

Розв'язавши спочатку нелінійне рівняння (24) будь-яким з ітераційних методів (наприклад, золотого перерізу чи Фібоначчі) визначається $a_{кр}$, а потім, з використанням виразу (22) чи (23), визначається $b_{кр}$.

Для розглянутих вище прикладів і для різних секторів ці показники набудуть таких значень:

- для вертикального сектора: $a_{кр} = 112,65$ мм; $b_{кр} = 113,63$ мм;
- для бокового сектора: $a_{кр} = 126,79$ мм; $b_{кр} = 127,77$ мм.

Висновки

Запропоновано методику обчислення оптимальних схем розкрою колод на пиломатеріали за критерієм, що характеризує ефективність використання торця колоди. Це дає змогу обчислити оптимальні товщини дощок для секторного способу розкрою колод на радіальні пиломатеріали. Проведені розрахунки за розробленою математичною моделлю дають результати, придатні для подальшого використання у виробничих умовах. Про це свідчать високі значення ефективності використання торця колоди (в межах $87^{\pm 2}\%$).

Література

1. Аксёнов П.П. Теоретические основы раскроя пиловочного сырья. – М.-Л.: Гослесбумиздат, 1960. – 216 с.
2. Аксёнов П.П., Макарова Н.С., Прохоров И.К., Тюкина Ю.П. Технология пиломатериалов/ Учебн. для вузов. Изд. 2-е, переработ. и доп. – М.: Лесн. пром-сть, 1976. – 480 с.
3. Ветшева В.Ф. Раскрой крупномерных брёвен на пиломатериалы – М.: Лесн. пром-сть, 1976. – 168 с.
4. Калитеевский Р.Е., Дончев Г., Плюснин В.Н., Сухов И.Е. Методы раскроя и структура производственных процессов при переработке буковой древесины// Экспресс-информация (Отечественный производственный опыт) серия "Механическая обработка древесины". – М.: ВИПИЭИлеспром, 1988, вып. 4. – С. 2-14.
5. Масвський В.О. Математична модель розпилювання колод на радіальні пиломатеріали секторним способом// Наук. вісник УкрДЛТУ: Зб. наук.-техн. праць. – Львів: УкрДЛТУ. – 1998, вип. 8. – С. 116-121.
6. Минеев А.В. Теоретические и экспериментальные исследования получения пиломатериалов радиальной распиловки из древесины крупномерной лиственницы/ Автореф. дис... канд. техн. наук: 05.21.05/ Лен. лес. акад. – Л., 1980. – 20 с.
7. Титков Г.Г. Основы теории максимальных поставов// Механическая обработка древесины. – М., 1939, № 2-3.
8. Яковлев М.К. Совершенствование учёта и раскроя круглых лесоматериалов на основе метода индивидуальных моделей/ Автореф. дис... канд. техн. наук: 05.21.05/ Белор. гос. технол. ун-тет. – Минск, 1995. – 19 с.

УДК 674.047

Ст. викладач М.В. Дендюк – НЛТУ України

ВИЗНАЧЕННЯ РЕОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ДЕРЕВИНИ

Розглянуто методику визначення параметрів ядер релаксації деревини на основі експериментальних даних деформацій повзучості залежно від температурно-вологісного навантаження. Отримано аналітичні залежності параметрів ядер релаксації від параметрів ядер повзучості.

Determination of rheological parameters of nucleus relaxation

The method of determination of parameters of nucleus relaxation is considered on the basis of experimental data of deformations of creep depending on the temperature-humidity loading, analytical dependences of parameters of relaxation nucleus from the parameters of kernels of creep are gained.

Актуальність і аналіз відомих досліджень

Задачею експериментальних досліджень деревини на повзучість є об'єктивна оцінка реологічних властивостей матеріалу, яка необхідна для визначення параметрів ядер релаксації $R(t-\tau)$ у проведенні чисельного розрахунку напружено-деформівного стану висушуваної деревини за допомогою фізико-математичної моделі [1] у в'язко-пружній постановці задачі. У зв'язку зі складністю структурної будови деревини як неоднорідного, анізотропного природного композита, що складається з високомолекулярних сполук і характеризується високою мінливістю фізико-механічних властивостей, дана задача є досить складною проблемою.

Більшість отриманих раніше результатів реологічних характеристик деревини [2-5] є тільки у рамках пружинно-демпферних моделей і їх не можна вважати повними і узагальненими. У роботах [6,7] на основі експериментальних даних отримані аналітичні залежності функцій повзучості у вигляді суми експонент, але для розрахунку часу релаксації використано графоаналітичний метод, що затрудняє побудову чисельного алгоритму моделі [1] і подальшого проведення обчислень на ЕОМ.

Методика визначення реологічних характеристик деревини

Задача експериментального визначення параметрів ядра релаксації $R(t-\tau)$ є досить складною порівняно із задачею визначення параметрів ядра повзучості $K(t-\tau)$, а еквівалентність задач доведена [8, 9]. Тому для знаходження параметрів функціональної залежності $R(t-\tau)$ за наведеною нижче методикою достатньо експериментально визначити закономірності зміни деформацій повзучості $\varepsilon(t)$ напружено-деформівного стану деревини залежно від температурно-вологісного навантаження. Взаємозв'язок між ядрами релаксації та повзучості встановлюється із залежності:

$$R(x, t, \lambda) = K(x, t) + \lambda \int_a^t K(x, t) K(t, t_1) dt_1 + \lambda^2 \int_a^t \int_a^{t_1} K(x, t) \times K(t, t_1) K(t_1, t_2) dt_2 dt_1 + \dots, \quad (1)$$

де: $R(x, t, \lambda)$ – ядро релаксації; $K(x, t)$ – ядро повзучості; a і x – відповідно нижня і верхня межі часового інтервалу спостереження за розвитком напружень у досліджуваному матеріалі; t – час; λ – параметр, який у механіці спадкових середовищ з теоретичних міркувань рівний одиниці.

Розвиток деформацій повзучості $\varepsilon(t)$ описує рівняння Больцмана-Вольтерри [10]:

$$\varepsilon(t) = \frac{1}{E} \left[\sigma(t) + \int_0^t K(t-\tau) \sigma(\tau) d\tau \right], \quad (2)$$

де: $\sigma(t)$ – напруження, спричинені в'язко-пружними деформаціями $\varepsilon(t)$; E – модуль пружності; τ – час.

Крім того, для визначення повзучості деревини залежно від її в'язко-пружних характеристик скористаємося співвідношеннями [3]:

$$\sigma = E(W, T) \varepsilon_M(W, T); \quad (3)$$

$$\sigma = E_T(W, T) \varepsilon_T(W, T), \quad (4)$$

$$\frac{\varepsilon_T(W, T) - \varepsilon_M(W, T)}{\varepsilon_T(W, T) - \varepsilon(\tau_{\text{рел}})} = e, \quad (5)$$

де: σ – напруження; $E_T(W, T)$, $E(W, T)$ – відповідно тривалий і миттєвий модулі пружності деревини вологістю W і температурою T ; ε_M , ε_T – відповідно пружні і в'язкі деформації; $\tau_{\text{рел}}$ – час релаксації; e – число, яке приблизно дорівнює 2,718.

Підставивши (3)-(5) у (2) та зробивши деякі математичні перетворення, отримаємо інтеграл ядра повзучості у вигляді:

$$\int_0^{\tau_{\text{рел}}} K(\tau_{\text{рел}}(W, T) - \tau) = \frac{e-1}{e} \times \frac{E(W, T) - E_T(W, T)}{E_T(W, T)}. \quad (6)$$

Ядро повзучості, виходячи з раніше проведених досліджень [9, 7, 11], описується експоненціальною залежністю:

$$K(t - \tau) = \frac{C(W, T)}{\tau_{\text{рел}}(W, T)} \times \exp\left(-\frac{t - \tau}{\tau_{\text{рел}}(W, T)}\right), \quad (7)$$

де C – параметр, який не залежить від часу деформування. Для його визначення підставимо залежність (7) у ліву частину (6) та отримаємо

$$\int_0^{\tau_{\text{рел}}} \frac{C(W, T)}{\tau_{\text{рел}}(W, T)} \times \exp\left(-\frac{t - \tau}{\tau_{\text{рел}}(W, T)}\right) = C(W, T) \frac{e-1}{e}. \quad (8)$$

Порівнюючи праві частини (7) та (8), знаходимо

$$C(W, T) = \frac{E(W, T) - E_T(W, T)}{E_T(W, T)}. \quad (9)$$

Зробивши заміну

$$\Psi = \frac{E(W, T) - E_T(W, T)}{E_T(W, T) \times \tau_{\text{рел}}(W, T)}; \quad (10)$$

$$\omega = \frac{1}{\tau_{\text{рел}}(W, T)}, \quad (11)$$

отримаємо таку функціональну залежність ядра повзучості

$$K(t - \tau) = \Psi e^{-\omega(t-\tau)}. \quad (12)$$

Для визначення ядра релаксації згідно з формулою (1), введемо ітеровані ядра [12]. Тоді ядро $R(x, t, \lambda)$ можна представити у вигляді:

$$R(t - \tau) = \Psi \left[\sum_{n=1}^{\infty} (-1)^{n-1} \Psi^2 \omega^{n-1} \frac{(t - \tau)^{n-1}}{(n-1)!} \right] \times e^{-\omega(t-\tau)} = \Psi e^{-\Psi(t-\tau)} e^{-\omega(t-\tau)} = \aleph e^{-\mu(t-\tau)}, \quad (13)$$

де:

$$\aleph = \Psi = \frac{E - E_T}{E_T \times \tau_{\text{рел}}}; \quad (14)$$

$$\mu = \Psi + \omega = \frac{E - E_T}{E_T \times \tau_{\text{рел}}} + \frac{1}{\tau_{\text{рел}}} = \frac{E}{E_T \times \tau_{\text{рел}}}. \quad (15)$$

Запропонована методика дає змогу на основі експериментальних даних деформацій повзучості аналітично визначити параметри ядер повзучості та ядер релаксації.

Результати досліджень

Після проведення реологічних випробувань для аналітичного запису розвитку деформацій $\varepsilon(t, W, T)$ використаємо експоненціальну функцію

$$\varepsilon(t, W, T) = a_0 + a_1 e^{-a_2 t}, \quad (16)$$

коефіцієнти якої визначимо методом найменших квадратів. Середньо квадратичні відхилення отриманих регресійних залежностей від експериментальних даних не перевищують 2,8 %. Для прикладу, на рис. 1 при вологості 10 % для деревини сосни в тангентальному напрямі анізотропії показано криві деформацій повзучості 1, 2 і 3 за експериментальними даними для 20, 60 і 100 °С та отримані регресійні залежності 1', 2' і 3' відповідно.

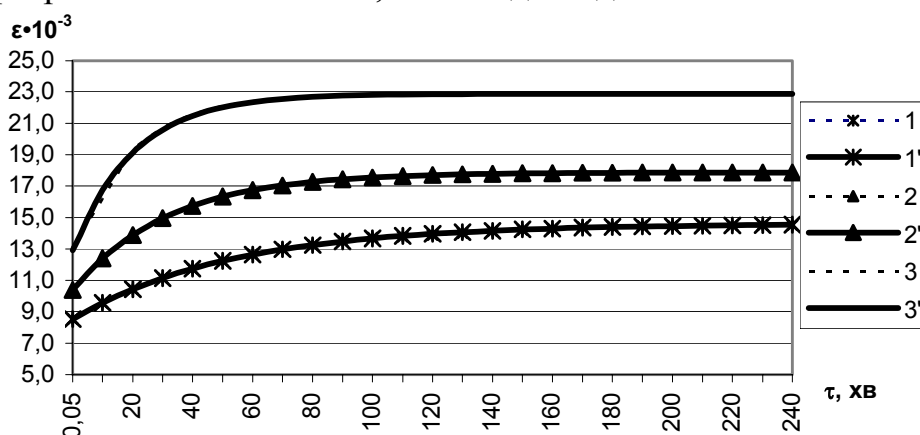


Рис. 1. Динаміка повзучості деревини сосни в тангентальному напрямі залежно від температури для вологості $W=10\%$ (1-3 – за експериментальними даними; 1'-3' – за отриманими регресійними залежностями)

Отримані апроксимаційні залежності дають змогу визначити значення миттєвих $\varepsilon_M(W, T)$ і тривалих $\varepsilon_T(W, T)$ деформацій при сталому навантаженні для обчислення за залежностями (3)-(4) миттєвих $E(W, T)$ і тривалих $E_T(W, T)$ модулів пружності. Для визначення часу релаксації $\tau_{\text{рел}}$ обчислюємо значення деформацій $\varepsilon(t)$ в момент часу $t = \tau_{\text{рел}}$ за формулою (5) і за регресійною залежністю з відомими коефіцієнтами (16) знаходимо час t , при якому сума різниць квадратів $(\varepsilon(\tau_{\text{рел}}) - \varepsilon(t))^2$ буде найменшою. Результати обчислень наведені в табл. 1.

Табл. 1. Значення коефіцієнтів апроксимації, миттєвих і тривалих деформацій, часу релаксації і модулів пружності деревини сосни поперек волокон у тангентальному напрямі

Температура $T, ^\circ\text{C}$	Вологість, $W, \%$	Коефіцієнти апроксимації			Деформації, $\varepsilon \cdot 10^{-3}$		Час релаксації, хв. τ_{rel}	Модулі пружності, МПа	
		a_0	a_1	a_2	ε_M	ε_T		E	E_T
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
40	10	14,156	-5,855	0,015	8,727	14,156	71,23	572,9	353,2
	15	14,614	-6,083	0,019	9,074	14,614	58,36	551,0	342,1
	20	17,295	-7,264	0,029	11,025	17,295	39,01	453,5	289,1
20	35	26,471	-11,142	0,065	18,439	26,471	20,28	271,2	188,9
60	10	15,796	-6,799	0,021	9,667	15,796	53,24	517,2	316,5
	15	16,156	-6,793	0,024	10,122	16,156	47,24	494,0	309,5
	20	18,839	-7,920	0,038	12,286	18,839	31,37	407,0	265,4
	35	28,024	-11,812	0,066	19,521	28,024	20,21	256,1	178,4
80	10	17,527	-7,278	0,025	11,101	17,527	45,18	450,4	285,3
	15	17,884	-7,514	0,032	11,466	17,884	36,74	436,1	279,6
	20	20,665	-8,706	0,050	13,887	20,665	24,99	360,1	242,0
	35	29,775	-12,586	0,112	22,590	29,775	13,92	221,3	167,9
100	10	19,777	-8,305	0,032	12,686	19,777	36,64	394,1	252,8
	15	20,067	-8,434	0,040	13,153	20,067	30,15	380,1	249,2
	20	22,868	-9,629	0,063	15,848	22,868	20,82	315,5	218,6
	35	31,732	-13,433	0,142	25,133	31,732	12,03	198,9	157,6
120	10	22,680	-9,538	0,040	14,874	22,680	29,95	336,1	220,5
	15	22,873	-9,998	0,049	15,053	22,873	25,35	332,2	218,6
	20	25,602	-10,787	0,080	18,362	25,602	17,54	272,3	195,3
	35	33,977	-14,395	0,180	28,127	33,977	10,56	177,8	147,2

Реологічні параметри ядер $\aleph$ і μ , обчислені згідно з формулами (14), (15), наведено в табл. 2.

Табл. 2. Значення реологічних параметрів ядер релаксації залежно від температури і вологості для деревини сосни в тангентальному напрямі

Реологічний параметр	Температура в камері, $^\circ\text{C}$	Відносна вологість в камері, %			
		10	15	20	35
$\aleph$	40	0,146	0,174	0,243	0,358
	60	0,199	0,210	0,283	0,359
	80	0,214	0,254	0,326	0,381
	100	0,254	0,291	0,354	0,364
	120	0,292	0,342	0,375	0,328
μ	40	0,380	0,460	0,670	1,180
	60	0,512	0,563	0,815	1,184
	80	0,582	0,708	0,993	1,578
	100	0,709	0,843	1,155	1,748
	120	0,849	0,999	1,325	1,907

Висновки

Для обчислення параметрів $\aleph$, μ ядер релаксації і параметрів Ψ , ω ядер повзучості за результатами реологічних випробувань деформацій повзучості необхідно знайти миттєвий E , тривалий E_T модулі пружності та час релаксації

$\tau_{\text{рел}}$ для даного зразка. Необхідно зазначити також, що взаємозв'язок між реологічними параметрами ядер релаксації і повзучості описується співвідношеннями $\aleph = \Psi$, а $\mu = \Psi + \omega$. Значення параметрів ядер релаксації з ростом вологості зростають, що пояснюється в першу чергу зменшенням часу релаксації.

Література

1. Соколовський Я.І., Поберейко Б.П., Дендюк М.В. Моделювання деформаційно-релаксаційних процесів у деревині під час сушіння// Наук. вісник УкрДЛТУ: Зб. наук.-техн. праць. – Львів: УкрДЛТУ. – 2004, вип. 14.1. – С. 48-57.
2. Божок О.П., Вінтонів І.С. Деревинознавство з основами лісового товарознавства: Навчальний посібник. – К.: НКМ ВО, 1992. – 320 с.
3. Белянкін Ф.П., Яценко В.Ф. Деформативность и сопротивляемость древесины как упруго-вязкопластического тела. – К.: 1957. – 200 с.
4. Ranta-Maunus A. Rheological behaviour of wood in directions perpendicular to the grain// Materials and structures. – 1993, № 26. – Р. 362-369.
5. Уголев Б.Н., Лапшин Ю.Г., Кротов Е.В. Контроль напряжений при сушке древесины. – М.: Лесн. пром-сть, 1980. – 204 с.
6. Соколовський Я.І., Андрашек Й.В. Методика та результати експериментальних досліджень реологічної поведінки деревини// Наук. вісник УкрДЛТУ: Зб. наук.-техн. праць. – Львів: УкрДЛТУ. – 1999, вип. 9.13. – С. 15-26.
7. Андрашек И.В., Соколовский Я.И. Реологические свойства древесины твердых лиственных пород// Строение, свойства и качество древесины – 2000: материалы III Международного симпозиума. 11-14 сент. – 2000. – Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2000. – С. 113-114.
8. Колтунов М.А., Кравчук А.С., Майборода В.П. Прикладная механика деформируемого твердого тела. – М.: Высшая школа, 1983. – 349 с.
9. Поберейко Б.П. Узагальнення феноменологічних моделей реологічної поведінки деревини// Наук. вісник УкрДЛТУ: Зб. наук.-техн. праць. – Львів: УкрДЛТУ. – 1998, вип. 8.1. – С. 223-230.
10. Кристинсен Р. Введение в теорию вязкоупругости. – М.: Мир, 1974. – 268 с.
11. 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. Зб. наук.-техн. праць. – Львів: УкрДЛТУ. – 2002, вип. 27. – С. 73-77.
12. Савін Г.М. Вступ до механіки полімерів. – К.: КДУ, 1968. – 100 с.

УДК 621.928.9

Доц. В.П. Куц, канд. техн. наук – Тернопільський державний технічний університет ім. Івана Пулюя

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ БАТАРЕЙНОГО ЦИКЛОНА З ЖАЛЮЗІЙНИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ

Викладено методику розрахунку економічної ефективності використання створеного за задумом автора нового пиловловлюючого апарата і техніко-економічної оптимізації систем пилоочистки із застосуванням цього апарата.

Doc. V. Kuts – Ternopil State Technical University named after I. Pulyui

Technical-economical indexes of battery cyclone with jalousie elements

The method of computation of economic efficiency of the use of created apparatus is laid out by plan of author of new dust cleaner apparatus and technical-economical optimisation of the systems apparatus drank cleaning with application of this.

Постановка питання. Доцільність застосування нового обладнання у конкретних умовах виробництва визначається не лише його технічними показниками, визначеними у процесі досліджень за рекомендованими для такого