

Основні характеристики досліджуваних матеріалів приводяться для різних груп газопроникних листових об'єктів, які відрізняються за природою зв'язку вологи з матеріалом і особливостями структурної модифікації.

До першої групи відносяться капілярно–пористі матеріали (макропористі), що характеризується рівномірною структурою (різного виду шерстяні матеріали і об'єкти виготовлені із хімволокна).

До другої групи віднесені листові капілярно – пористі колоїдні матеріали однорідної мікропористої структури (листові картони, азбести).

До третьої групи – капілярно–пористі матеріали неоднорідної структури – капілярно – пориста структура окремих елементів і наявність каналів між ними (різного роду текстильні матеріали)).

Матеріали першої групи характеризуються тим, що їх товщина значно перевищує діаметр окремого волокна ($H \gg d$). Наприклад, для виробу з товщиною стінки $60 \cdot 10^{-3}$ м діаметр волокон становить $25 \cdot 10^{-6}$ м. Матеріали першої групи характеризуються такими основними параметрами: вільний об'єм змінюється в межах $\epsilon = 0.6-0.92$ питома поверхня $a = 67000 \div 45100 \text{ м}^2/\text{м}^3$; приведена густина $\rho = 171-561 \text{ кг/м}^3$; еквівалентний діаметр $d_{\text{екв}} = (0,71 \div 4,61) \cdot 10^{-5} \text{ м}$; коефіцієнт проникності $K_n = (0,54 - 44) \cdot 10^{-11} \text{ м}^2$.

Коефіцієнт проникності [3] для всіх матеріалів визначений при одній швидкості і дозволяє більш повно охарактеризувати структуру газопроникного об'єкту і, в першу чергу, наскрізну пористість.

Для матеріалів другої групи [4] коефіцієнт проникності змінюється в межах $K_n = 0,3 \cdot 10^{-12} \div 4 \cdot 10^{-14} \text{ м}^2$; еквівалентний діаметр $d_{\text{екв}} = 3 \cdot 10^{-6} \div 1,8 \cdot 10^{-8} \text{ м}$; питома поверхня $a = 6 \cdot 10^6 \div 18,9 \cdot 10^7 \text{ м}^2/\text{м}^3$.

Матеріали третьої групи характеризуються найбільшим значенням коефіцієнта проникності $K_n = 2,7 \cdot 10^{-9} \div 1,9 \cdot 10^{-10} \text{ м}^2$; еквівалентний діаметр для них $d_{\text{екв}} = 0,2 \cdot 10^{-5} \div 5,1 \cdot 10^{-5} \text{ м}$; питома поверхня $a = 7,1 \cdot 10^4 \div 2 \cdot 10^6 \text{ м}^2/\text{м}^3$.

Як випливає із наведених результатів досліджень трьох груп матеріалів (всього 34 матеріали), найбільшою проникністю і найбільшим еквівалентним діаметром характеризуються матеріали першої групи, а найменшими – матеріали другої групи, хоча вони мають найбільшу питому поверхню.

Гідравлічний опір матеріалів і кінетика фільтраційного сушіння залежать не тільки від їх природи, а значною мірою – від структурних особливостей.

Кінетика сушіння матеріалів першої групи характеризується наявністю періоду механічного витіснення і винесення, умовними першим і другим періодами. Швидкість сушіння таких матеріалів фільтраційним методом в десятки – сотні раз перевищує їх швидкість сушіння конвективним методом [4].

Матеріали другої групи – типові капілярно–пористі колоїдні об'єкти значно відрізняються механізмом сушіння від матеріалів першої групи і кінетична крива характеризується періодом сповільненого сушіння, незначним першим і значним в часі другим умовними періодами. Механічне витіснення і винесення вологи відсутнє. Тривалість процесу однакових за товщиною матеріалів першої і другої груп істотно відрізняється. Час сушіння капілярно – пористих колоїдних матеріалів другої групи, при всіх решта однакових умовах значно перевищує час сушіння капілярно – пористих матеріалів першої групи.

Матеріали третьої групи займають проміжне значення за кінетичними особливостями сушіння між матеріалами першої і другої груп. Кінетична крива характеризується наявністю умовних першого і другого періодів, але відсутній як період механічного витіснення, так і період сповільненого сушіння.

Кількісною характеристикою швидкості сушіння матеріалів усіх трьох груп є коефіцієнт "а", який входить в рівняння кінетики сушіння в першому умовному періоді [4] $W/W_0 = 1 - \alpha \cdot \tau \cdot e^{-aH}$, де W – поточна вологість, %; W_0 – початкова вологість, %, α – кінетичний коефіцієнт, який залежить від гідродинамічних умов і температури теплоносія, $1/\text{с}$; τ – поточний час сушіння, с; "а" – кінетичний коефіцієнт, який залежить від природи і структури матеріалу, $1/\text{м}$; H – товщина стінки матеріалу, м.

В таблиці наведені середні значення кінетичного коефіцієнта "а" для різних груп матеріалів, які підтверджують взаємозв'язок швидкості сушіння з структурними характеристиками і природою зв'язку вологи з матеріалом.

Табл. Середні значення кінетичного коефіцієнта "а"

Матеріал	а, 1/м
I група	0,058
II група	1,91
III група	0,12

З наведених результатів досліджень і їх аналізу можна зробити висновок, що при організації високоефективного фільтраційного процесу сушіння листових газопроникних матеріалів необхідно визначати не тільки параметри теплоносія, але і структурні характеристики об'єкту, що висушується, природу його зв'язку з вологою, що тісно пов'язано з механізмом фільтраційного сушіння.

Література

1. Коллінз Р. Течение жидкостей через пористые материалы. – М.: Мир. – 1964. – 351 с.
2. Проблемы теории и практики исследования в области катализа /Под общей редакцией В.А. Ройтера. / – К.: Наук. думка. – 1973. – 362 с.
3. Левинський Б.Ф., Лещій Н.П. Основи підземної гідраліки. – Львів: Видав. Львівського ДУ. – 1958. – 231 с.
4. Ханьк Я.Н. Фильтрационная сушка плоских пористых материалов.: Автореферат дис. док. тех. наук. – Львів, 1992. – 36 с.

УДК 674.047

Проф. П.В. Білей, д.т.н.; інж. Ю.І. Зарева – УкрДЛТУ;
інж. В.П. Селедець – Кременецький лісотехнікум

ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ОБЛАДНАННЯ ТА ТЕХНОЛОГІЇ СУШІННЯ ПИЛОМАТЕРІАЛІВ

Обґрунтовано вибір технології сушіння пиломатеріалів залежно від вимог до обладнання, породи деревини, розмірів пиломатеріалів та їх призначення.

Prof. P.V. Bilej; eng. Yu.I. Zarewa – USUFWT; eng. V.P. Seledets

The substantiation of selection of the equipment and know-how of drying of saw-timbers

The selection of know-how of drying of saw-timbers is justified depending on the requirements up to the equipment, rock of timber, sizes of saw-timbers and their assigning.

Вибір сушильних камер при проектуванні нових і реконструкції існуючих підприємств – це задача, яка вимагає врахування профілю підприємства, його виробничої потужності, характеристики продукції та інших умов. Тут потрібно:

- обґрунтовано вибрати принцип дії сушарки (періодичної або безперервної дії);
- оцінити доцільність і економічність прийнятого джерела теплопостачання та сушильного агента;
- прийняти раціональний конструктивний варіант сушарки.

Доцільність застосування камер періодичної або безперервної дії визначається головним чином профілем підприємства та його виробничою потужністю. За особливостями сушіння пиломатеріалів деревообробні підприємства можна розділити умовно на дві групи: підприємства, для яких пиломатеріали (дошки і заготовки) є готовою продукцією та підприємства, для яких пиломатеріали є сировиною для виготовлення готових виробів з деревини. На підприємствах першої групи пиломатеріали сушать, як правило, до транспортної вологості (18-20 %) та використовують сушарки безперервної дії. На підприємствах другої групи пиломатеріали сушать до експлуатаційної вологості (7-12 %) та використовують сушарки періодичної дії. Крім того, камери безперервної дії доцільно застосовувати для сушіння великих об'ємів (більше 20 тис. м³ за рік) однорідного за породою і розмірами матеріалу. Сушарки періодичної дії застосовують для малих об'ємів (до 20 тис. м³ за рік) та широкого асортименту (більше шести найменувань) матеріалу. В камерах періодичної дії можна досягти якості, сушіння вищої, ніж в сушарках безперервної дії.

Джерелом теплопостачання сушильних камер може бути водяна пара і нагріта вода (повітряні та пароповітряні сушарки), топкові гази від спалювання твердого палива (дров, відходів) і газу. При виборі джерела теплопостачання необхідно перш за все оцінити витрати на теплову енергію. Вибираючи тип сушарки за джерелом теплопостачання необхідно визначати якість висушуваних пиломатеріалів. Наприклад, при сушінні топковими газами поверхня матеріалу може забруднюватися; при застосуванні високотемпературних і форсованих режимів змінюється колір і міцність деревини, при сушінні в камерах з аеродинамічним підігрівом повітря необхідно застосовувати зволоження матеріалу для зняття внутрішніх напруг.

Раціональність тієї чи іншої конструкції сушарки, в межах обраного типу, визначається порівняльною інтенсивністю і рівномірністю просихання матеріалу. При різних інших умовах вони залежать від рівномірності циркуляції сушильного агента та рівномірності розподілу його температурно-вологісного поля. За результатами досліджень, проведених в УкрДЛТУ отримані допустимі значення коефіцієнтів нерівномірності кінцевої вологості пиломатеріалів (v_w , %) нерівномірності розподілу температурного поля в камері (v_b , %) та нерівномірності розподілу агента сушіння (v_{ω} , %), які наведено в табл. 1

Як видно з табл. 1 між значеннями (v_i) існує певний зв'язок.

$$v_i = 0,5 v_{\omega}; v_w = 2,25 v_i; v_w = 1,25 v_{\omega}$$

Сушіння пиломатеріалів в камерах може здійснюватись в дошках або заготовках. Сушіння в дошках (порівняно з сушінням в заготовках) має такі переваги:

- краще використовується деревина, підвищується корисний вихід при випилюванні заготовок з сухих дощок;

- зменшуються витрати робочої сили на формування і розбирання штабеля та його транспортування;
- покращуються умови механізації трудомістких операцій і можливе збільшення габаритів штабеля.

Табл. 1. Допустимі значення відхилення коефіцієнту нерівномірності

Показники	Середня кінцева вологість, $\overline{W}_k$, %	Допустимі значення σ , та V_i для категорії якості		
		I	II	III
Допустимі відхилення від кінцевої вологості $[\Delta \overline{W}_k] = \sigma_w$, %	7	$\pm 1,0$ %	$\pm 1,5$ %	-
	10	$\pm 1,5$ %	$\pm 2,0$ %	$\pm 3,0$
	15	-	$\pm 3,0$ %	$\pm 4,0$
Допустима нерівномірність розподілу кінцевої вологості v_w , %	7	15,0 %	20,0 %	-
	10	15,0 %	20,0 %	30,0 %
	15	-	20,0 %	30,0 %
Допустима нерівномірність розподілу температурного поля v_b , %	7	6,0 %	8,0 %	-
	10	6,0 %	8,0 %	12,0 %
	15	-	8,0 %	12,0 %
Допустима нерівномірність розподілу агенту сушіння v_{ω} , %	7	12,0 %	16,0 %	-
	10	12,0 %	16,0 %	24,0 %
	15	-	16,0 %	24,0 %

Сушіння в заготовках має ту перевагу, що при однаковій витраті пари і електроенергії продуктивність сушарок зростає в 1,3...2,5 рази в перерахунок їх об'єму на дошки. Однак, сушіння в заготовках має ряд істотних недоліків:

- збільшується (майже в 2 рази) потреба в робочій силі на завантажувально-розвантажувальні роботи,
- збільшується небезпека появи торцевих тріщин, що призводить до зайвих витрат деревини або припусків на обрізку по довжині;
- погіршується планування роботи камер у зв'язку з тим, що при сушінні в заготовках значно зростає їх асортимент.

Таким чином, якщо підприємство достатньою мірою забезпечене тепловою енергією та має достатню кількість сушарок, пиломатеріали краще сушити у виді дощок.

Раціональне проведення технологічного процесу сушіння пиломатеріалів тісно пов'язане з методами оптимізації та критеріями ефективності: технічними, технологічними та економічними.

До *технічних* критеріїв оптимізації необхідно віднести показники, які характеризують технічну сторону сушарок: продуктивність (за тривалістю процесу – τ); рівномірність циркуляції агента сушіння v_{ω} , %; коефіцієнт використання сушильного агента – η_v ; рівномірність температурного поля – v_b , %; коефіцієнт корисної дії сушарки – η_k .

До *технологічних* критеріїв оптимізації необхідно віднести показники, які характеризують інтенсивність процесу сушіння та якість висушуваного матеріалу: відповідність середньої кінцевої вологості пиломатеріалів в камері заданому значенню – $\overline{W}_k$, %; величина відхилень вологості окремих дощок (заготовок) від середнього значення $[\Delta \overline{W}_k] = \sigma_w$, %; перепад вологості по товщині матеріалу – ΔW_s , %; наявність залишкових внутрішніх напружень – f_{σ} ; збереження фізико-

механічних показників деревини після сушіння – K_6 ; інтенсивність (швидкість) процесу сушіння – I_w , %/с.

До **економічних** критеріїв необхідно віднести показники, які узагальнюють дію технічних та технологічних критеріїв на процес сушіння: енергомісткість процесу; вихід продукції (наявність дефектів, браку, пересортування); обіговість оборотних засобів; собівартість процесу сушіння.

Вибір технології сушіння пиломатеріалів базується на представлених вище критеріях оптимізації. Центральним аспектом технології сушіння є режими сушіння, які призначають залежно від породи деревини, розмірів (товщини і ширини пиломатеріалів), їх призначення, початкової і кінцевої вологості та багатьох інших факторів.

УДК 66. 045 Аспір. Д.П. Кіндзера; проф. Я.М. Ханик д.т.н.; доц. В.М. Атаманюк, к.т.н.; асист. Л.З. Білецька, к.т.н. – НУ"Львівська політехніка"

ОСОБЛИВОСТІ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ ПОРИСТИХ ЗЕРНИСТИХ МАТЕРІАЛІВ

Вивчена кінетика сушіння дисперсного матеріалу-торфу у щільному шарі при русі теплоносія в напрямку зовнішня поверхня шару → перфорована перегородка.

D. Kindzera, prof. Ya. Hanyk, doc. V. Atamanuk, L. Bylecka – NU "Lviv'ska Politekhnikha"

The process of drying the porous of grain materials

The kinetic of drying of the disperse material – the peat in the dense layer was fought.

Сушіння зернистих матеріалів у щільному шарі має свої особливості, які пов'язані як із структурною модифікацією шару в цілому, так і з структурними розмірами та формою окремих частин. Разом з тим, як показали наші дослідження, є аналогія, а іноді й дуже близька, між сушінням дисперсного матеріалу у щільному шарі при русі теплоносія "шар матеріалу → перфорована перегородка" і сушінням листових газопроникних матеріалів різної структурної модифікації. Сушіння у щільному шарі залежно від розміру частин їх форми і фізико-хімічних властивостей можна розглядати і як фільтраційне сушіння, і як власне сушіння у щільному шарі. Може мати місце випадок коли сушіння у щільному шарі має змішаний характер за своїм механізмом, тобто є ознаки як чисто фільтраційного процесу на рівні листових капілярно-пористих колоїдних, так і ознаки сушіння у щільному шарі (шар, що складається з полідисперсних частин, кожна з яких має свою внутрішню структуру).

Але в усіх трьох випадках сушіння дисперсного матеріалу у щільному шарі при вказаному напрямку руху теплоносія (шар матеріалу – перфорована перегородка) швидкість процесу і його ефективність значно перевищують аналогічні показники при сушінні дисперсних матеріалів іншими методами [1].

Особливу проблему становить сушіння дисперсного матеріалу, який широко застосовується промисловістю як тверде паливо – торфу [2]. В даний момент у більшості випадків торф сушиться у пневмосушарках і на реалізацію процесу

витрачається приблизно 50 % сухої маси (як попутне паливо), яка пройшла стадію зневоднення [3]. Це призводить, з однієї сторони до величезних питомих енергетичних затрат, нерівномірності висихання окремих частин при значній тривалості процесу сушіння, а з другої сторони – забруднення доквілля як продуктами горіння, так і твердою дрібнодисперсною фазою, що утворюється у процесі пневмосушіння.

Для розв'язання цієї проблеми і усунення недоліків, які є в існуючих сушарках нами було запропоновано використання для сушіння торфу метод зневоднення у щільному шарі при вищезгаданому напрямку руху теплового агента. Сушіння торфу у щільному шарі має змішаний характер, це зумовлено, як пористою структурою самого шару (наявність великої кількості каналів), так і пористою структурою окремих частин із яких формується шар.

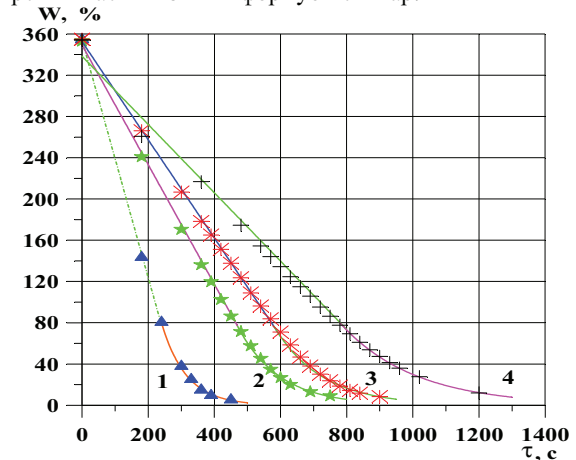


Рис. 1. Кінетичні криві сушіння торфу: ($T = 323\text{ K}$; $\Delta P_c = 2360\text{ Па}$)

Товщина шару: 1– $20 \cdot 10^{-3}\text{ м}$; 2– $30 \cdot 10^{-3}\text{ м}$; 3– $40 \cdot 10^{-3}\text{ м}$; 4– $50 \cdot 10^{-3}\text{ м}$.

Змішаний механізм сушіння підтверджується тим, що з однієї сторони відсутнє механічне витіснення вологи характерне для фільтраційного сушіння дисперсних матеріалів (пісок), а з другої сторони кінетична крива (рис. 1) характеризується явно вираженим першим умовним періодом і незначними як в часі, так і за кількістю виділеної вологи другим умовним періодом, що пояснюється наявністю зонального механізму процесу сушіння.

Дослідження проводились при різних параметрах теплоносія і висотах шару матеріалу. Характерні кінетичні криві зображені на рис. 1 і 2.

Як видно із результатів досліджень, практично вся волога виділяється у першому умовному періоді (випаровування із поверхні каналів між частинами). Однак наявність другого періоду (з 80 % до 5 % вологості) свідчить про внутрішньо-дифузійні процеси, які відбуваються безпосередньо в окремих частинах.

Результати експериментальних досліджень можна узагальнити за допомогою математичної моделі [4], що дозволяє отримати кінетичне рівняння виду: