



3. ТЕХНОЛОГІЯ ТА УСТАТКУВАННЯ ДЕРЕВООБРОБНИХ ПІДПРИЄМСТВ

УДК 634.0.812

*Доц. Б.П. Поберейко, канд. техн. наук;
проф. Я.І. Соколовський, д-р техн. наук – УкрДЛТУ*

УЗАГАЛЬНЕННЯ КРИТЕРІЮ КОРОТКОЧАСНОЇ МІЦНОСТІ НА ДОВГОЧАСНУ МІЦНІСТЬ ДЕРЕВИНИ

Проведено узагальнення критерію короткочасної міцності Е.К. Ашкеназі на довгочасну міцність. Розроблено методику визначення тензора довгочасної міцності ортотропних матеріалів. На її основі встановлено функціональні залежності для обчислення значень його компонентів вздовж напрямків анізотропії деревини хвойних порід.

Doc. B.P. Pobereyko; prof. Ya.I. Sokolovskiy – USUFWT

Generalization of criterion of brief durability A.E. Ashkenazi on of long duration durability of wood

Generalization of brief criterion of durability of A.E. Ashkenazi is conducted on of long duration durability. The method of determination of tensor of long duration durability of ortotropic materials is developed and on its basis functional dependences are set for the calculation of values of his components along basic directions of anisotropic of wood of coniferous breeds.

Актуальність та аналіз відомих результатів. Безпечність режимів гідротермічного оброблення деревини визначається не лише закономірностями розвитку напружено-деформівного стану в матеріалі, але й істотно залежить і від її міцності. Чим вищим є граничний напружений стан матеріалу, тим безпечніший технологічний режим і навпаки. На сьогодні, в основному, досліджено конструктивну міцність деревини з рівномірно розподіленими полями напружень, деформацій, температури та вологи [1-2, 4-5]. Однак, в умовах тепломасообміну розподіл зазначених полів є нерівномірним [6], а їх дія тривалою. Отже, для раціонального використання відомих та розробки нових режимів інтенсифікації процесів вологовидалення актуальними є задачі визначення міцності деревини зі змінними у часі і за координатами точок середовища матеріалу полями напружень. Одним із шляхів їх вирішення є узагальнення наявних критеріїв короткочасної міцності на довгочасну міцність. Безумовно, що у такій постановці задачі доцільно обмежитися розгля-

дом тих критеріїв, які узгоджуються з результатами експериментальних випробовувань деревини на міцність, зокрема розглядом критерію Е.К. Ашкеназі [1]. Цей критерій є результатом апроксимації експериментальних досліджень поверхні міцності деревини для короточасних навантажень. Він задовільно описує закономірності опору матеріалу процесам руйнування залежно від орієнтації прикладених одновісних механічних зусиль. У розгорнутій формі запису цей критерій має вигляд:

$$\begin{aligned} & \left(P_{1111}\sigma_{11}^2 + P_{2222}\sigma_{22}^2 + P_{3333}\sigma_{33}^2 + 2P_{1122}\sigma_{11}\sigma_{22} + 2P_{2233}\sigma_{22}\sigma_{33} + \right. \\ & \left. + 2P_{1133}\sigma_{11}\sigma_{33} + 4P_{1313}\sigma_{13}^2 + 4P_{2323}\sigma_{23}^2 + 4P_{1212}\sigma_{12}^2 \right)^2 - \sigma_{11}^2 - \sigma_{22}^2 - \\ & - \sigma_{33}^2 - \sigma_{11}\sigma_{22} - \sigma_{22}\sigma_{33} - \sigma_{11}\sigma_{33} - \sigma_{13}^2 - \sigma_{23}^2 - \sigma_{12}^2 < 0. \end{aligned} \quad (1)$$

Компоненти P_{iknm} тензора короточасної міцності, зокрема, для однакових індексів ($k = n = m = i$) у (1) визначаються з одновісних випробовувань деревинних зразків на розтяг (стиск). Значення P_{iknm} є обернено пропорційні межі міцності

$$P_{iiii} = 1/\sigma_m^{(ii)}, \quad (2)$$

де $\sigma_m^{(ii)}$ – межа міцності матеріалу у напрямі, заданому індексами (ii).

Величини P_{ikik} є обернено пропорційними до межі міцності деревини на чистий зсув (зміна кута між осями симетрії (i) та (k))

$$P_{ikik} = 1/\sigma_m^{(ik)}. \quad (3)$$

Значення величин P_{iikk} визначається за однією із формул:

$$P_{iikk} = \frac{4}{\sigma_{m,45}^{(ik)}} - \frac{1}{\sigma_m^{(ii)}} - \frac{1}{\sigma_m^{(kk)}} - \frac{1}{\sigma_m^{(ik)}}; \quad (4)$$

$$P_{iikk} = \frac{1}{\sigma_{m,p}^{(ii)}} - \frac{1}{\sigma_{m,c}^{(kk)}} - \frac{1}{\sigma_{m,+45}^{(ik)}}; \quad (5)$$

$$P_{iikk} = \frac{\sqrt{3}}{R_{ik}} - \frac{1}{\sigma_m^{(ii)}} - \frac{1}{\sigma_m^{(kk)}}; \quad (6)$$

$$P_{iikk} = \frac{1}{\sigma_{m,c}^{(ii)}} - \frac{1}{\sigma_{m,p}^{(kk)}} - \frac{1}{\sigma_{m,-45}^{(ik)}}, \quad (7)$$

де: $\sigma_{m,\pm 45}^{(ik)}$ і $\sigma_{m,\pm 45}^{(ik)}$ – межі міцності у випадку дії лише нормальних або лише доптичних напружень під кутом 45° до осей i та k; R_{ik} – міцність у випадку однакового двохвісного стиску вздовж осей i та k.

Формули (4) і (6) можна використовувати для визначення поверхні міцності матеріалу як у випадку стиску (тоді величини σ_m і R_{ik} приймають значення, які б вони мали у випадку випробовувань матеріалу на стиск) так і у випадку розтягу (тоді б σ_m і R_{ik} приймали значення, які б вони мали у випадку випробовувань матеріалу на розтяг).

У формулах (5) і (7) знаки плюс та мінус у позначеннях $\sigma_{m,+45}^{(ik)}$ та $\sigma_{m,-45}^{(ik)}$ вказують на відмінність в орієнтації. Знак плюс свідчить про те, що основне

напруження розтягу, яке виникає в умовах діагонального чистого зсуву, збігається за напрямком з віссю максимальної міцності (і) у площині симетрії матеріалу.

Аналіз формул (1)-(7) свідчить, що компоненти тензора короточасної міцності P_{iknm} є сталими величинами, у них не враховано впливу часу, температури та вологості деревини на поверхню міцності в явному вигляді. Отже, використання критерію міцності Е.К. Ашкеназі в задачах визначення технологічної міцності пиломатеріалів в умовах гідротермічного оброблення можливе лише за умови узагальнення співвідношень (1)-(7) на область довгочасної міцності.

Узагальнення критерію Е.К. Ашкеназі на довгочасну міцність деревини. Для врахування впливу часу дії напружень σ_{ik} на міцність деревини скористаємося результатами досліджень [2], де сформульовано основні правила переходу від короточасних до довгочасних критеріїв міцності. Виходячи із зазначених робіт для досягнення поставленої мети, запишемо (1) у вигляді:

$$\begin{aligned} & \left(P_{1111}\sigma_{11}^2 + P_{2222}\sigma_{22}^2 + P_{3333}\sigma_{33}^2 + 2P_{1122}\sigma_{11}\sigma_{22} + 2P_{2233}\sigma_{22}\sigma_{33} + 2 \right. \\ & * P_{1133}\sigma_{11}\sigma_{33} + 4P_{1313}\sigma_{13}^2 + 4P_{2323}\sigma_{23}^2 + 4P_{1212}\sigma_{12}^2 \Big)^2 - \frac{1}{P_{1111}}P_{1111}\sigma_{11}^2 - \\ & - \frac{1}{P_{2222}}P_{2222}\sigma_{22}^2 - \frac{1}{P_{3333}}P_{3333}\sigma_{33}^2 - \frac{1}{P_{1122}}P_{1122}\sigma_{11}\sigma_{22} - \frac{1}{P_{2233}}P_{2233}\sigma_{22}\sigma_{33} - \\ & - \frac{1}{P_{1133}}P_{1133}\sigma_{11}\sigma_{33} - \frac{1}{P_{1313}}P_{1313}\sigma_{13}^2 - \frac{1}{P_{2323}}P_{2323}\sigma_{23}^2 - \frac{1}{P_{1212}}P_{1212}\sigma_{12}^2 < 0. \end{aligned} \quad (8)$$

Використаємо заміну доданків $P_{iknm}\sigma_{ik}\sigma_{nm}$ суми лівої частини умови (8) на оператори $\int_0^{\tau^*} \Omega_{iknm}(\tau^* - \tau)\sigma_{ik}(\tau)\sigma_{nm}(\tau)d\tau$, де $\Omega_{iknm}(\tau^* - \tau)$ – тензори довгочасної міцності, які характеризують залежність механічних властивостей матеріалу від часу його перебування під навантаженням $\sigma_{ik}(\tau^*)$; τ^* – тривалість дії компонентів напружень $\sigma_{ik}(\tau)$, за який напружено-деформівний стан матеріалу досягне граничного значення, межі міцності. У результаті такої заміни одержимо узагальнення критерію Е.К. Ашкеназі:

$$\begin{aligned} & \int_0^{\tau^*} \left\{ \Omega_{1111}(\tau^* - \tau)\sigma_{11}^2(\tau) + \Omega_{2222}(\tau^* - \tau)\sigma_{22}^2(\tau) + \Omega_{3333}(\tau^* - \tau)\sigma_{33}^2(\tau) + 2 \right. \\ & * \Omega_{1122}(\tau^* - \tau)\sigma_{11}(\tau)\sigma_{22}(\tau) + 2\Omega_{2233}(\tau^* - \tau)\sigma_{22}(\tau)\sigma_{33}(\tau) + 2\Omega_{1133}(\tau^* - \tau) \\ & * \sigma_{11}(\tau)\sigma_{33}(\tau) + 4 * \Omega_{1313}(\tau^* - \tau)\sigma_{13}^2(\tau) + 4\Omega_{2323}(\tau^* - \tau)\sigma_{23}^2(\tau) + 4 * \\ & * \Omega_{1212}(\tau^* - \tau)\sigma_{12}^2(\tau) \Big\} d\tau < \left(\frac{1}{P_{1111}} \int_0^{\tau^*} \Omega_{1111}(\tau^* - \tau)\sigma_{11}^2(\tau)d\tau + \frac{1}{P_{2222}} * \right. \\ & * \int_0^{\tau^*} \Omega_{2222}(\tau^* - \tau)\sigma_{22}^2(\tau)d\tau + \frac{1}{P_{3333}} \int_0^{\tau^*} \Omega_{3333}(\tau^* - \tau)\sigma_{33}^2(\tau)d\tau + \frac{1}{P_{1122}} * \end{aligned} \quad (9)$$

$$\begin{aligned}
 & * \int_0^{\tau^*} \Omega_{1122}(\tau^* - \tau) \sigma_{11}(\tau) \sigma_{22}(\tau) d\tau + \frac{1}{\Pi_{2233}} \int_0^{\tau^*} \Omega_{2233}(\tau^* - \tau) \sigma_{22}(\tau) \sigma_{33}(\tau) d\tau + \\
 & + \frac{1}{\Pi_{1133}} \int_0^{\tau^*} \Omega_{1133}(\tau^* - \tau) \sigma_{11}(\tau) \sigma_{33}(\tau) d\tau + \frac{1}{\Pi_{1313}} \int_0^{\tau^*} \Omega_{1313}(\tau^* - \tau) \sigma_{13}^2(\tau) d\tau + \\
 & + \frac{1}{\Pi_{2323}} \int_0^{\tau^*} \Omega_{2323}(\tau^* - \tau) \sigma_{23}^2(\tau) d\tau + \frac{1}{\Pi_{1212}} \int_0^{\tau^*} \Omega_{1212}(\tau^* - \tau) \sigma_{12}^2(\tau) d\tau \Big)^{0.5}.
 \end{aligned}$$

Невідомі компоненти Ω_{iknm} визначаються погодженням умови (7) з результатами експериментальних вимірювань кривих довгочасного опору для деревини.

Методика визначення компонентів тензора довгочасної міцності деревини в основних напрямках анізотропії. За даними робіт [1, 3], криві довгочасного опору деревини хвойних порід вздовж та поперек волокон для одновісного стиску (розтягу) описуються експоненціальними залежностями вигляду:

$$\frac{\sigma_{ii}(\tau^*)}{\sigma_M^{(ii)}} = \frac{\sigma_{m\partial o}^{(ii)}}{\sigma_M^{(ii)}} + \left[1 - \frac{\sigma_{m\partial o}^{(ii)}}{\sigma_M^{(ii)}} \right] \exp\left(-\frac{\tau^*}{\alpha_{ii}}\right), \quad (10)$$

де: $\sigma_M^{(ii)}$, $\sigma_{m\partial o}^{(ii)}$ – межі міцності та довгочасного опору матеріалу вздовж основних напрямків анізотропії, які визначаються індексами (ii); α_{ii} – час релаксації кривих довгочасного опору. Зазначимо, що величини $\sigma_M^{(ii)}$, $\sigma_{m\partial o}^{(ii)}$, α_{ii} залежать від різних факторів, зокрема, від вологості, температури, породи деревини, способу навантаження (стиск, розтяг, зсув), тощо.

З іншого боку, згідно з (9), у випадку одновісного розтягу чи стиску для $\sigma_{ii}(\tau^*)$ повинна виконуватися рівність

$$\int_0^{\tau^*} \Omega_{iiii}(\tau^* - \tau) \sigma_{ii}^2(\tau) d\tau = \sqrt{\frac{1}{\Pi_{iiii}} \int_0^{\tau^*} \Omega_{iiii}(\tau^* - \tau) \sigma_{ii}^2(\tau) d\tau}, \quad (11)$$

яка після деяких математичних перетворень запишеться у вигляді

$$\sigma_{ii}(\tau^*) = \sqrt{\Pi_{iiii} \int_0^{\tau^*} \Omega_{iiii}(\tau^* - \tau) d\tau}. \quad (12)$$

Підставивши (10) у (12), отримаємо

$$\int_0^{\tau^*} \Omega_{iiii}(\tau^* - \tau) d\tau = \frac{[\sigma_M^{(ii)}]^2}{\Pi_{iiii}} \left[\frac{\sigma_{m\partial o}^{(ii)}}{\sigma_M^{(ii)}} + \left(1 - \frac{\sigma_{m\partial o}^{(ii)}}{\sigma_M^{(ii)}} \right) \exp\left(-\frac{\tau^*}{\alpha_{ii}}\right) \right]^2. \quad (13)$$

Звідси, про диференціювавши (13) по параметру τ^* , одержимо шукані функціональні залежності для компонентів тензора довгочасної міцності від аргументу $(\tau^* - \tau)$ для деревини хвойних порід

$$\Omega_{iiii}(\tau^* - \tau) = -\frac{2[\sigma_M^{(ii)}]^2}{\alpha_{ii} \Pi_{iiii}} \left(1 - \frac{\sigma_{m\partial o}^{(ii)}}{\sigma_M^{(ii)}} \right) \left[\frac{\sigma_{m\partial o}^{(ii)}}{\sigma_M^{(ii)}} + \left(1 - \frac{\sigma_{m\partial o}^{(ii)}}{\sigma_M^{(ii)}} \right) \exp\left(-\frac{\tau^* - \tau}{\alpha_{ii}}\right) \right] \exp\left(-\frac{\tau^* - \tau}{\alpha_{ii}}\right) \quad (14)$$

Висновок. На основі критерію Е.К. Ашкеназі та результатів експериментальних досліджень кривих довгочасного опору деревини отримано співвідношення (9) і (14), які у випадку доповнення залежностями (2)-(7) утворюють систему рівнянь для розрахунку довгочасної міцності матеріалів з деревини хвойних порід.

Література

1. Ашкенази Е.К. Анизотропия древесины и древесных материалов. – М.: Лесн. пром-сть, 1978. – 224 с.
2. Белянкин Ф.П., Яценко В.Ф. Деформативность и сопротивляемость древесины как упруго-вязко-пластического тела. – К.: Изд-во АН УССР, 1957. – 186 с.
3. Гольденблат И.И., Бажанов В.Л., Копнов В.А. Длительная прочность в машиностроении. – М.: Машиностроение, 1977. – 248 с.
4. Леонтьев Н.Л. Длительное сопротивление древесины. – М.: Гослесбумиздат, 1957. – 132 с.
5. Соколовський Я.І., Гірник М.Л., Шикеринець І.М., Поберейко Б.П. Механічні властивості деревинних композитних матеріалів// Препр. № 95.8 – УкрДЛТУ, 1996. – 53 с.
6. Соколовський Я.І., Поберейко Б.П. Дослідження вологісних і залишкових напружень у процесі сушіння// Наук. вісник УкрДЛТУ: 36. наук.-техн. праць. – Львів: УкрДЛТУ. – 1998, вип.8.1 – С. 196-207.

УДК 330.133.7

*Проф. Д.Л. Дудюк, д-р техн. наук;
доц. Л.Д. Загвойська, канд. екон. наук – УкрДЛТУ*

АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМ ОБРОБЛЕННЯ ДЕРЕВИНИ МЕТОДАМИ ІНТЕЛЕКТНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Пропонуються нові інтелектуальні технології для вирішення різноманітних техніко-економічних та екологічних завдань моделювання й оптимізації виробничих процесів лісозаготівлі й оброблення деревини. Розкриваються основні принципи і переваги методів нечітких множин, генетичних алгоритмів і нейронних мереж як ефективного інструменту досліджень порівняно з традиційними математичними методами. Особливо ефективним є комплексне поєднання вказаних методів у єдиний системний апарат дослідження складних техніко-еколого-економічних систем.

Prof. D.L. Dudyuk, doc. L.D. Zahvoyska – USUFWT

Analysis of Woodworking System Effectiveness by Intellect Technics Method

New intellect technics methods for different engineering, economic and ecologic problems of woodworking production systems are proposed. The main principles and advantages of fuzzy expert, genetic algorithm and neuron nets as effective research instrument are shown. The complex utilization of those methods for investigations of big engineering, economic and ecologic systems is especially effective.

Технологічні процеси і системи лісозаготівлі й оброблення деревини, які дотичні до предметів праці біологічного, технічного і суспільного походження, вирізняються цілою низкою специфічних особливостей [1]. По-перше, ці процеси і системи характеризуються великою кількістю параметрів, чимало з яких мають стохастичні властивості. По-друге, для успішного функціонування цих процесів і систем вимагаються великі потоки різноманітної ін-