, параметри якого отримані з реальних експериментів, через вузлові значення часу t_j , застосувавши метод квадратур [26]:

$$\int_0^t R(t-\tau)\varepsilon_0(\tau)d\tau = \int_0^{t_i} \aleph e^{-\mu(t_i-\tau)}\varepsilon_0(\tau)d\tau = e^{-\mu t_i} \sum_{j=1}^{i-1} A_j \aleph(t_j) \varepsilon_0(t_j) e^{\mu t_j}, \quad (18)$$

де A_j – числовий коефіцієнт j -го вузла, який для постійного кроку інтегрування визначається

$$A_j = \begin{cases} 1,0 & \text{для } 1 < j < i; \\ 0,5 & \text{в інших випадках.} \end{cases} \quad (19)$$

Повна потенціальна енергія Π , згідно з концепцією МСЕ, дорівнює

$$\Pi = \sum_{e=1}^E \Lambda^{(e)}, \quad (20)$$

де: E – загальна кількість елементів, $\Lambda^{(e)}$ – повна енергія деформації e -го елемента, визначається з врахуванням (6) та (16).

Щоб мінімізувати величину Π , продиференціюємо вираз (20) за $\{L\}$, прирівняємо до нуля і запишемо у векторно-матричній формі:

$$\frac{\partial \Pi}{\partial \{L\}} = \sum_{e=1}^E [k^{(e)}] \{L\} + \{f^{(e)}\} = 0, \quad (21)$$

де:

$$[k^{(e)}] = \int_{V^{(e)}} [B^{(e)}]^T [D^{(e)}] [B^{(e)}] dV. \quad (22)$$

$$\begin{aligned} \{f^{(e)}\} = & - \int_{V^{(e)}} [B^{(e)}]^T [D^{(e)}] \{\epsilon_0^{(e)}\} dV + \int_{V^{(e)}} \frac{1}{2} [B^{(e)}]^T [D_1^{(e)}] \{\epsilon_{01}^{(e)}\} dV - \\ & - \int_{V^{(e)}} \frac{1}{2} [B^{(e)}]^T [D_1^{(e)}] \{\epsilon_1^{(e)}\} dV + \int_{V^{(e)}} \frac{1}{2} [B^{(e)}]^T [D_2^{(e)}] \{\epsilon_{02}^{(e)}\} dV - \\ & - \int_{V^{(e)}} \frac{1}{2} [B^{(e)}]^T [D_2^{(e)}] \{\epsilon_2^{(e)}\} dV. \end{aligned} \quad (23)$$

Інтеграли у формулі (22) визначають матрицю вузлової жорсткості $[k^{(e)}]$, а інтеграли у (23) – вектор навантаження елемента $\{f^{(e)}\}$. Матриця жорсткості визначається пружними властивостями деревини і геометричними характеристиками елемента, а вектор навантаження – параметрами технологічного процесу сушіння і реологічною поведінкою деревини.

Результати досліджень

Вхідні дані для проведення числового експерименту вибрано для деревини сосни з прямокутним перерізом $a \times b = 0,20 \times 0,02$ м, коефіцієнтами вологопровідності $\alpha_x = 1,80E-09$, $\alpha_y = 2,25E-09$ м/с, вологістю поверхні $U_0 = 30$ %, модулем зсуву $\mu = 484$ МПа, коефіцієнтом Пуассона $\nu = 0,38$, модулями пружності $E_{1111} = 670$, $E_{2222} = 550$ МПа, коефіцієнтом всихання $K_\beta = 0,0023$. Коефіцієнт вологообміну $\beta = 3,5E-06$ м²/с.

Під час поділу перерізу пиломатеріалу на 160 елементів критерій Фур'є становить $F_0 = 0,1$ при $t = 1,3$ год. Результати обчислень наведено на рис. 3-6.

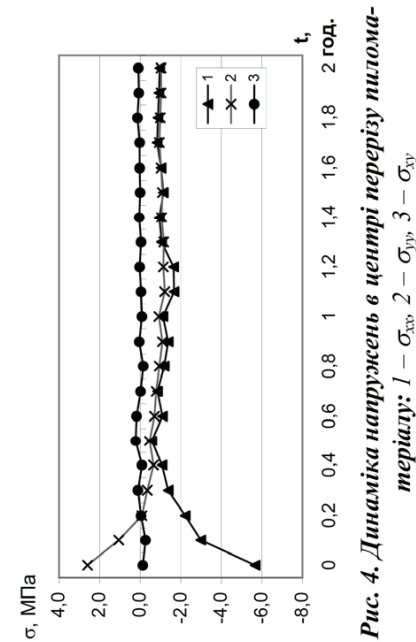


Рис. 4. Динаміка напружень в центрі перерізу пиломатеріалу: 1 – σ_{xx} , 2 – σ_{yy} , 3 – σ_{xy}

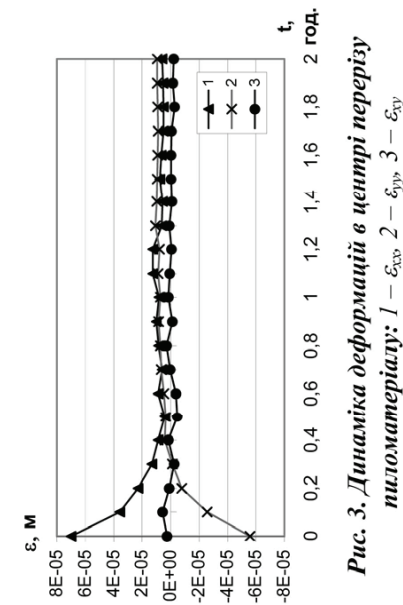


Рис. 3. Динаміка деформацій в центрі перерізу пиломатеріалу: 1 – ϵ_{xx} , 2 – ϵ_{yy} , 3 – ϵ_{xy}

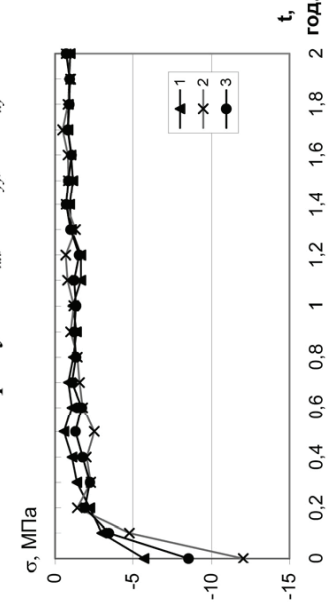


Рис. 5. Динаміка нормальних напружень у тангентальному напрямі σ_{xx} для точок: 1 – в центрі, 2 – на чверть товщини, 3 – на поверхні перерізу пиломатеріалу

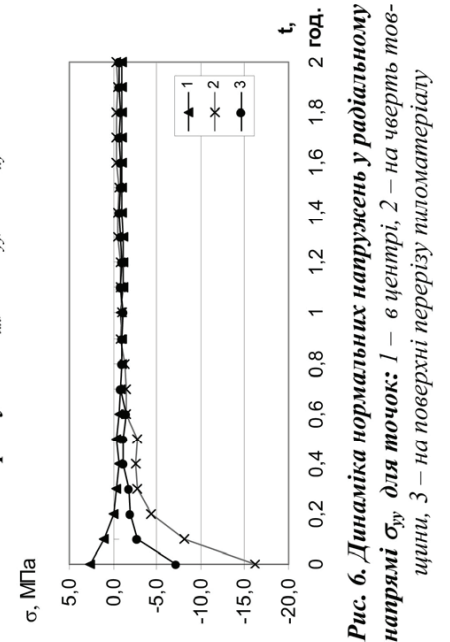


Рис. 6. Динаміка нормальних напружень у радіальному напрямі σ_{yy} для точок: 1 – в центрі, 2 – на чверть товщини, 3 – на поверхні перерізу пиломатеріалу

Висновки

Узагальнено МСЕ для визначення плоского НДС висушуваних пило-матеріалів із врахуванням анізотропії властивостей і реологічної поведінки деревини у нестационарних температурно-вологісних умовах. Розроблено алгоритм визначення плоского НДС на основі МСЕ та отримано результати числового експерименту.

З аналізу результатів випливає, що із зростанням часу сушіння t значення всіх компонентів деформацій і напружень зменшуються. Такий характер поведінки НДС обґрунтовується спадом перепаду вологості за товщиною матеріалу у період регулярного режиму протікання процесу сушіння.

Література

1. Уголев Б.Н. Деформативность древесины и напряжения при сушке. – М.: Лесная пром-сть, 1971. – 174 с.
2. Уголев Б.Н., Лапшин Ю.Г. О деформации древесины при нагружении в условиях сушки// Лесной журнал: Изв. ВУЗов. – 1971, № 3. – С. 2-11.
3. Уголев Б.Н. История и перспективы развития исследований сушительных напряжений в древесине// Труды 2-го Междунар. симп. "Структура, свойства и качество древесины – 96". – Москва-Мягитце. – 1996. – С. 230-238.
4. Лапшин Ю.Г. Некоторые задачи деформирования материалов при переменной температуре и влажности// Лесной журнал: Изв. ВУЗов. – 1970, № 1. – С. 156-159.
5. Соколовський Я.І. Дослідження плоского напружено-деформативного стану деревини в процесі сушіння// Наук. вісник УкрДЛТУ: 36. наук.-техн. праць. – Львів: УкрДЛТУ. – 1997, вип. 8. – С. 161-168.
6. Соколовський Я.І. Аналіз напружено-деформативного стану пиломатеріалів в процесі сушіння// Наук. вісник УкрДЛТУ: 36. наук.-техн. праць. – Львів: УкрДЛТУ. – 1998, вип. 8.1. – С. 156-165.
7. Кулешин Я.Ф., Ганцюк В.М. Дослідження повних поверхневих напружень, що виникають при сушінні букових заготовок// Наук. вісник УкрДЛТУ: 36. наук.-техн. праць. – Львів: УкрДЛТУ. – 2000, вип. 9.13. – С. 75-78.
8. Ranta-Maunus A. Rheological behaviour of wood in directions perpendicular to the grain// Materials and structures. – 1993, № 26. – Р. 362-369.
9. Ranta-Maunus A. Impact of mechanosorption creep to the long-term strength of timber// Holz als Roh-und Werkstoff. – 1990, № 48. – Р. 67-71.
10. Соколовський Я.І. Взаємозв'язок деформаційно-релаксацийних і тепломасообмінних процесів у капілярно-пористих тілах// Доповіді НАН України: Сер. Механіка. – 1998, № 9. – С. 76-80.
11. Соколовський Я.І. Взаємозв'язок деформаційно-релаксацийних і тепломасообмінних процесів при сушці капілярно-пористих тіл// Прикладна механіка. – 1998. – 34, № 9. – С. 101-107.
12. Соколовський Я.І. Моделювання напружено-деформативного стану деревини в процесі сушіння// Комп'ютерні технології друкарства: 36. наук. праць УАД. – Львів: УАД. – 1998. – С. 84-85.
13. Соколовський Я.І., Поберейко Б.П. Напружено-деформативний стан торцевої зони пиломатеріалів у процесі сушіння// Наук. вісник УкрДЛТУ: 36. наук.-техн. праць. – Львів: УкрДЛТУ. – 1997, вип. 8. – С. 141-147.
14. Соколовський Я.І., Поберейко Б.П. Дослідження вологісних і залишкових напружень деревини у процесі сушіння// Наук. вісник УкрДЛТУ: 36. наук.-техн. праць. – Львів: УкрДЛТУ. – 1998, вип. 8.1. – С. 1961-207.
15. Кристинсен Р. Введение в теорию вязкоупругости. – М.: Мир, 1974. – 268 с.
16. Сегерлинд Л. Применение метода конечных элементов. – М.: Мир, 1979. – 394 с.
17. Зенкевич О., Морган К. Конечные элементы и аппроксимация: Пер. с англ. – М.: Мир, 1986. – 318 с.

18. Боровиков А.М., Уголев Б.Н. Справочник по древесине: Справочник/ Под ред. Б.Н. Уголева. – М.: Лесн. пром-сть, 1989. – 296 с.
19. Sigurdur Ormarsson, Ola Dahlblom. Two-dimensional simulation of wood deformation during graying/ Lund University of technology. Report TVSM-7086. – Sweden, 1994. – 34 p.
20. Лыков А.В. Теория сушки. – М.: Госэнергоиздат, 1950. – 416 с.
21. Shaffer B.W. Elasto-plastic stress distribution within reinforced plastics loaded normal to its internal filaments// AIAA J. – 1968. Vol. 6, N12. – Р. 2316-2324.
22. Соколовський Я.І. Розрахунок вологісних напружень в деревині// Наук. вісник УкрДЛТУ: 36. наук.-техн. праць. – Львів: УкрДЛТУ. – 1997, вип. 6. – С. 45-49.
23. Соколовський Я.І., Поберейко Б.П. Експериментальні дослідження реологічних властивостей деревини// Наук. вісник УкрДЛТУ: 36. наук.-техн. праць. – Львів: УкрДЛТУ. – 1997, вип. 6. – С. 161-162.
24. Соколовський Я.І. Експериментальні дослідження в'язкопружних властивостей деревини// Наук. вісник УкрДЛТУ: 36. наук.-техн. праць. – Львів: УкрДЛТУ. – 1997, вип. 7. – С. 91-99.
25. Соколовський Я.І., Дендюк М.В. Результати експериментальних досліджень оберненої повзучості та складових деформацій деревини впоперек волокон// Лісове госп-во, лісова, паперова і д/о пром-сть. – 2002, вип. 27. – С. 73-77.
26. Верлань А.Ф., Сизиков В.С. Интегральные уравнения: методы, алгоритмы, программы. – К.: Наук. думка, 1986. – 544 с.

УДК 674.02:621.923

Доц. О.А. Кійко, канд. техн. наук;
ст. викл. М.М. Якуба – УкрДЛТУ

ОБґРУНТУВАННЯ ТА ВИБІР КРИТЕРІЇВ ОПТИМІЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ КАЛІБРУВАННЯ-ШЛІФУВАННЯ ПЛИТНИХ ДЕРЕВНИХ МАТЕРІАЛІВ ЖОРСТКИМ АБРАЗИВНИМ ІНСТРУМЕНТОМ

Запропоновано критерії оптимізації процесу калібрування-шліфування плитних деревних матеріалів абразивними циліндрами. Визначено основні джерела економії. Знайдено вираз для визначення цільової функції.

Doc. O.A. Kyiko; Senior teacher M.M. Yakuba – USUFWT

Ground and choice of optimization criterions for calibration-polishing process of wooden boards materials by hard abrasive instrument

Optimization criterions of calibration-polishing process for wooden board materials by abrasive cylinders are offered. Basic sources of economy are certain. Expression is found for determination of having a special purpose function.

Витрати на придбання матеріальних ресурсів деревообробними підприємствами належать до повністю регульованих. Їх регулювання може здійснюватися як шляхом зміни норм витрат, так і шляхом зміни закупівельних цін.

Перший шлях заслуговує особливої уваги, оскільки означає зниження матеріаломісткості продукції. Такий чинник для оперативного управління собівартістю на деревообробних (зокрема плитних) підприємствах має особливе значення, що може бути проілюстроване прикладом: якщо матеріальні витрати становлять 50-80 % від загальних виробничих витрат, а прибуток підприємства становить 8-9 % від обсягу реалізації продукції, тоді зменшення витрат на сировину на 2 % дасть змогу збільшити прибуток до 10 % [2].

Підходи до управління матеріальними витратами відкривають широкі можливості для прийняття оперативних рішень з питань: