

Рекреационные оценки, рассчитанные в соответствии с модифицированной нами методикой, позволяют оценивать пригодность отдельного участка леса для разных видов рекреации и выбирать те из них, которые максимально отвечают требованиям определённого вида рекреационного использования (активный, тихий прогулочный отдых, солярии); сравнивать отдельные участки леса (в пределах лесничества или лесного хозяйства) по степени устойчивости к рекреационным нагрузкам; наиболее безопасным образом планировать рекреационную деятельность на территории лесничеств; составлять карты рекреационного потенциала леса на определённой территории и разрабатывать схемы функционального зонирования, планирования и обустройства лесных объектов в целях рекреации.

Литература

1. Репшас Э. Оптимизация рекреационного лесопользования (на примере Литвы). – М.: Наука, 1994. – 240 с.
2. Казанская Н.С., Ланина В.В., Марфенин Н.Н. Рекреационные леса (состояние, охрана, перспективы использования). – М.: Лесн. пром-сть, 1977. – 96 с.
3. Ромашов Н.В. Рекомендации по организации и ведению хозяйства при рекреационном использовании равнинных лесов. – Харьков: Изд-во НИИЛХА, 1987. – 24 с.
4. Тарасов А.И. Рекреационное лесопользование. – М.: Агропромиздат, 1986. – 176 с.
5. Генсирук С.А. Рекреационное использование лесов. – К.: Урожай, 1987. – 238 с.
6. Бельгард А.Л. Степное лесоведение. – М.: Лесн. пром-сть, 1971. – 336 с.
7. Курамшин В.Я. Ведение хозяйства в рекреационных лесах. – М.: Агропромиздат, 1988. – 208 с.
8. Солнцев Г.К., Король Л.Г., Маргашов А.С. Математико-статистический подход к оценке привлекательности лесных рекреационных ландшафтов// Лесное хозяйство. – 1990, № 5. – С. 25-27.
9. Чижова В.П. Рекреационные нагрузки в зонах отдыха. – М.: Лесн. пром-сть, 1977. – 48 с.
10. Природные аспекты рекреационного использования леса/ Под ред. Л.П. Рысина. – М.: Наука, 1987. – 167 с.
11. Мурлыкин В.А. Рекреационная устойчивость лесов лесостепи левобережной Украины: Дис. ... канд. биол. наук: 03.00.16. – К.: 1986. – 213 с.
12. Бондарь В.И. Влияние рекреации на широколиственные насаждения южной левобережной лесостепи УССР и пути повышения их устойчивости: Автореф. дисс. ... канд. с.-х. наук: 06.03.03. – Харьков, 1982. – 16 с.
13. Григорьева С.О. Основные направления развития рекреационного лесопользования// Лесное хозяйство. – 1990, № 5. – С. 22-25.

УДК 674.047

*Проф. П.В. Білей, д-р техн. наук; доц. Н.Д. Довга,
канд. фіз.-мат. наук; доц. С.Г. Сенік, канд. фіз.-мат. наук;
доц. Й.Л. Аїбєрґєр – НЛТУ України, м. Львів*

АНАЛІТИЧНИЙ МЕТОД РОЗВ'ЯЗАННЯ РІВНЯННЯ ВОЛОГОПРОВІДНОСТІ

Наведено аналітичний розв'язок рівняння вологопровідності для періодів постійної та спадаючої швидкості конвективного сушіння деревини.

*Prof. P.V. Biley; assoc. prof. N.D. Dovha; assoc. prof. S.H. Senyk;
assoc. prof. Y.L. Atsberger – NUFWT of Ukraine, L'viv*

Analytical method of decision of hydraulic conductivity equation

An analytical solution of hydraulic conductivity equation for periods of constant and retarding speed of convection wood drying was reduced.

Період постійної швидкості сушіння. Поділ процесу сушіння на два періоди спостерігається для всіх вологих тіл при м'яких режимах сушіння та коли $W_n > W_{кр}$. Наявність періоду постійної швидкості сушіння ще не є свідченням того, що інтенсивність випаровування з поверхні матеріалу j_c є тождешною з інтенсивністю випаровування з поверхні води j_e . Тільки у випадку рівності температур $t_{нов} = t_m$ інтенсивності $j_c = j_e$ також є однаковими. На практиці $j_c = (1,03 \dots 1,20) j_e$, за рахунок впливу огорожень сушарки (теплове випромінювання) на температуру поверхні матеріалу. Таким чином, інтенсивність сушіння в періоді постійної швидкості у більшості випадків порівнюють з інтенсивністю випаровування води з відкритої поверхні (при однакових режимах).

Для періоду постійної швидкості сушіння початковими умовами є $U_0 = W_0 = \text{const}$ на початку процесу, тобто при $\tau = 0$. Тоді

$$a_m \rho_0 (\nabla U)_n = B \cdot (P_m - P_n) = m, \quad (1)$$

де: m – інтенсивність сушіння; $(\nabla U)_n$ – градієнт вологості поверхні тіла, і граничні умови набувають вигляду $(\nabla U)_n + m / (a_m \rho_0) = 0$.

Диференціальне рівняння для необмеженої пластини буде мати вигляд

$$U = U_0 - \frac{m}{R \rho_0} \left[\tau - \frac{R^2 - 3x^2}{6a_m} + \frac{2R^2}{a_m} \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n \frac{1}{n^2 \pi^2} \cos \frac{n\pi x}{R} \exp \left(-n^2 \pi^2 \frac{a_m \tau}{R^2} \right) \right]. \quad (2)$$

При збільшенні тривалості сушіння τ значення суми в дужках стає малим і при $F'_0 = a_m \tau / R^2 > 0,54$ ним можна знехтувати, тобто

$$U = U_0 - \frac{m}{R \rho_0} \left(\tau - \frac{R^2 - 3x^2}{6a_m} \right). \quad (3)$$

Таким чином, при $F_0 > 0,5$ вологість в будь-якій точці пластини стає лінійною функцією, а розподіл вологості – параболічним.

Середня (інтегральна) вологість $\bar{W}$ для пластини

$$\bar{W} = \bar{U} = \frac{1}{R} \int_0^R U dx, \quad (4)$$

$$W = W_0 - \frac{100m}{R \rho_0} \tau = W_0 - N \tau, \quad (5)$$

де $N = 100m / (R \rho_0)$ – швидкість сушіння в період постійної швидкості (%/с); R – характерний лінійний розмір, $R = 0,5 \cdot S_1$ – половина товщини сортименту (пластини); $W_0 = W_n$ – початкова вологість матеріалу; ρ_0 – густина деревини в абсолютно сухому стані, кг/м^3 .

Отримане рівняння

$$W = W_0 - N\tau \quad (6)$$

є рівнянням кривої сушіння в період постійної швидкості сушіння (рівняння прямої) для будь-якого матеріалу будь-якої геометричної форми з великою поверхнею випаровування. Для малої поверхні F випаровування швидкість сушіння буде мати вигляд кривої лінії.

Залежність між інтенсивністю сушіння m в першому періоді і швидкістю сушіння N в загальному випадку має вигляд

$$N = \frac{100m \cdot F}{G_C}. \quad (7)$$

Розподіл вологості всередині матеріалу за тих самих граничних і початкових умов:

- для кулі

$$U = U_0 - \frac{m}{R\rho_0} \left(3\tau - \frac{3R^2 - 5r^2}{10a_m} \right); \quad (8)$$

- для необмеженого циліндра

$$U = U_0 - \frac{m}{R\rho_0} \left(2\tau - \frac{R^2 - 2r^2}{4a_m} \right), \quad (9)$$

де R – радіус кулі або циліндра.

З рівнянь (3) і (6) можна знайти вираз для першої критичної вологості (для пластини) при $U_{кр} = U_{rr}$ (границя гігроскопічності)

$$U_{кр} = U_0 - \frac{m}{R\rho_0} \left(\tau_1 + \frac{R^2}{3a_m} \right), \quad (10)$$

з якого

$$W_{кр} = 100 \left(U_{кр} + \frac{mR}{3a_m\rho_0} \right) = U_{кр} + \frac{NR^2}{3a_m}. \quad (11)$$

З наведеної вище формули видно, що значення критичної вологості залежить від режиму сушіння. Із збільшенням швидкості сушіння N і збільшенням товщини $S_1 = 2 \cdot R$ матеріалу значення критичної вологості збільшується, а підвищення коефіцієнта вологopровідності a_m веде до зменшення значення $W_{кр}$. Для товстих (і важковисихаючих) матеріалів критична точка настає раніше ніж для тонких (і швидко висихаючих), а при деяких товщинах вона може бути вищою ніж значення початкової вологості $W_n = W_0$, тобто на кривій сушіння ділянка, яка відповідає періоду постійної швидкості, відсутня.

Для кулі і необмеженого циліндра значення критичної вологості – $W_{кр}$

$$W_{кр} = U_{кр} + \frac{NR^2}{Ga_m}, \quad (12)$$

де G – поправка на геометричну форму: для кулі $G=5$; для циліндра $G=2$.

Період спадаючої швидкості сушіння. В період спадаючої швидкості інтенсивність сушіння j_n та інтенсивність теплообміну q_n з плином часу безперервно зменшуються. Зміна інтенсивності сушіння відбувається за складною закономірністю, яка визначається формою зв'язку вологи з матеріалом і механізмом переміщення тепла і вологи всередині матеріалу.

Для періоду спадаючої швидкості сушіння (від значення критичної вологості) початкові умови $\tau=0$ розподілу вологовмісту U

$$U = U_{\text{ц}} - \left(\frac{x}{R} \right)^2 (U_{\text{ц}} - U_n), \quad (13)$$

де x – віддаль від центральної осі до точки (у бік поверхні матеріалу), для кулі і циліндра це віддаль r .

Якщо періоду постійної швидкості сушіння немає, то при $\tau=0$, $U_0=W_0=const$, хоча і не завжди.

Гранична умова: $\rho_0 a_m (\nabla U)_n = B \cdot (P_m - P_n) = m$ також є справедливою, але тиск пари матеріалу P_m є функцією вологості і температури поверхні матеріалу (для колоїдних тіл) або коефіцієнт B буде залежати від вологості на поверхні матеріалу (для капілярнопористих тіл)

$$m = B \cdot (P_m - P_n) = \beta_C \rho_0 (U_n - U_p),$$

де β_C – коефіцієнт пропорційності (β_C – коефіцієнт вологообміну), який чисельно дорівнює інтенсивності вологообміну при різниці концентрацій вологи поверхні матеріалу і навколишнього середовища, яка дорівнює одиниці. Із зменшенням вологості в процесі сушіння коефіцієнт вологообміну збільшується.

В період спадаючої швидкості сушіння коефіцієнт вологопровідності a_m змінюється залежно від вологості за складним законом і розв'язати диференціальне рівняння вологопровідності неможливо. Розв'яжемо диференціальне рівняння вологопровідності приймаючи, що $a_m=const$ і $\beta_C=const$, тоді гранична умова $a_m \rho_0 (\nabla U)_n + \beta_C \rho_0 (U_n - U_p) = 0$

$$U - U_p = \sum_{n=1}^{\infty} A_n \left[(U_n - U_p) - 2(U_{\text{ц}} - U_n) \left(\frac{1}{HR} - \frac{1}{\mu_n^2} \right) \right] \times \cos \mu_n \frac{x}{R} \exp(-\mu_n^2 F_0'), \quad (14)$$

де $HR = \frac{\beta_C}{a_m} R$ – критерій Біо для вологопровідності;

Постійні A_n і характеристичні числа μ_n є функціями критерію Біо (їх перші два значення подано в табл. 1)

Табл. 1. Табличні дані постійних A і характеристичних чисел μ залежно від HR

HR	∞	11,43	5,67	3,73	2,14	1,00	0,70	0,36	0,09	0,00
μ_1	1,57	1,45	1,34	1,25	1,10	0,86	0,75	0,58	0,29	0,0
μ_2	4,71	4,35	4,09	3,90	3,67	3,42	3,35	3,25	3,17	3,14
A_1	0,81	0,87	0,90	0,93	0,95	0,99	0,99	0,99	0,99	1,0
A_2	0,090	0,086	0,070	0,056	0,034	0,012	0,007	0,002	0,0001	0,0

Рівняння (14) є рівнянням кривої сушіння в період спадаючої швидкості сушіння при постійних вологокоефіцієнтах (β_C , a_m), параболічному початковому розподілі вологості всередині матеріалу. Швидкість сушіння визначиться з рівняння

$$\frac{dw}{d\tau} = -\frac{a_m}{R^2} \sum_{n=1}^{\infty} A_n \mu_n \left[(U_n - U_p) - 2(U_{\text{ц}} - U_n) \left(\frac{1}{HR} - \frac{1}{\mu_n^2} \right) \right] \times \exp(-\mu_n^2 F_0'). \quad (15)$$

Рівнянням (15) можна описати теоретичні криві швидкості сушіння при різних значеннях критерію Біо. При розв'язанні рівнянь (14 і 15) прийнято скорочення dE/dF_0' – безрозмірна швидкість сушіння; E – безрозмірна вологість, яка видаляється $E = (W - W_p)/(W_{кр} - W_p)$. Ці величини знаходимо за допомогою рис. 1.

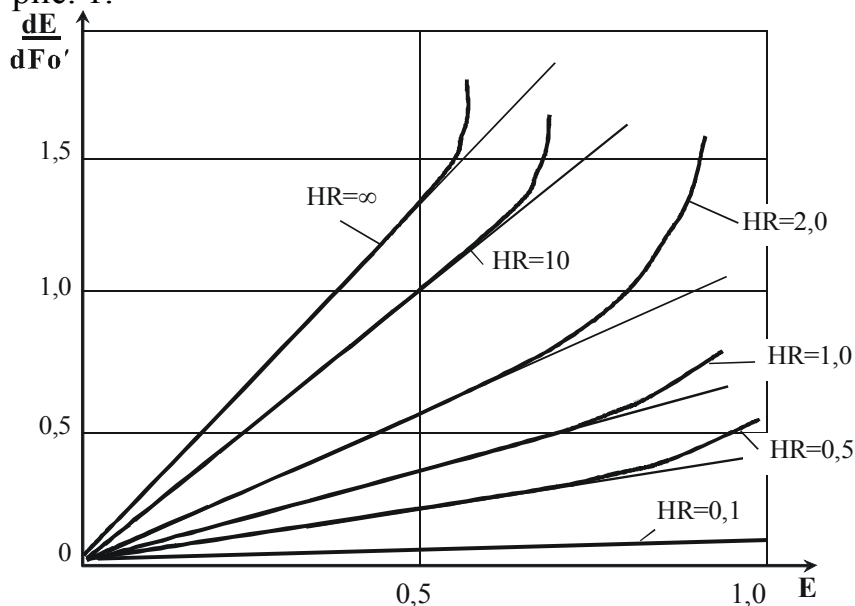


Рис. 1. Теоретичні криві швидкості сушіння при різних значеннях критерію Біо

Для рівномірного розподілу початкової вологості:

$$U_n = U_y = U_0 = W_{кр} = W_0.$$

Для параболічного розподілу початкової вологості, коли

$$U_{ц} = 2U_n; \quad W_{кр} = \frac{5}{3}U_n = \frac{5}{6}U_{ц}. \quad (16)$$

Значення E_1 , нижче від якого залежність між швидкістю сушіння і вологістю матеріалу можна прийняти за лінійну, наведено в табл. 2.

Табл. 2. Залежність величини E_1 від HR

HR	Величина E_1	
	при рівномірному розподілі початкової вологості $U_n = U_y = U_0$	при параболічному розподілі початкової вологості $U_0 = U_y - \left(\frac{x}{R}\right)^2 (U_y - U_n)$
0,1	1,00	1,00
0,5	0,90	0,98
1,0	0,80	0,93
2,0	0,70	0,83
10,0	0,60	0,75
∞	0,50	0,70

З рівняння (15) видно, що ряд швидко сходиться при малих значеннях τ , тобто при малих значеннях критерію Фур'є – F_0' можна обмежитись тільки першим членом ряду.

$$-\frac{dw}{d\tau} = \mu_1^2 \frac{a_m}{R_2} (W - W_p) \quad \text{при} \quad F_0' > F_{01}'. \quad (18)$$

Величині F'_{01} відповідає певне значення вологості, яка видаляється – E_1 , тому замість $F'_0 > F'_{01}$ можна записати $E < E_1$. Характеристичне число μ_1 визначається з характеристичного рівняння:

$$\frac{\mu_1}{HR} = \operatorname{ctg} \mu_1 \approx \frac{1}{\mu_1} - \frac{\mu_1}{3}, \quad \text{звідки} \quad \frac{1}{\mu_1^2} = \frac{1}{3} + \frac{1}{HR}.$$

Як показують розрахунки, кращого наближення надає залежність $\frac{1}{\mu^2} = \frac{4}{\pi^2} + \frac{1}{HR}$, тоді кінцево отримуємо рівняння кривої сушіння

$$-\frac{dw}{d\tau} = \frac{a_m}{R^2} \left(\frac{1}{\frac{4}{\pi^2} + \frac{1}{HR}} \right) (W - W_p). \quad (19)$$

Розв'язок отриманого рівняння кривої сушіння (19) навіть для простої форми і з прийнятими спрощеннями є дуже складним, тому застосовують графоаналітичний метод.

Література

1. Білей П.В. Теоретичні основи теплового оброблення і сушіння деревини (Монографія). – Коломия.: Вік, 2005–364 с.
2. Лабай В.Й. Тепломасообмін: Підручник. – Львів: Тріада Плюс, 1998. – 260 с.
3. Лыков А.В. Теория сушки. – М.-Л.: Госэнергоиздат, 1950. – 416 с.
4. Шубин Г.С. Сушка и тепловая обработка древесины. – М.: Лесн. пром-сть, 1990. – 336 с.

УДК 004.451(86)

Ст. наук. співроб. Я.Г. Братівник, канд. техн. наук –
Львівський ДІНТіУ ім. В. Чорновола

ТРИЗНАЧНЕ ЧИСЛО ТА ЙОГО ЗОБРАЖЕННЯ В ОБЧИСЛЮВАЛЬНІЙ ТЕХНІЦІ

Досліджено одну з фундаментальних властивостей цілих чисел, яка має назву *властивість "дзеркальної симетрії"* і виникає при їх представленні в трійковій "золотій" системі числення. Ця властивість є фундаментально відмінною особливістю тільки цілих чисел – додатних і від'ємних. Систему числення можна використовувати в комп'ютерах для представлення цілих чисел у трійковій "золотій" системі, а також для контролю за виконанням арифметичних операцій.

Senior research worker Ya.G. Brativnyk – L'viv state institute of the newest technologies and management after V. Chornovola

Three-gigit number and his image in computing engineering

Investigational one of fundamental properties of integers, which has the name *property of "mirror symmetry"* and arises up at their presentation in the трійковій "gold" scale of notation. This property is fundamentally an excellent feature only integers – positive and negative. The scale of notation can be utilized in computers for presentation of integers in the трійковій "gold" system, and also for control after implementation of arithmetic operations.