

8. Закон України "Про захист інформації в інформаційно-телекомунікаційних системах" // Відомості Верховної Ради (ВВР), 1994. – № 31. – С. 286.

9. Захист від інсайдерів – порожній звук або необхідність. [Електронний ресурс]. – Доступний з <http://www.infobezpeka.com/publications/?id=285>.

Бублык М.И., Войтух И.С. Защита и безопасность маркетинговой информации

Исследована необходимость создания различных систем защиты с учетом особенностей и условий их функционирования. Рассмотрены основные средства, методы и направления защиты маркетинговой информации, а также освещено регулирование этого вопроса на государственном уровне. Предложена система мер по формированию рынка услуг по защите маркетинговой информации в Украине.

Ключевые слова: инсайдеры, Spector 360, технический и сетевую защиту информации, распределение доступа, метод паролей.

Bubluk M.I., Voytukh I.C. Protection and security of marketing information

The article explored the need for different protection systems with regard to the characteristics and conditions of their operation. The main tools and methods for the protection of marketing information, as well as highlights of that issue at the state level. The system measures the formation of market services to protect the marketing information in Ukraine.

Keywords: insiders, Spector 360, the technical and network information security, distribution, access, method generator.

УДК 064.94 + 674.047

Асист. І.М. Крошній – НЛТУ України, м. Львів

АНАЛІТИЧНИЙ РОЗРАХУНОК ВОЛОГІСНИХ ПОЛІВ І НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМІВНОГО СТАНУ ВИСУШУВАНОЇ ДЕРЕВИНИ

Розглянуто розподіл вологісного поля та зумовлений ним напружено-деформівний стан циліндра, під дією зовнішнього середовища, відносна вологість якого залежить від часу. Методом лінеаризуючих параметрів з використанням перетворення Лапласа розв'язано нелінійну задачу вологопровідності. Методом простих ітерацій розв'язані зведена до інтегрального рівняння Вольтера другого роду квазістатична задача для пружної моделі і нестационарна задача для в'язкопружної моделі.

Вступ. Зменшення запасів лісових промислових порід зумовлює розширення сфери застосування і перероблення низькоякісної деревинної сировини, зокрема круглих сортиментів, які отримують у процесі рубань і лісосічних робіт. Тонкомірну деревину круглого перерізу використовують для виготовлення торцевих підставок щитового паркету, певних столярно-будівельних виробів. Гальмівним чинником використання круглої деревини є ускладнення технологічного процесу сушіння, оскільки анізотропія фізико-механічних властивостей у цьому випадку є значнішою, ніж для пиломатеріалів. Важливою проблемою у цьому аспекті є розрахунок та аналіз напружено-деформівного стану матеріалу, дослідження реологічних властивостей у різних вологісних умовах.

При цьому особливу цінність мають аналітичні розв'язки задач вологоперенесення. Вони зручні для числового аналізу та є корисними в побудові розв'язків задач оптимального за швидкодією керування процесами сушіння деревини.

Аналіз відомих результатів. Питання чисельного моделювання двовимірних температурно-вологісних полів деревини у процесі сушіння досліджено у роботах [4, 10, 7, 12]. У них запропоновано аналітичні, графо-аналітичні та чисельні методи для розрахунку двовимірного розподілу температури та вологості на окремих етапах процесу сушіння деревини зі сталими коефіцієнтами тепломасоперенесення.

У цій роботі наведемо формулювання, алгоритм та результати аналітичного розрахунку вологісних полів і напружено-деформівного стану висушуваної деревини з урахуванням анізотропії та нелінійної залежності фізико-механічних властивостей матеріалу від вологовмісту.

Постановка задачі. Розглянемо задачу про визначення нестационарного вологісного поля u безмежного циліндра радіуса r_o , теплофізичні (коефіцієнт вологопровідності a_u) і механічні (модуль зсуву G , коефіцієнт Пуассона ν , коефіцієнт лінійного всихання α) характеристики матеріалу якого залежать від вологовмісту, який рівномірно розподілений у ньому і дорівнює u_n . У початковий момент часу $\tau = 0$ під дією зовнішнього середовища (φ , t) він починає виділяти вологу через поверхню $r = r_o$. Використовуючи математичну модель масоперенесення, визначимо вологісне поле циліндра та зумовлений ним напружено-деформівний стан.

Визначення вологісного поля. Математичну модель цього процесу може бути складена на основі диференціального рівняння масоперенесення, що доповнюється відповідними крайовими умовами [3, 10]:

$$\frac{\partial u}{\partial \tau} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r a_u(u) \frac{\partial u}{\partial r} \right), \quad (1)$$

за початкової умови

$$u|_{\tau=0} = u_n, \quad (2)$$

і граничних умов

$$\left[a_u(u) \frac{\partial u}{\partial r} + \beta(u - u_p(\tau)) \right] \Big|_{r=r_o} = 0, \quad u|_{r=0} \neq \infty, \quad \frac{\partial u}{\partial r} \Big|_{r=0} = 0, \quad (3)$$

де β – коефіцієнт вологообміну через поверхню $r = r_o$.

Перейдемо до безрозмірних вологовмісту $U = u/u_o$, координати $\rho = r/r_o$ і подамо характеристики матеріалу циліндра у вигляді $\chi(u) = \chi_o \chi^*(U)$, де величини з індексом "0" мають відповідні розмірності, а величини з індексом "*" є функціями від безрозмірного вологовмісту, причому $\chi(u_n) = \chi_o$, $\chi^*(U_n) = 1$, де $U_n = u_n/u_o$. Тут u_o – відліковий вологовміст, а r_o – характерний розмір (радіус) циліндра.

Для отримання функції $u_p(\tau)$ скористаємось відомими режимами сушіння деревини [2] і за значеннями $\varphi_i(\tau_i)$ і $t_{ci}(\tau_i)$ знайдемо відповідні значення $u_{pi}(\tau_i)$ [12], де φ_i – відносна вологість середовища, t_{ci} – температура середовища. Апроксимувавши знайдені результати для $u_{pi}(\tau_i)$ отримаємо функцію зміни рівноважного вологовмісту в часі $u_p(\tau) = u_{pn} - V\tau$, де $u_{pn} = 0,18$ – початкове значення рівноважного вологовмісту, $V = 0,0000000625$ – швидкість зміни рівноважного вологовмісту.

Внаслідок виконаних обчислень першу граничну умову запишемо у вигляді:

$$\left[a_u(u) \frac{\partial u}{\partial r} + \beta(u - (u_{pn} - V\tau)) \right]_{r=r_0} = 0. \quad (4)$$

Тепер введемо безрозмірний час $F_0 = \frac{a_{u0}\tau}{r_0^2}$ – критерій Фур'є, безрозмірний коефіцієнт вологообміну $Bi = \frac{\beta r_0}{a_{u0}}$ – критерій Біо, безрозмірну швидкість зміни рівноважного вологовмісту $Pd = \frac{Vr_0^2}{a_{u0}u_0}$ – критерій Предводителєва, після чого задача (1), (2), (3) набуде вигляду

$$\frac{\partial U}{\partial F_0} = \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial \rho} \left(\rho a_u^*(U) \frac{\partial U}{\partial \rho} \right), \quad (5)$$

$$U|_{F_0=0} = U_n, \quad (6)$$

$$\left[a_u^*(U) \frac{\partial U}{\partial \rho} + Bi(U - (U_{pn} - PdF_0)) \right]_{\rho=1} = 0, \quad U|_{\rho=0 \neq \infty}, \quad \frac{\partial U}{\partial \rho} \Big|_{\rho=0} = 0, \quad (7)$$

де $U_{pn} = u_{pn} / u_0$.

Застосуємо до нелінійної задачі (5), (6), (7) інтегральне перетворення Кірхгофа [12]

$$\theta = \int_{U_{pk}}^U \alpha_u^*(U) dU, \quad (8)$$

де U_{pk} – мінімально можливе значення функції вологовмісту в досліджуваному процесі (кінцеве значення рівноважного вологовмісту).

Тоді крайова задача набуде вигляду:

$$\frac{\partial U(\theta)}{\partial F_0} = \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial \rho} \left(\rho \frac{\partial \theta}{\partial \rho} \right), \quad (9)$$

$$\theta|_{F_0=0} = 0, \quad (10)$$

$$\left[\frac{\partial \theta}{\partial \rho} + Bi(U(\theta) - (U_{pn} - PdF_0)) \right]_{\rho=1} = 0, \quad \theta|_{\rho=0 \neq \infty}, \quad \frac{\partial \theta}{\partial \rho} \Big|_{\rho=0} = 0, \quad (11)$$

де $T(\theta)$ – вираз безрозмірного вологовмісту через змінну Кірхгофа θ , який для конкретної залежності $a_u^*(U)$ знаходимо з рівняння (8).

Таким чином, після введення функції $\theta(U)$ нелінійне рівняння вологопровідності трансформувалось у квазілінійне; нелінійність також зосередилася у виразі шуканого вологовмісту на поверхні циліндра $\rho=1$; граничні умови на осі циліндра залишилися лінійними, а початкова умова на змінну Кірхгофа стала однорідною.

За допомогою заміни [9]

$$U(\theta) = (1 + \chi)\theta + U_{pk} \quad (12)$$

здійснимо остаточну лінеаризацію квазілінійного рівняння вологопровідності (9) і першої з граничних умов (11), де χ – поки що невідома стала.

Внаслідок виконаної заміни крайова задача матиме вигляд:

$$(1 + \chi) \frac{\partial \theta}{\partial F_0} = \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial \rho} \left(\rho \frac{\partial \theta}{\partial \rho} \right), \quad (13)$$

$$\theta|_{F_0=0} = 0, \quad (14)$$

$$\left[\frac{\partial \theta}{\partial \rho} + Bi^* \left(\theta - \left(\bar{U}_{pn}^* - Pd^* Fo \right) \right) \right]_{\rho=1} = 0, \quad \theta|_{\rho=0} \neq \infty, \quad \frac{\partial \theta}{\partial \rho} \Big|_{\rho=0} = 0, \quad (15)$$

де: $Bi^* = (1 + \chi)Bi$, $Pd^* = \frac{Pd}{1 + \chi}$, $\bar{U}_{pn}^* = \frac{\bar{U}_{pn}}{1 + \chi}$, $\bar{U}_{pn} = U_{pn} - U_{pk}$.

Скориставшись перетворенням Лапласа [5] за часовою координатою побудуємо аналітичний розв'язок цієї лінійної крайової задачі. Внаслідок чого, отримаємо таку задачу на трансформанту Лапласа змінної Кірхгофа:

$$\frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial \rho} \left(\rho \frac{\partial \tilde{\theta}}{\partial \rho} \right) - (1 + \chi) s \tilde{\theta} = 0, \quad (16)$$

$$\left[\frac{\partial \tilde{\theta}}{\partial \rho} + Bi^* \left(\tilde{\theta} - \left(\frac{\bar{U}_{pn}^*}{s} - \frac{Pd^*}{s^2} \right) \right) \right]_{\rho=1} = 0, \quad \tilde{\theta}|_{\rho=0} \neq \infty, \quad \frac{\partial \tilde{\theta}}{\partial \rho} \Big|_{\rho=0} = 0, \quad (17)$$

де $\tilde{\theta} = \int_0^\infty \theta e^{-sFo} dF_0$; s – параметр перетворення Лапласа.

Оскільки рівняння (16) є модифікованим рівнянням Бесселя, то його загальний розв'язок має вигляд

$$\tilde{\theta} = AI_0\left(\rho\sqrt{(1 + \chi)s}\right) + BK_0\left(\rho\sqrt{(1 + \chi)s}\right) = AI_0\left(\rho^*\sqrt{s}\right) + BK_0\left(\rho^*\sqrt{s}\right), \quad (18)$$

де $I_0(\cdot), K_0(\cdot)$ модифіковані функції Бесселя нульового порядку [6]; A, B – довільні сталі; $\rho^* = \sqrt{(1 + \chi)} \cdot \rho$.

Оскільки згідно з другою умовою (17) вологовміст на осі циліндра ($\rho = 0$) не може бути рівним безмежності, то постійна B дорівнює нулю, оскільки за $\rho \rightarrow 0$ $K_0(\rho^*\sqrt{s}) \rightarrow -\infty$. З першої із граничних умов (17) знаходимо вираз для сталої A , після чого отримаємо зображення Лапласа змінної Кірхгофа

$$\tilde{\theta} = Bi \left[\bar{U}_{pn} \frac{\Phi(s)}{s\varphi(s)} - Pd \frac{\Phi(s)}{s^2\varphi(s)} \right], \quad (19)$$

де $\Phi(s) = I_0(\rho^*\sqrt{s})$, $\varphi(s) = \sqrt{s}I_1(\sqrt{s}) + Bi^*I_0(\sqrt{s})$.

Оскільки розв'язок (19) є відношенням узагальнених поліномів відносно параметра s , причому поліноми знаменників не містять вільних членів

(перший член ряду рівний s), то для виконання оберненого перетворення Лапласа можна скористатись теоремою розкладу [8]. Знаменники обох дробів мають корінь $s = 0$ (для знаменника першого дробу $s = 0$ – простий, а для другого – двократний корінь) і безмежну кількість простих коренів $s_n = -\mu_n^2$ ($\mu_n = i\sqrt{s}$, $i = \sqrt{-1}$), де μ_n є коренями рівняння

$$\frac{J_0(\mu)}{J_1(\mu)} = \frac{1}{Bi^*} \mu, \quad (20)$$

яке отримане з рівняння $\varphi(s) = 0$, $J_0(\cdot)$, $J_1(\cdot)$ – функції Бесселя нульового і першого порядку [6]. Внаслідок чого, отримаємо вираз для знаходження значення змінної Кірхгофа:

$$\theta = \bar{U}_{pn}^* - Pd^* \left[Fo - \frac{1}{4} \left(1 + \frac{2}{Bi^*} - \rho^2 \right) \right] - \sum_{n=1}^{\infty} \left(\bar{U}_{pn}^* - \frac{Pd^*}{\mu_n^2} \right) A_n J_0(\rho^* \mu_n) e^{-\mu_n^2 Fo}, \quad (21)$$

де

$$A_n = \frac{2Bi^*}{\mu_n \left[(Bi^* + 1) J_1(\mu_n) + \mu_n J_1'(\mu_n) \right]} = \frac{2J_1(\mu_n)}{\mu_n \left[J_0^2(\mu_n) + J_1^2(\mu_n) \right]}. \quad (22)$$

Знаючи змінну Кірхгофа і задаючи залежність коефіцієнта вологості від вологовмісту $a_u^*(U)$, з рівняння (8) знаходимо вираз для вологовмісту. Наприклад, якщо коефіцієнт вологості є лінійною функцією вологовмісту $a_u^*(U) = 1 + k(U - U_{pk})$, $k = \text{const}$, то із (8) отримаємо:

$$U = k^{-1} \left(\sqrt{1 + 2k\theta} - 1 \right) + U_{pk}. \quad (23)$$

Знайдена змінна Кірхгофа (21) є функцією безрозмірних координат ρ та часу Fo . Крім вхідних даних задачі (Bi , U_{pn} , Pd , U_n), вона містить довільний параметр χ , який використовуємо, щоб задовольнити із заданою точністю рівняння (12) і нелінійну першу граничну умову (13). Підставивши вираз для вологовмісту (23) у першу з умов (13), врахувавши при цьому виконання умови (15), для визначення параметра χ отримуємо рівняння

$$\theta|_{\rho=1} = -\frac{2\chi}{k(1+\chi)^2}. \quad (24)$$

Оскільки ряд у розв'язку (21) швидко збігається, тому, починаючи з деякого $Fo > Fo_1$, ним можна знехтувати. Час Fo_1 вважають часом настання квазістаціонарного [8] чи асимптотичного [6] режиму вологовиділення. У цьому випадку змінна Кірхгофа має вигляд

$$\theta = \bar{U}_{pn}^* - Pd^* \left[Fo - \frac{1}{4} \left(1 + \frac{2}{Bi^*} - \rho^2 \right) \right], \quad (25)$$

де знайдене з рівняння (23)

$$\chi = \frac{\frac{2}{k} - \frac{Pd}{2Bi}}{\frac{2}{k} + \bar{U}_{pn} - PdFo} - 1.$$

Визначення напружень (пружний випадок). Для визначення напружень, спричинених знайденим вологісним полем та діючими в його об'ємі масовими силами, скористаємось рівнянням рівноваги [1]

$$\frac{d}{d\rho}(\rho^2\sigma_r) = \rho(\sigma - f(\rho)), \quad (26)$$

співвідношеннями між діагональними компонентами $\varepsilon_r, \varepsilon_\varphi, \varepsilon_z$ тензора деформації і компонентами $\sigma_r, \sigma_\varphi, \sigma_z$ тензора напружень [1]

$$\begin{aligned} \varepsilon_r &= \frac{1}{E}[\sigma_r - \nu(\sigma_\varphi + \sigma_z)] + \Phi(U) = \frac{1+\nu}{E}(\sigma_r - \nu\sigma) - \nu\varepsilon_z + (1+\nu)\Phi(U), \\ \varepsilon_\varphi &= \frac{1}{E}[\sigma_\varphi - \nu(\sigma_r + \sigma_z)] + \Phi(U) = \frac{1+\nu}{E}[(1-\nu)\sigma - \sigma_r] - \nu\varepsilon_z + (1+\nu)\Phi(U), \\ \varepsilon_z &= \frac{1}{E}[\sigma_z - \nu(\sigma_r + \sigma_\varphi)] + \Phi(U) = \frac{1}{E}(\sigma_z - \nu\sigma) + \Phi(U), \end{aligned} \quad (27)$$

та рівняння суцільності $\rho \frac{d\varepsilon_\varphi}{d\rho} = \varepsilon_r - \varepsilon_\varphi$,

яке після використання фізичних співвідношень (27) та рівняння рівноваги (26) можна записати у напруженнях:

$$\frac{d}{d\rho} \left[\frac{1-\nu^2}{E} \sigma - \nu\varepsilon_z + (1+\nu)\Phi(U) \right] = \frac{1}{2} \sigma_r \frac{d}{d\rho} \left(\frac{1}{G} \right) - \frac{\rho}{G} f. \quad (28)$$

У рівняннях і співвідношеннях (26)-(28) $G = E/[2(1+\nu)]$ – модуль зсуву; $\sigma = \sigma_r + \sigma_\varphi$ – сумарне напруження; $\Phi(U) = u_0 \int_{U_{PK}}^U \alpha_u(U) dU$ – об'ємна деформація; $f(\rho) = \eta_0 F(\rho, U(\rho, F_0))$ – масові сили розмірності напружень за рахунок переходу до безрозмірної координати ρ .

Оскільки на поверхні циліндра не задане нормальне зусилля, то

$$\sigma_r|_{\rho=1} = 0. \quad (29)$$

Осьове напруження σ повинно задовольняти інтегральну умову рівноваги, яка має вигляд

$$\int_0^1 \rho \sigma_z(\rho) d\rho = p. \quad (30)$$

Зінтегрувавши рівняння (26) з використанням граничної умови (29), отримаємо таке співвідношення між радіальними та сумарними напруженнями:

$$\sigma_r = \frac{1}{\rho^2} \int_0^\rho \eta(\sigma - \eta f(\eta)) d\eta \quad (31)$$

та інтегральну умову рівноваги

$$\int_0^1 \rho(\sigma - \rho f(\rho)) d\rho = 0. \quad (32)$$

Інтегруючи рівняння суцільності (28) з використанням співвідношення (31) і міняючи порядок інтегрування у повторних інтегралах, отримаємо таке інтегральне рівняння Вольтера другого роду для визначення сумарних напружень σ :

$$\begin{aligned} \sigma(\rho, F_0) - \frac{G(U(\rho, F_0))}{1 - \nu(U(\rho, F_0))} \int_0^\rho \eta(\varphi(\rho)) - (\varphi(\eta)) \sigma(\eta, F_0) d\eta = \\ = \frac{G(U(\rho, F_0))}{1 - \nu(U(\rho, F_0))} \left\{ 2A + 2\nu(U(\rho, F_0)) \varepsilon_z - 2[1 + \nu(U(\rho, F_0)) \Phi(U(\rho, F_0))] - \right. \\ \left. - \int_0^\rho \left[\frac{f(\eta)}{G(U(\eta, F_0))} + \eta^2 (\varphi(\rho) - \varphi(\eta)) f(\eta) \right] d\eta \right\} \end{aligned} \quad (33)$$

де: $\varphi(\rho) = \int_0^\rho \frac{1}{\eta^2} \frac{d}{d\eta} \left(\frac{1}{G(U(\eta, F_0))} \right) d\eta$; A , ε_z – сталі, які визначаються з граничних умов (30), (32).

Для побудови розв'язку інтегрального рівняння (33) використовуємо метод простих ітерацій, який дає змогу знайти його розв'язок у вигляді послідовних наближень $\sigma = \lim_{n \rightarrow \infty} \sigma_n$, де n -не наближення σ_n визначається через $(n - 1)$ -ше наближення з такого рекурентного співвідношення:

$$\begin{aligned} \sigma_n(\rho, F_0) = \frac{G(U(\rho, F_0))}{1 - \nu(U(\rho, F_0))} \left\{ 2A_n + 2\nu(U(\rho, F_0)) \varepsilon_{zn} + \right. \\ \left. + \int_0^\rho \eta(\varphi(\rho)) \sigma_{n-1}(\eta, F_0) d\eta - 2[1 + \nu(U(\rho, F_0))] \Phi(U(\rho, F_0)) - \right. \\ \left. - \int_0^\rho \left[\frac{f(\eta)}{G(U(\eta, F_0))} + \eta^2 (\varphi(\rho) - \varphi(\eta)) f(\eta) \right] d\eta \right\}, \quad n = 1, 2, \dots \end{aligned} \quad (34)$$

Сталі A_n , ε_{zn} , $n = 0, 1, \dots$, визначаються з інтегральних умов (30) і (32) та повинні виконуватися для кожного наближення.

Оскільки механічні характеристики G , ν , a_u залежать від вологовмісту, який є функцією від координати ρ і часу F_0 , то в інтегральних виразах формул (33) і (34), де в цьому була необхідність, змінна ρ замінена змінною інтегрування.

Визначення напружень (в'язкопружний випадок). Для розрахунку напружено-деформівного стану круглих сортиментів у змінних вологісних полях скористаємось в'язкопружною моделлю [8], узагальнення якої на двовірний випадок (тіло циліндричної форми) запишемо так:

$$\begin{aligned} \varepsilon_r = \frac{1}{E} \left(\sigma_r - \nu \sigma_\theta + \int_0^t (\sigma_r - \sigma_\theta) K(t - \tau) d\tau \right); \\ \varepsilon_\theta = \frac{1}{E} \left(\sigma_\theta - \nu \sigma_r + \int_0^t (\sigma_r - \sigma_\theta) K(t - \tau) d\tau \right), \end{aligned} \quad (35)$$

де ε_r , ε_θ – радіальна та кругова в'язкопружні компоненти деформацій; σ_r , σ_θ – відповідні компоненти напружень.

Для повного опису напружено-деформівного стану круглих сортиментів у процесі конвективного сушіння скористаємося рівняннями рівноваги, які запишемо у вигляді

$$\partial \sigma_r / \partial r = (\sigma_\theta - \sigma_r) / r \quad (36)$$

та умовами суцільності деформацій

$$\partial \varepsilon_\theta / \partial r = (\varepsilon_r - \varepsilon_\theta) / r \quad (37)$$

Із співвідношень (35) – (37) отримаємо рівняння для визначення компонент напружень σ_r і σ_θ

$$\varphi(r, t) = \int_0^t \varphi(r, \tau) K(t - \tau) d\tau = -E \frac{\partial \beta W}{\partial r}, \quad \varphi(r, t) = \frac{\partial \sigma_\theta}{\partial r} + \frac{\sigma_\theta}{r}, \quad (38)$$

Граничні і початкові умови у цьому випадку мають вигляд

$$\sigma_r(r) = 0, \quad \sigma_\theta(r) = 0 \quad \text{для } t = 0 \quad \sigma_r|_{r=R} = 0. \quad (39)$$

Функція реологічної поведінки деревини $K(t - \tau)$ матиме наступний вигляд

$$R(\tau - \tau') = \frac{E_M(U) - E_T(U)}{E_T(U) \tau_{\text{рел}}(U)} \exp\left(-\frac{\tau - \tau'}{\tau_{\text{рел}}(U)}\right), \quad (40)$$

де E_M , E_T , $\tau_{\text{рел}}$ – відповідно миттєвий, тривалий модулі пружності і час релаксації.

Результати числових досліджень та висновки. На основі отриманих розрахунків було здійснено дослідження поширення вологовмісту та спричинений ним напружено-деформівний стан соснової деревини для двох випадків: пружного і в'язкопружного. Експериментальні вологовмісні залежності теплових і механічних характеристик циліндра [7, 11, 12] апроксимовано поліномами другого степеня відносно вологовмісту, за винятком коефіцієнта вологопровідності, який апроксимовано поліномом першого степеня. Відповідні значення параметрів апроксимації, виконаної з використанням методу найменших квадратів, такі: $a_{uo} = 1.192 \cdot 10^{-9} \text{ м}^2/\text{с}$, $k = 2.145$, $E_o = 8.2 \cdot 10^8 \text{ Па}$, $E_{o1} = 0.3201$, $E_{o2} = -0.9848$, $v_o = 0.328$, $v_{o1} = 0.1387$, $v_{o2} = -0.2192$, $\alpha_o = 0.131$, $\alpha_{o1} = 1.6826$, $\alpha_{o2} = -4.2365$.

Усі розрахунки проведено при $Bi = 14.7$ і $\beta = 1.749 \cdot 10^{-7} \text{ м/с}$. Початковий вологовміст циліндра приймаємо рівним відліковому вологовмісту, а, отже, $U_n = 1$.

Розподіли вологовмісту в циліндрі зображено на рис. 1. На ньому суцільними лініями зображено розподіли вологовмісту вздовж радіуса циліндра для критерію Предводителева $Pd = 1.5$, а штриховими – для критерію Предводителева $Pd = 1.3$. Отримані розподіли обчислено на основі співвідношень (23), (24), (25) для значень критеріїв Фур'є $F_o = 0.02, 0.1, 0.15, 0.2, 0.25$.

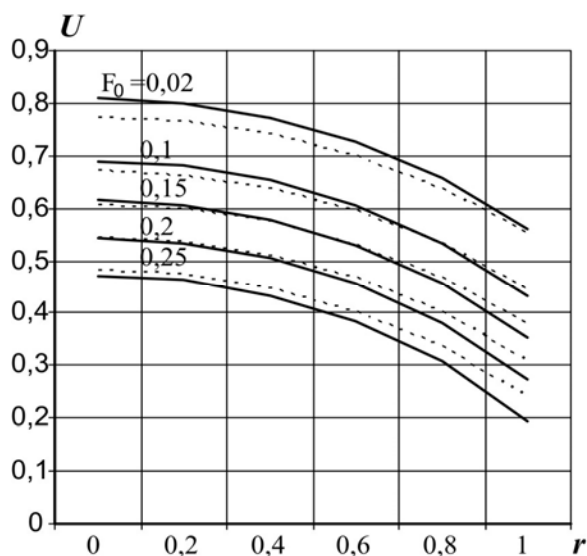


Рис. 1. Розподіли вологовмісту в циліндрі для соснової деревини

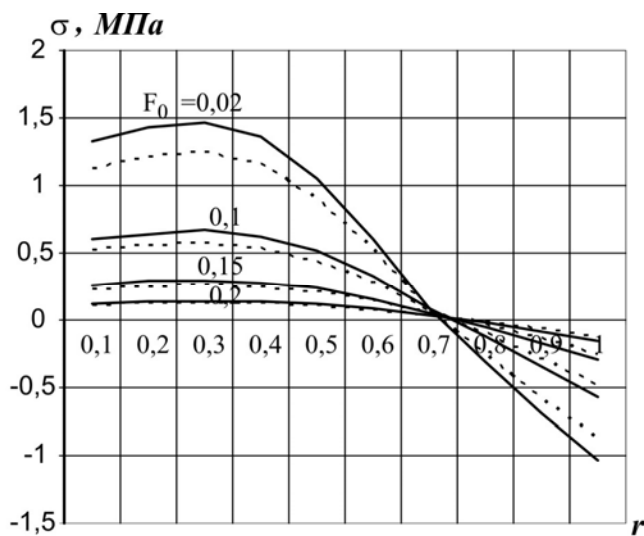


Рис. 2. Розподіли сумарних напружень в циліндрі для пружного випадку

З рис. 1 видно, що в центральних шарах деревини зосереджено більше води, ніж у граничних. Зі зменшенням швидкості зміни рівноважного вологовмісту (для $Pd = 1.3$) цей перепад зменшується.

Для пружного випадку на рис. 2 зображено розподіли сумарних напружень у циліндрі. Суцільними лініями позначені розподіли напружень для критерію Предводітелєва $Pd = 1.5$, а штриховими – для критерію Предводітелєва $Pd = 1.3$ за значень критеріїв Фур'є $F_0 = 0.02, 0.1, 0.15, 0.2$.

З рис. 2 видно, що різниця напружень між центральними і граничними шарами в перший період є великою, проте з плином часу вона вирівнюється. Наприкінці процесу сушіння залишаються незначні залишкові напруження.

Для в'язкопружного випадку значення миттєвого модуля пружності E_T для деревини сосни – $E_T = 0.72 E_M$, а час релаксації – $\tau_{rel} = 153 \exp(-0.058U)$.

Результати обчислень для цього випадку зображено на рис. 3 і 4 для радіальних і колових напружень у циліндрі відповідно.

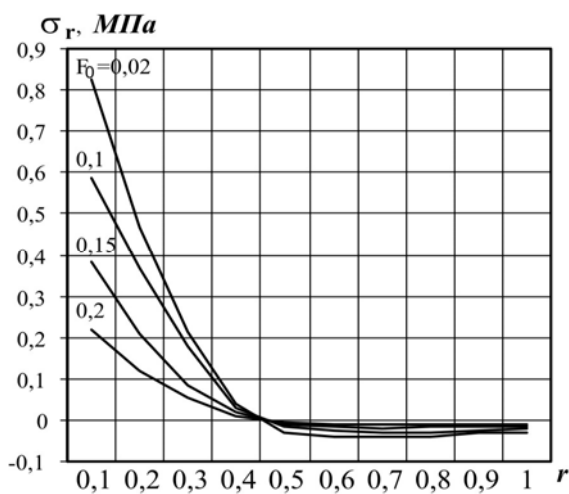


Рис. 3. Розподіли радіальних напружень у циліндрі

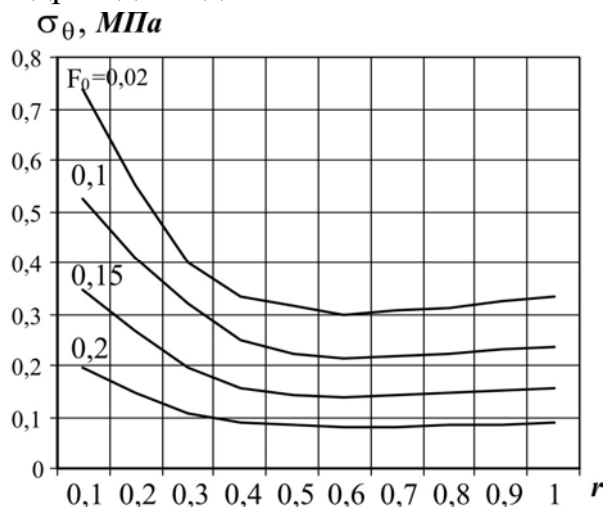


Рис. 4. Розподіли колових напружень у циліндрі

Їхній аналіз свідчить про те, що радіальні напруження мають розтягувальний характер у приповерхневих зонах їх циліндра. Для $0,53 \leq \rho < 1$ розпо-

діл напружень σ_r має стискальний характер. Максимальних значень колові напруження σ_θ досягають у центральній зоні пиломатеріалів. Збільшення абсолютного рівня радіальних та колових напружень зумовлено зміною вологісного режиму та всиханням матеріалу.

Таким чином, в умовах зміни вологісного стану можна регулювати напружено-деформівний стан висушуваного матеріалу і цим самим цілеспрямовано впливати на формування його експлуатаційних властивостей.

Література

1. Амендзаде Ю.А. Теория упругости / Ю.А. Амендзаде. – М. : Изд-во "Высш. шк.", 1971. – 288 с.
2. Биллей П.В. Сушка древесины твердых лиственных пород / П.В. Биллей. – М. : Изд-во "Экология", 1992. – 224 с.
3. Гірник М.Л. Максимальні значення коливних напружень / М.Л. Гірник, В.М. Гербей, З.Ю. Мазяк, О.В. Сафаров та ін. – К. : Вид-во "Будівельник", 1993. – 248 с.
4. Дендюк В.М. Застосування методу кінцевих елементів для розрахунку нестационарних полів вологоперенесення у висушуваній деревині / В.М. Дендюк, В.П. Поберейко, Я.І. Соколовський // Лісове господарство, лісова, паперова і деревообробна промисловість : міжвідомч. наук.-техн. зб. – Львів : Вид-во УкрДЛТУ. – 2003. – Вип. 28. – С. 100-106.
5. Диткин В.А. Операционное исчисление / В.А. Диткин, А.П. Прудных. – М. : Изд-во "Высш. шк.", 1975. – 407 с.
6. Коренев Б.Г. Задачи теории теплопроводности и термоупругости. Решение в бесконечных функциях / Б.Г. Коренев. – М. : Изд-во "Наука", 1980. – 400 с.
7. Лыков А.В. Теория сушки / А.В. Лыков. – М. : Изд-во "Энергия", 1968. – 472 с.
8. Лыков А.В. Теория теплопроводности / А.В. Лыков. – М. : Изд-во "Высш. шк.", 1967. – 600 с.
9. Попович В.С. Аналітично-чисельні методи побудови розв'язків задач теплопровідності термочутливих тіл при конвективному теплообміні / В.С. Попович, Г.Ю. Гарматій. – Львів : 1993. – 66 с.
10. Соколовський Я.І. Моделювання деформаційно-релаксаційних процесів у висушуваній деревині методом скінченних елементів / Я.І. Соколовський, А.В. Бакалець // Вісник Національного університету "Львівська політехніка": Комп'ютерні науки та інформаційні технології. – Львів. – 2006. – № 565. – С. 51-57.
11. Уголев Б.Н. Деформативность древесины и напряжения при сушке / Б.Н. Уголев. – М. : Изд-во "Лесн. пром-сть", 1971. – 174 с.
12. Шубин Г.С. Сушка и тепловая обработка древесины. – М. : Изд-во "Лесн. пром-сть", 1990. – 336 с.

Крошный И.Н. Аналитический расчет влажностных полей и напряженно-деформативного состояния высушиваемой древесины

Рассмотрено распределение влажностного поля и обусловленное им напряженно-деформативное состояние цилиндра, под действием внешней среды, относительная влажность которой зависит от времени. Методом линеаризующих параметров с использованием преобразования Лапласа решена нелинейная задача влагопроводности. Методом простых итераций решены сведенная к интегральному уравнению Вольтера второго рода квазистатическая задача для упругой модели и нестационарная задача для вязкоупругой модели.

Kroshnyy I.M. Analytical calculation of moisture patterns and hard-deformable state timber

We consider the distribution of humidity fields and caused him stress-deformed state of the cylinder under the influence of external environment, relative humidity depends on time. Linear method parameters using the Laplace transform nonlinear problem is solved moisture. The method of simple iterations solved is reduced to Volterra integral equation of the second kind monotonic problem for the elastic model and nonstationary problems for viscoelastic models.