

Здійснення таких розрахунків з використанням нормативів витрат сировини та матеріалів є вкрай необхідними для здійснення точних розрахунків ціни виробів. У таких умовах просто не обійтись без автоматизації процесів розрахунків витрат матеріалів, а тому необхідне відповідне програмне забезпечення та алгоритми здійснення цих розрахунків.

Один із таких продуктів було розроблено за участю спеціалістів Національного лісотехнічного університету України.

На сьогодні піонером серед вітчизняних виробників програмного забезпечення є концерн "УДАЧА" (Київ). На підприємствах галузі з успіхом використовують програми автоматизованого проектування дерев'яних вікон, балконних дверей – WinDesigner 2.0, проектування дерев'яних сходів – STAIRCASE-SOFTWARE 9, проектування меблів і розкрою плитних матеріалів – Woody і Sawyer, бухгалтерська програма – Главбух 2 та ін.

Нормативи витрати деревини (лісоматеріали круглі та пиломатеріали) розроблено як керівний документ для підприємств галузі, що виготовляють традиційні і нові столярні вироби та фрезеровані деталі для будівництва.

### **Висновки та рекомендації**

1. Аналіз теоретичних та виробничих досліджень надав змогу розробити науково обґрунтовані нормативи витрат деревини у виробництві СБВ.
2. Розроблені нормативні матеріали містять коефіцієнти витрати деревини залежно від сорту деревинної сировини, пиломатеріалів породного складу, методу визначення індивідуальних норм витрати деревини, матеріали для розроблення заходів з економії сировини, методи контролю за її використанням.
3. Розроблено алгоритм та комп'ютерну програму розрахунку сировини та матеріалів у виробництві сучасних СВ.
4. Розроблені нормативи витрат деревини у виробництві сучасних та традиційних СБВ дадуть змогу контролювати питання щодо раціонального та ефективного використання деревинної сировини, впровадити у виробництво науково обґрунтовані прогресивні норми.

### **Література**

1. ДСТУ 2186-93. Деталі і вироби дерев'яні. Терміни та визначення.
2. ГОСТ 11214-99. Окна и балконные двери деревянные с двойным остеклением для жилых и общественных зданий.
3. ГОСТ 8242-88. Детали профильные из древесины и древесных материалов для строительства. Технические условия.
4. ДСТУ Б В.2.6-24-2001. Блоки віконні дерев'яні зі склопакетами. Технічні умови.
5. **Нормативи** витрат деревини у виробництві столярно-будівельних виробів. – Львів: НЛТУ України, 2007. – 38 с.

УДК 634.0.812

*Доц. Б.П. Поберейко, канд. техн. наук – НЛТУ України, м. Львів*

## **ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРИ НА МІЦНІСТЬ ДЕРЕВИНИ У ПРУЖНІЙ ОБЛАСТІ ДЕФОРМУВАННЯ**

Отримано та проаналізовано аналітичну залежність міцності деревини від температури у пружній області деформування. Встановлено та підтверджено, що у діапазоні зміни температур від 20 °С до 100 °С міцність деревини у різних напрямках анізотропії зменшується за лінійним законом.

*Assist. prof. B.P. Pobereyko – NUFWT of Ukraine, L'viv*

## **Influence of temperature on durability of wood in resilient region of deformation**

It is got and analysed analytical dependence of durability of wood on a temperature in the resilient region of deformation. It is set and confirmed, that in the range of change of temperatures from 20 °C to a 100 °C durability of wood in different directions of anisotropic diminishes after a linear law.

**Актуальність.** Для технології гідротермічної обробки пиломатеріалів важливими є задачі визначення впливу навколишнього середовища на фізико-механічні властивості деревини, зокрема температури на міцність матеріалу. На сьогодні ця проблема вирішена у часткових випадках. Відомі з цієї області досліджень публікації [1-3] присвячені в основному аналізу та обробці результатів експериментальних вимірювань, а наведені у них залежності є емпіричними. Тому актуальними є теоретичні дослідження залежностей міцності деревини від температури у різних напрямках анізотропії на основі отриманого у роботі [4] критерію міцності для гігроскопічних анізотропних матеріалів змінної маси.

**Постановка задачі.** Згідно з роботою [4], міцність гігроскопічних анізотропних матеріалів зі змінними потенціалами тепломасоперенесення описують критерієм

$$s^* = \frac{1}{J^* \rho^*} \int_0^{\tau^*} \frac{J}{T} \left( \sum_{k=1}^3 \bar{\sigma}_k \frac{\partial \bar{v}}{\partial x_k} + \text{div}(\lambda \text{grad} T) + \delta \rho \gamma \frac{dU}{d\tau} + \frac{P}{J} \frac{dJ}{d\tau} \right) d\tau + \frac{J_0 \rho_0 s_0}{J^* \rho^*}, \quad (1)$$

де:  $s^*$  – граничне значення питомої ентропії, віднесене до одиниці маси речовини;  $s_0$  – значення питомої ентропії на початку деформування матеріалу;  $T$ ,  $U$  та  $P$  – відповідні функції розподілів термодинамічної температури, вологовмісту та тиску парогазової суміші у матеріалі;  $\rho^*$  – значення густини матеріалу на момент часу руйнування матеріалу  $\tau^*$ ;  $J^*$  – значення якобіану градієнтів руху точок суцільного середовища на момент часу  $\tau^*$ ;  $\delta$  – коефіцієнт фазового переходу;  $\lambda$  – коефіцієнт теплопровідності;  $\gamma$  – питома теплота випаровування води;  $\sum_{k=1}^3 \bar{\sigma}_k \frac{\partial \bar{v}}{\partial x_k}$  – дисипативна функція.

У пружній постановці задачі для матеріалів зі сталими рівномірно розподіленими полями температури і води та однорідним напружено-деформованим станом умова (1) є значно простішою. У цьому випадку швидкість зміни вологовмісту та градієнти полів температури і води дорівнюють нулеві, а процеси дисипації енергії – відсутні. Тому, з огляду на ці обмеження, формулу (1) запишемо у вигляді

$$T(J^* \rho^* s^* - J_0 \rho_0 s_0) = \int_{J_0}^{J^*} P dJ. \quad (2)$$

Ліва частина цього співвідношення описує закономірності протікання теплових процесів у матеріалі, а права – деформативних. Для обґрунтування цих положень скористаємося результатами досліджень [5, 6].

Згідно з [5], густина матеріалу у неруйнівному стані та на межі руйнування є залежною від вологовмісту  $U$  та якобіану градієнтів руху  $J$  і визначають за формулою

$$\rho = \frac{1+U}{(1+\beta_V U_0)J} \rho_{см}, \quad (3)$$

де  $\beta_V$  – коефіцієнт об'ємної усадки деревини;  $U_0$  – вологовміст матеріалу на початку деформування;  $\rho_{см}$  – густина абсолютно сухої деревини. Тому, враховуючи, що у недеформованому стані  $J_0 = 1$ , то

$$T(J^* \rho^* s^* - J_0 \rho_0 s_0) = \frac{(1+U) \rho_{см}}{(1+\beta_V U_0)} T(s^* - s_0). \quad (4)$$

Звідси, згідно з другим законом термодинаміки, величина  $q(T) = T(s^* - s_0)$  – кількість теплоти, яку поглинає або виділяє одиниця маси деформованої деревини в умовах квазістатичного ізотермічного розтягу або стиску відповідно, що і необхідно було довести.

Інтеграл у правій частині умови (2) є кількісною мірою роботи, яку виконують поля напружень деформованого матеріалу. Покажемо, що ця робота дорівнює потенціальній енергії деформації, віднесеній до одиниці об'єму недеформованої деревини. Для цього скористаємося відомою залежністю компонентів тензора напружень  $\sigma_{ik}$  від тиску  $P$  парогазової суміші [6]

$$\sigma_{ik} = -P \delta_{ik}, \quad (6)$$

де  $\delta_{ik} = 1$  для  $i=k$  і  $\delta_{ik} = 0$  для  $i \neq k$ . Тоді, помноживши (6) на  $\delta_{ik}$  матимемо

$$P = -\delta_{ik} \sigma_{ik}. \quad (7)$$

Якобіан градієнтів руху  $J$  у (2) дорівнює відношенню об'ємів  $dV$  та  $dV_0$  деформованого та недеформованого матеріалу відповідно [5], тобто

$$J = dV / dV_0. \quad (8)$$

Величина  $dV$  є залежною від суми діагональних компонентів тензора деформацій  $\varepsilon_{ik}$  і визначається співвідношенням [7]

$$dV = dV_0 \sum_{i=1}^3 \sum_{k=1}^3 (1 + \varepsilon_{ik} \delta_{ik}). \quad (9)$$

Звідси, підставивши (7) – (9) у праву частину (2), матимемо

$$\int_{J_0}^{J^*} P dJ = -\frac{1}{dV_0} \int_{dV_0} \left( \sum_{i=1}^3 \sum_{k=1}^3 \sigma_{ik} d\varepsilon_{ik} \right) dV_0. \quad (10)$$

Згідно з результатами досліджень [7]

$$\Pi = -\frac{1}{dV_0} \int_{dV_0} \left( \sum_{i=1}^3 \sum_{k=1}^3 \sigma_{ik} d\varepsilon_{ik} \right) dV_0, \quad (11)$$

де  $\Pi$  – потенціальна енергія деформації матеріалу, віднесена до одиниці його об'єму у недеформованому стані. Але, в межах виконання закону Гука

$$\Pi = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 \sum_{k=1}^3 \sum_{n=1}^3 E_{ijkn} \varepsilon_{ij} \varepsilon_{kn}, \quad (12)$$

де  $E_{ijkn}$  – модулі пружності. Тому, підставивши (4) та (10)-(12) у (2), отримаємо критерій міцності для пружної області деформування деревини зі сталими рівномірно розподіленими температурно-вологісними полями

$$\frac{2(1+U)\rho_{cm}}{1+\beta_V U} T(s^* - s_0) = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 \sum_{k=1}^3 \sum_{n=1}^3 E_{ijkn} \varepsilon_{ij} \varepsilon_{kn}. \quad (13)$$

Визначення залежності межі міцності деревини від температури. У цьому випадку, з врахуванням закону Гука, критерій міцності (13) для деревини зі сталою температурою  $T$  запишемо у вигляді

$$\frac{2(1+U)\rho_{cm}}{1+\beta_V U} T(s^* - s_0) = \frac{\sigma_i^2}{E_i}, \quad (14)$$

де  $E_i$  та  $\sigma_i$  – модуль пружності та напруження в  $i$ -му напрямку анізотропії механічних властивостей матеріалу.

Для визначення невідомої залежності  $q(T) = T(s^* - s_0)$  припустимо, що температура матеріалу збільшилася на величину  $\Delta T$ , тоді матимемо

$$q(T + \Delta T) = [s^*(T + \Delta T) - s_0(T + \Delta T)](T + \Delta T). \quad (15)$$

Звідси, оскільки, згідно з результатами робіт [8], отримаємо

$$s(T + \Delta T) - s(T) = \int_T^{T+\Delta T} \frac{C_\sigma}{T} dT, \quad (16)$$

то після нескладних математичних перетворень одержимо

$$q(T + \Delta T) = \left[ q(T) + T \int_T^{T+\Delta T} (C_\sigma^* - C_\sigma) \frac{dT}{T} \right] \left( 1 + \frac{\Delta T}{T} \right), \quad (17)$$

де символами  $C_\sigma^*$  і  $C_\sigma$  позначено питомі теплоємності пружної та не пружної деревини при сталому напруженні.

Звідси, критерій міцності (14) для деревини зі сталою температурою  $T + \Delta T$  має вигляд

$$\frac{2(1+U)\rho_{cm}}{1+\beta_V U} \left[ q(T) + T \int_T^{T+\Delta T} (C_\sigma^* - C_\sigma) \frac{dT}{T} \right] \left( 1 + \frac{\Delta T}{T} \right) = \frac{\sigma_i^2(T + \Delta T)}{E_i}. \quad (18)$$

Для знаходження  $q(T)$ , припустимо, що для деревини з температурою  $T$ , наприклад для  $T=20^\circ\text{C}$ , значення межі міцності в  $i$ -му напрямку анізотропії є відомим і дорівнює  $\sigma_{i\_zp}(T)$ . Тоді, згідно з формулою (14)

$$q(T) = [s^*(T) - s_0(T)]T = \frac{1+\beta_V U}{2(1+U)\rho_{cm}} \frac{\sigma_{i\_zp}^2(T)}{E}. \quad (19)$$

Отже, з врахуванням формули (19)

$$\sigma_i(T + \Delta T) = \sqrt{\left( 1 + \frac{\Delta T}{T} \right) \left[ \sigma_{i\_zp}^2(T) - \frac{2(1+U)\rho_{cm}}{1+\beta_V U} E_i T \int_T^{T+\Delta T} (C_\sigma - C_\sigma^*) \frac{dT}{T} \right]}. \quad (20)$$

Згідно з результатами досліджень [9], у діапазоні температур від  $20^\circ\text{C}$  до  $100^\circ\text{C}$  зміна теплоємності деревини з відносною вологістю, нижчою за

межу гігроскопічності, є незначною. Наприклад, для деревини з відносною вологістю 20 % значення величини  $C_\sigma$  змінюється в межах від 2,4 до 2,6 кДж/кг·°C, а для деревини з відносною вологістю, меншою за 20 %, ця зміна є ще меншою. Тому для вказаних діапазонів зміни вологи та температури величину  $C_\sigma$  можна вважати сталою величиною. Тоді, у цьому випадку залежність (20) запишемо у вигляді

$$\sigma_i(T + \Delta T) = \sqrt{\left(1 + \frac{\Delta T}{T}\right) \left[ \sigma_{i\_ep}^2(T) - \frac{2(1+U)\rho_{cm}}{1+\beta_V U} E_i T (C_\sigma - C_\sigma^*) \ln\left(1 + \frac{\Delta T}{T}\right) \right]}. \quad (21)$$

Поведінка функції  $\sigma_i(T + \Delta T)$  є залежною від різниці теплоємностей  $C_\sigma$  і  $C_\sigma^*$ . Якщо  $C_\sigma - C_\sigma^* < 0$ , то залежність  $\sigma_i(T + \Delta T)$  є зростаючою. У протилежному випадку вона є спадною. Зазначимо також, що величина  $C_\sigma - C_\sigma^*$  визначена на множині дійсних чисел. Тому, якщо функція  $\sigma_i(T + \Delta T)$  із збільшенням аргументу  $\Delta T$  зменшується, то, згідно з формулою (21), значення величини  $C_\sigma - C_\sigma^*$  повинні задовольняти подвійну нерівність

$$0 < C_\sigma - C_\sigma^* < \left( \sigma_{i\_ep}^2(T) - \frac{\sigma_i^2(T + \Delta T)}{1 + \frac{\Delta T}{T}} \right) \frac{1 + \beta_V}{2(1+U)\rho_{cm}E_i T \ln\left(1 + \frac{\Delta T}{T}\right)} \quad (22)$$

для будь-якого  $\Delta T$ .

Для деревини величина  $C_\sigma - C_\sigma^*$  є додатною. Переконливим доказом на користь цього припущення є результати експериментальних випробовувань деревних зразків у різних стаціонарних температурних полях [3, 9], аналіз яких показав що із зростанням температури міцність матеріалу зменшується за лінійним законом.

**Обговорення та аналіз результатів чисельних експериментів.** Для зіставлення теоретичних досліджень з відповідними результатами експериментальних випробовувань [3, 9] проведено чисельні розрахунки міцності деревини сосни вздовж та впоперек волокон у діапазоні зміни температури від 20 до 100 °C. Результати розрахунків для матеріалу з фізико-механічними характеристиками, які наведено у табл. 1, відображені у вигляді графіків на рис. 1, 2. Їх аналіз та аналіз відповідних результатів експериментальних вимірювань [3, 9] показав, що вплив температури на відносну міцність деревини (відношення меж міцностей деревинного матеріалу з відносною вологістю 12 % та температурами  $T + \Delta T$  і 0 °C) є залежним від способу деформування.

**Табл. 1. Фізико-механічні характеристики деревини сосни з температурою 20 °C, відносною вологістю 12 % та густиною 485 кг/м³ у різних напрямках анізотропії (у чисельнику наведені дані для розтягу, а у знаменнику – для стиску)**

| Характеристики деревини                                  | Вздовж волокон | Радіальний напрям | Тангентальний напрям |
|----------------------------------------------------------|----------------|-------------------|----------------------|
| Миттєвий модуль пружності E, ГПа                         | 11,9/11,9      | 0,54/0,67         | 0,47/0,55            |
| Межа міцності, $\sigma_{i\_ep}$ , МПа                    | 102/46,3       | 3,23/5,1          | 2,63/4,63            |
| Різниця теплоємностей $C_\sigma - C_\sigma^*$ , Дж/кг·°C | 8,4/2,4        | 0,18/0,15         | 0,18/0,18            |

У випадку випробовувань на розтяг міцність деревини сосни вздовж волокон з підвищенням температури від 20 до 100 °С зменшується приблизно на 34 %, а у випадку стиску – на 43 %. Впоперек волокон навпаки міцність деревини сосни на стиск з підвищення температури зменшується повільніше ніж у випадку розтягу. Виявлена закономірність пояснюється залежністю різниці теплоємностей  $C_\sigma$  і  $C_\sigma^*$  від способу навантаження. Дійсно, згідно з даними табл. 1, значення цієї величини у випадку розтягу є більшими ніж під час стиску.

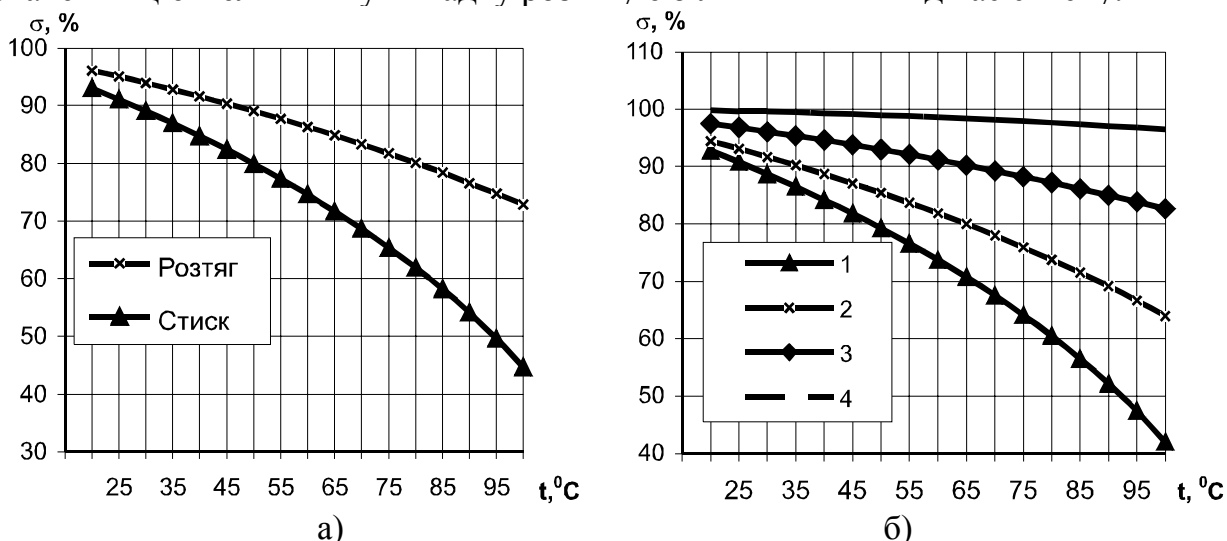


**Рис. 1. Вплив температури на відносну міцність деревини сосни а) вздовж та б) поперек волокон: 1, 3 – відповідно розтяг та стиск у тангентальному напрямі; 2, 4 – розтяг та стиск у радіальному напрямі**

Отже, особливості зміни межі міцності деревини  $\sigma_i(T + \Delta T)$  залежно від температури  $\Delta T$ , визначаються стрибкоподібною зміною її теплоємності при переході з пружної у непружну область деформування.

## Література

1. Белянкин Ф.П., Яценко В.Ф. Деформативность и сопротивляемость древесины как упруго-вязко-пластического тела. – К.: Изд-во АН УССР, 1957. – 186 с.
2. Леонтьев Н.Л. Длительное сопротивление древесины. – М.: Гослес-бумиздат, 1957. – 132 с.
3. Хухрянский П.Н. Прочность древесины. – М.: Гослесбумиздат, 1955. – 152 с.
4. Соколовський Я.І., Поберейко Б.П. Дослідження граничного напружено-деформівного стану деревини у процесі сушіння// Доповіді НАН України. Сер.: Механіка, 2006. – С. 23-29.
5. Поберейко Б.П., Соколовський Я.І. Дослідження процесів вологоперенесення всередині та на межі неруйнівної області деформування деревини// Наук. вісник НЛТУУ: Зб. наук.-техн. праць. – Львів: НЛТУУ. – 2006, вип. 16.6. – С. 82-90.
6. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика. В 10-ти томах, т. VII. Теория упругости: Учеб. пособие. – 4-е изд. – М.: Наука, 1987. – 248 с.
7. Яценко В.Ф. Прочность композиционных материалов. – К.: Вища шк., 1988. – 191 с.
8. Леонтович М.А. Введение в термодинамику. Статистическая физика: Учеб. пособие. – М.: Наука, 1983. – 416 с.
9. Боровиков А.М., Уголев Б.Н. Справочник по древесине. – М.: Лесн. пром-сть, 1989. – 296 с.