

2. **SolidWorks.** Компьютерное моделирование в современной практике / Алямовский А.А., Собачкин А.А., Одинцов Е.В. и др. – СПб. : БХВ-Петербург, 2005. – 800 с.

3. **Лойцянский Л.Г.** Механика жидкости и газа. – М. : Изд-во "Наука", Гл. ред. физ.-мат. лит-ри, 1978. – 736 с.

УДК 674.048

Проф. І.М. Озарків, д-р техн. наук; доц. В.С. Джигирей, канд. техн. наук; доц. М.С. Кобринович, канд. фіз.-мат. наук; асист. З.П. Копинець; студ. О.І. Озарків – НЛТУ України, м. Львів

ПРО ЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ПРОПУСКАННЯ ІЧ-ПРОМЕНІВ У ТЕПЛОМАСООБМІННИХ ПРОЦЕСАХ

Розкрито значення спектральних терморадіаційних характеристик деревини у процесах сушіння. Показано вплив різних чинників на коефіцієнт пропускання.

Prof. I.M. Ozarkiv; assoc. prof. V.S. Jigirei; assoc. prof. M.S. Cobrinovich; eng. Z.P. Kopynets; stud. O.I. Ozarkiv – NUFWT of Ukraine, L'viv

About the role of coefficient of admission of infra-red rays in heat and mass exchange processes

The role of spectral thermoradiational characteristics descriptions of wood have been in the processes of drying. Influence of different factors have been shown on the coefficient of admission.

Відомо [1], що пропускна спроможність деревини (коефіцієнт пропускання D_λ) є значною, оскільки вона визначає інтенсивність сушіння і механізм тепломасообмінного процесу загалом.

Аналіз полів опромінення у промислових інфрачервоних (ІЧ) сушильних установках показує, що в таких установках проходить опромінення змішаним дифузійно-спрямованим потоком променів об'єктів сушіння (наприклад, лущеного та струганого шпону).

Коефіцієнт пропускання D_λ , як одна із терморадіаційних характеристик, визначає властивість тіла частково або повністю пропускати випромінювання, яке падає на нього.

Наші дослідження [2] показали, що деревина, як типовий світлорозсіювальний матеріал, володіє селективністю спектральних коефіцієнтів відбивання R_λ , пропускання D_λ і поглинання A_λ . Крім цього, в ближній ІЧ-області спектра ($\lambda=0,76-2,5$ мкм) деревина має максимальні значення R_λ і D_λ та мінімальні значення поглинання A_λ . Крім цього, коливання густини деревини істотно не впливає на величини цих коефіцієнтів, а збільшення товщини опроміненого шару в цій області приводило до збільшення R_λ і зменшення D_λ .

Наявність вологи в деревині буде вносити істотні зміни в спектри відбивання, пропускання і поглинання деревини загалом. Зокрема, наявність зв'язаної води у деревині ($W \leq 30\%$) буде викликати появу досить широких смуг поглинання біля довжини хвиль, які відповідають частотам основних молекул води і менш інтенсивних поблизу довжин хвиль, що відповідають частотам обертонів та їх комбінаціям. Наприклад, у спектрах R_λ , D_λ і A_λ рідкої води мають місце смуги поглинання поблизу довжин хвиль 0,75; 0,85; 0,98;

1,18; 1,44; 1,93; 2,92; 4,74; 6,12 і 15 мкм. Смуги поглинання поблизу 0,98; 1,18; 1,44; 2,11; 2,32; 2,52; 2,92; 5,82 і 6,12 мкм виявлені в спектрах навіть абсолютно сухих зразків деревини, що пов'язано із присутністю гідроксильних груп ОН, включених у водневий зв'язок молекул цієї речовини. Своєю чергою, під час зволоження деревини з'являються додаткові смуги поглинання поблизу довжин хвиль 1,93 та 4,74 мкм. Останні вказують на те, що ці смуги поглинання характеризують коливання тільки адсорбованих молекул води у деревині [1].

Через те, що в діапазоні $W=0-30\%$ R_λ , D_λ і A_λ мало залежать від породи, то залежності цих коефіцієнтів можна використовувати для розроблення оптичного методу контролю вологості для висушування деревини до певної кінцевої вологості.

На рис. 1 показано залежність зміни коефіцієнта пропускання від довжини хвилі для різних товщин деревини червоного дерева і бука карпатського [1], з якого видно, що із збільшенням товщини коефіцієнт пропускання зменшується. Останнє пояснюється тим, що внаслідок проникнення ІЧ-променів у деревину при більшій товщині матеріалу у відбиванні беруть участь більше мікро- й макроелементів деревинної речовини (як показали наші дослідження [2] залежно від породи при товщині 1,80 мм і вище).

Через те, що в області $\lambda=0,76-1,25$ мкм чиста вода практично не поглинає випромінювання і має мале відби-

вання ($R_\lambda=0,022-0,024$) і володіє значним пропусканням, то вона не буде значно впливати на величину коефіцієнта пропускання деревини (рис. 2). Із рис. 2 видно, що поглинання водою зростає із збільшенням товщини опроміненого шару, тобто із збільшенням маси води по мірі шляху проходження інфрачервоного випромінювання.

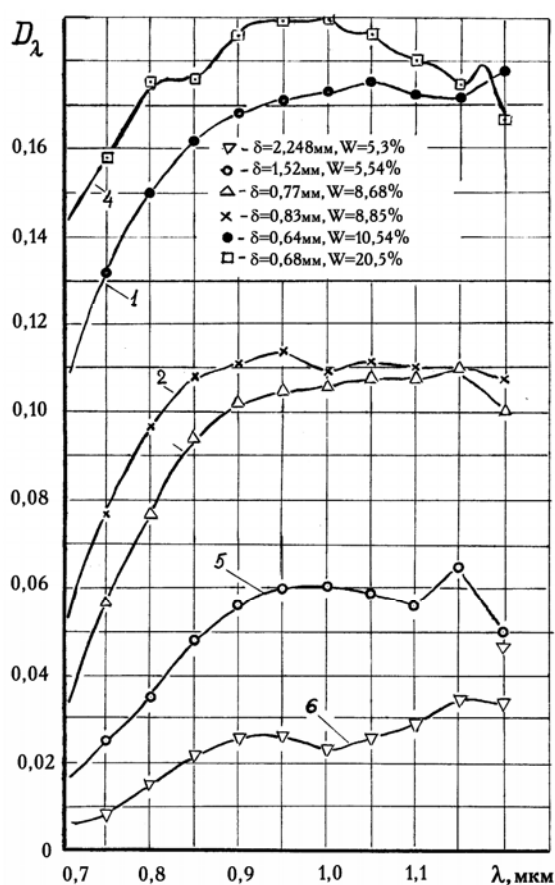


Рис. 1. Залежність коефіцієнта пропускання від довжини хвилі для червоного дерева (1, 2, 3) і бука карпатського (4, 5, 6) [1]

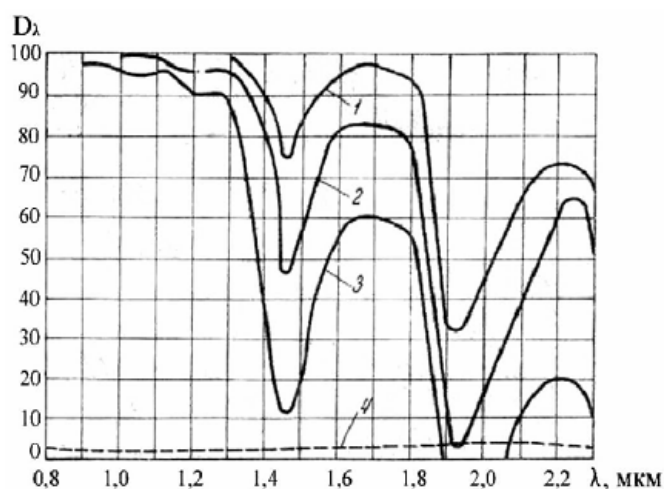


Рис. 2. Залежність коефіцієнта пропускання D_λ (%) від довжини хвилі λ (мкм) при різних товщинах шару: 1-0,10 мм; 2-0,3 мм; 3-1,0 см; 4 – спектр відбивання

Коефіцієнт пропускання для однорідних (ізотропних) матеріалів визначається за законом Бугера, тобто

$$D_S = D_0 \cdot \exp(k_\lambda \cdot S), \quad (1)$$

де: D_S – коефіцієнт пропускання шару товщиною S ; D_0 – коефіцієнт пропускання на поверхні шару ($S \rightarrow 0$); k_λ – коефіцієнт ослаблення потоку променів за рахунок поглинання та розсіювання випромінювання деревинною речовиною. На рис. 3 і 4 наведено залежності пропускання від довжини хвилі λ_{max} і товщини матеріалу, побудованими за даними роботи [3].

Умови прийнятності застосування закону Бугера для монохроматичного випромінювання ($\lambda = \text{const}$) будуть визначатися співвідношенням

$$\ln \frac{D_S}{D_0} = -B_{\lambda} \cdot \ln e, \quad (2)$$

тобто, коли буде мати місце прямолінійного зв'язку між $\ln D_S / D_0$ і товщиною S матеріалу.

Математичне оброблення експериментальних даних [4], дало змогу цим авторам отримати рівняння виду

$$D_S = 38,4 \cdot \exp \left(-3,14 \cdot \sqrt{\lambda} \cdot S^{\frac{\sqrt{2}}{2}} \cdot \frac{\rho_0}{1540} \right), \quad (3)$$

для визначення коефіцієнта пропускання для різних порід деревини у діапазоні хвиль 1,0-7,65 мкм.

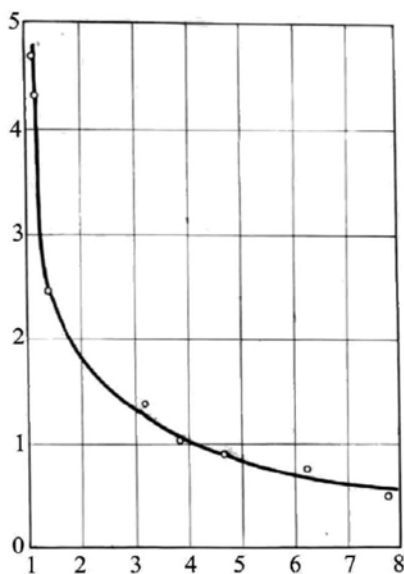


Рис. 3. Залежність коефіцієнта пропускання D (%) сухої деревини (сосни) від довжини хвилі λ_{max} (мкм)

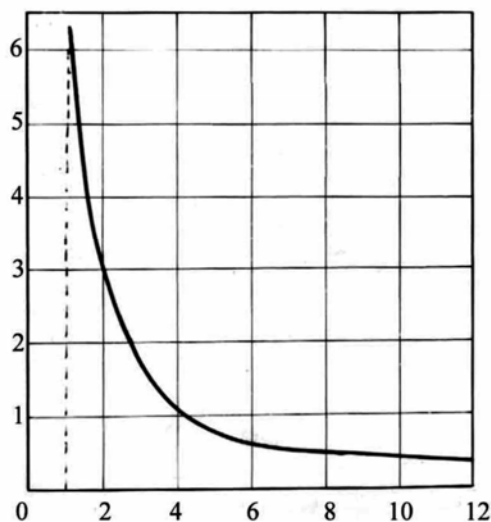


Рис. 4. Залежність коефіцієнта пропускання D (%) деревини сосни від товщини матеріалу S (мм)

У роботі [5] наведено результати досліджень глибини проникнення інфрачервоних променів ($\lambda_{max}=3,31-3,33$ мкм) від вологості деревини для різних порід (смереки, ялини, ясена, бука, дуба та явора). Графічні залежності наведено на рис. 5-7. Отримані результати свідчать, що зі збільшенням вологості глибина проникнення зменшується. При цьому в діапазоні $W=25-30$ % має місце

стрибоподібна зміна залежності, тобто район точки насичення волокна деревини є районом стрибоподібної зміни адсорбційних властивостей деревини.

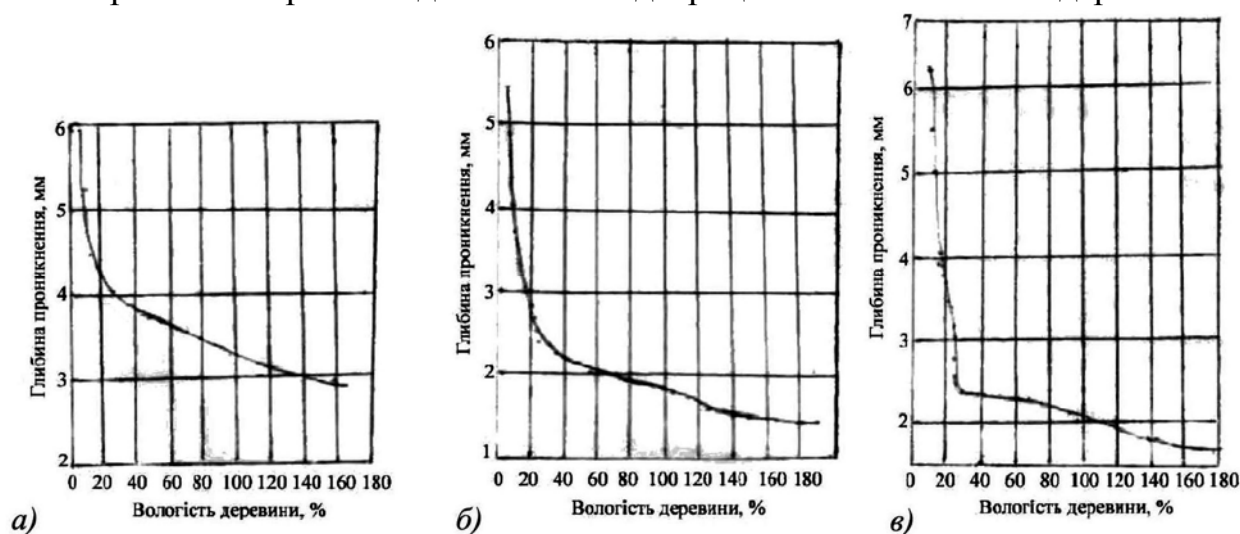


Рис. 5. Залежності глибини променів h_λ (мм) від вологості [5]:

а – смереки; б – ялиці; в – ясена

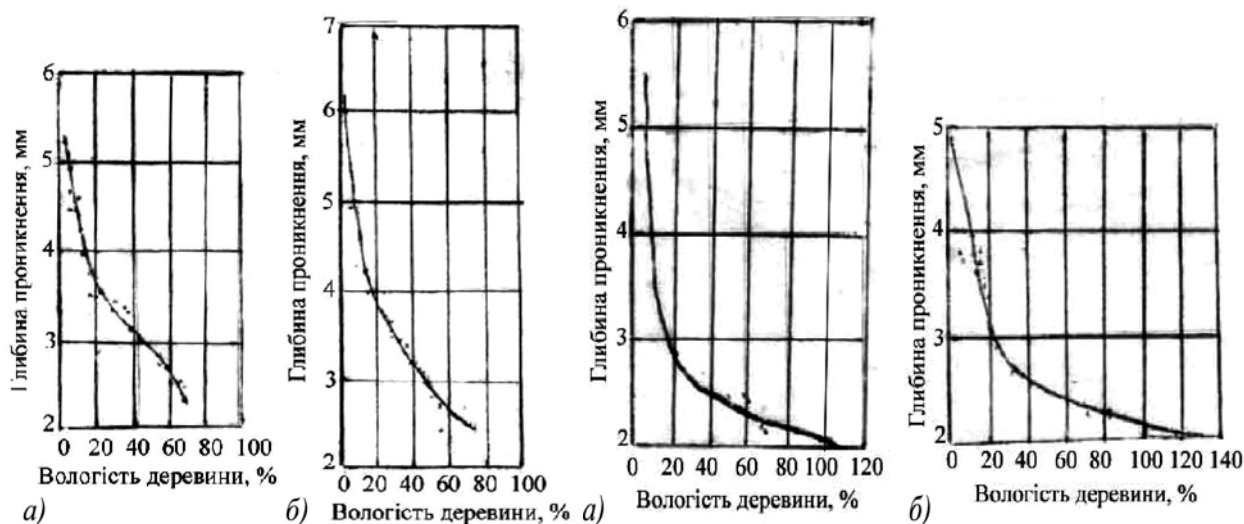


Рис. 6. Залежність глибини проникнення h_λ (мм) ІЧ-променів ($\lambda=3,31-3,33$ мкм) від вологості за даними Ис. Младенова та Св. Ніколова [5]: а – дуба; б – ясена

Рис. 7. Залежність глибини проникнення h_λ (мм) від вологості для $\lambda_{max}=3,31-3,33$ мкм за даними Ис. Младенова та Св. Ніколова [5]: а – бука; б – явора

Порівняльний аналіз отриманих графічних залежностей між глибиною проникнення (h_λ) і вологістю (W) дозволив авторам [5] розділити досліджувані породи на три групи:

- *перша група* – деревина бука і явора, для яких виражена чітко зворотнообернена залежність між h_λ і W деревини (глибина проникнення змінювалась від 5 до 2 мм);
- *друга група* – дуб і ясен, для яких залежність між h_λ і W має більш різкіший характер поблизу точки насичення, як до так і після; при цьому існує стрибоподібний характер зміни глибини проникнення та адсорбційних властивостей (глибина проникнення для деревини дуба змінювалась у діапазоні 5,2-3,0 мм, а ясена – 6,15-2,4 мм). Зауважимо, що у точці насичення волокна глибина проникнення ІЧ-променів становила для дуба – 3,32 мм, а ясена – 3,64 мм;
- *третю групу* за приблизно однаковими адсорбційними властивостями створюють ялиця, смерека та осика. При зміні вологості деревини у діапазоні 10-

180 % глибина проникнення варіювала відповідно: для ялини – 5,42-1,40 мм, смереки (ялиці) – 5,90-2,90 мм, осики – 6,3-1,64 мм. У точці насичення волокна глибина проникнення становила: для смереки – 2,05 мм, ялиці – 3,90 мм і осики – 2,32 мм.

Таким чином, із рис. 5...7 видно, що між глибиною проникнення і вологістю існує обернено пропорційна залежність. Встановлено [2], що із збільшенням густини деревини глибина проникнення у неї інфрачервоного випромінювання зменшується. Своєю чергою, коефіцієнт відбивання визначається кількістю деревини, що бере участь у відбиванні. Тому, якщо би при так званому "оптично безмежно товстому" шарі ($D_\lambda \approx 0$) із збільшенням густини деревини глибина проникнення залишилась постійною (про що підтвердили дослідження [2, 3]), то коефіцієнт R_λ повинен зростати прямо пропорційно щодо густини. Звідси витікає, що якщо ж глибина проникнення зменшується обернено пропорційно густині, то кількість деревини, що відбиває потік ІЧ-випромінювання, повинна залишатися постійною.

Таким чином, проходить авто компенсація залежності між h_λ і ρ , тобто

$$h_\lambda \cdot \rho = const. \quad (4)$$

Інакше кажучи, маса води, що знаходиться в певному об'ємі, буде пропорційна вологості, тобто

$$M_g = K \cdot W \cdot h_\lambda \cdot \rho, \quad (5)$$

де $K = \frac{F_{onp}}{100}$, F_{onp} – площа опроміненого матеріалу.

Власне через це, що зі збільшенням густини деревини коефіцієнт відбивання незначно зростає (зі збільшенням густини деревини у 3,5 раза коефіцієнт R_λ зростає всього на 10 %), то за "безмежно товстого шару" деревини залежність рівняння (5) можна записати

$$M_g = K_1 \cdot W, \quad (6)$$

$$де \quad K_1 = \frac{F_{onp} \cdot h_\lambda \cdot \rho}{100} = const. \quad (7)$$

Таким чином, залежність (6) може слугувати як базова для розроблення методу ІЧ-спектроскопії з контролю біжучої вологості деревини у процесі її сушіння.

Література

1. **Діагностика властивостей деревини** в технологічних процесах деревообробки: монографія / за ред. І.М. Озарківа/ – Львів : Вид. дім "Панорама", 2003. – 228 с.
2. **Озарків І.М.** Спектрофотометрические и поляризационные характеристики древесины : дисс. на соискание ученой степени канд. техн. наук. – Львов, 1989. – 256 с.
3. **Долацис Я.Д., Ильясов С.Г.** Исследование оптических свойств древесины в инфракрасной области спектра // Лесной журнал. – Архангельск, 1969. – № 3. – С. 32-36.
4. **Янсон О.І., Книш В.А.** Пропускна здатність деревини в інфрачервоній зоні спектра. // Лісова, паперова і деревообробна промисловість : міжвід. наук.-техн. зб. – К. : Будівельник, 1972. – С. 159-164.
5. **Младенов Ис., Николов Св.** Влияние на влажностита на дървесината върху дълбогината на проникване на инфрачервената светлина // Научни трудове: Механична технология на дървесината. – София : Земиздат, 1970. – Т. 17. – С. 31-36.