

УДК 630*674

Л.М.Дацюк, С.Ф.Юхимчук, Ю.О. Цикалюк
Луцький національний технічний університет
Мирогощанський аграрний коледж

АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ КАМЕРНОГО СУШІННЯ ПИЛОМАТЕРІАЛІВ

Стаття присвячена детальному аналізу процесу сушіння за допомогою спеціальних камер. Розглянута технологія камерного сушіння, яка містить у собі підготовку штабеля сирого і збереження висушеного матеріалу, проведення прогріву, кондиціонування і безпосередньо сушіння деревини.

Ключові слова: сушильна камера, штабель, кондиціонування, висушений пиломатеріал.

Постановка проблеми. Одним із факторів підвищення якості пиломатеріалів є сушіння – обов'язковий етап технологічного процесу лісопильного виробництва. Деревина є гігроскопічним матеріалом, тобто деревина, що має вологу, віддає її за відносно сухого повітря. Після звалу деревина також має готуватися таким чином, аби відповідати певним вимогам з утримання вологи. Так, середній вміст вологи свіжозрубаного дерева становить 70% (волога деревини різних порід може перебувати в межах 30–120%). Після зрубання деревину готують до переробки на верстатах, тому її вологість повинна становити менше 12%. Цього можна досягти завдяки різним способам сушіння, починаючи від природного і закінчуючи технічним. Загалом, сьогодні застосовують виключно швидко технічно просушену деревину, оскільки це має свої переваги:

- короткий час сушіння;
- регулювання вологи, у залежності від подальшої переробки і призначення деревини;
- можливість вимірювання вологи у великій кількості в штабелі для забезпечення рівномірного сушіння, з різницею у волозі не більше 2%;
- боротьба зі шкідниками деревини;
- покращення механічних і технічних особливостей (твердість, відсутність тріщин) за відносно короткий час сушіння;
- у сучасних сушарках процес майже завжди повністю автоматизований, вбудований комп'ютер бере на себе усі можливі процеси управління і слідкує за якістю сушіння. Слід звернути увагу на те, що технічно висушена деревина має бути позбавленою тріщин, поводок і змін кольору, причиною виникнення яких найчастіше є технологічно неправильно прискорене сушіння.

Щоб досягти високої якості деревини за короткі терміни, існують можливості технічного сушіння, які потребують:

- односортності деревини;
- за можливістю, рівної товщини деревини;
- за можливістю, рівної початкової вологи.

Застосовуючи аксіальне обвіювання, використовують вентилятор зі спрямовуючими щитами, який встановлюється між штабелями деревини. Завдяки цьому методу можна скоротити час сушіння на повітрі. Використовують вентилятори діаметром 70–120 см і потужністю 5000–8000 м³/год. Вентилятор нагнітає сильний потік повітря зі швидкістю приблизно 5 м/с. За нормальних погодних умов (тепло та сухо) можна скоротити час сушіння від кількох тижнів до кількох днів. Спосіб аксіального обвіювання застосовують для попереднього сушіння деревини.

Як середовище для сушіння в усіх випадках застосовують підігріте вологе повітря. Його температурний рівень перебуває у межах 60–100 °С, залежно від способу сушіння. На процес сушіння має вплив швидкість потоку середовища сушарки (суміш повітря й водяної пари).

У галузі сушок деревини за останні 7–10 років досягнуто певних успіхів: збільшилась потужність камерного сушіння за рахунок введення в експлуатацію вітчизняної і зарубіжної техніки; організоване серійне виробництво збірно-металевих камер періодичної дії СПМ-2К, УЛ-1, УЛ-2, УЛ-24, безперервної дії СП-5КМ, з аеродинамічним підігрівом повітря УРАЛ-72; на лісопильно-деревообробних підприємствах майже в 2 рази зменшилась кількість низькопродуктивних камер, старих типів (Грум-Гржимайло, Пекар) і відповідно збільшився процент використання камер нових і реконструйованих типів; підвищився рівень механізації

навантажувальних і транспортних робіт на меблевих деревообробних підприємствах запроваджені нові лінії сушіння з підвищеною висотою штабелів.

Наряду з досягнутими успіхами в галузі сушіння деревини все ще є недоліки і невирішені питання, об'єми сушіння не в повній мірі задовольняють потреби в сухих пиломатеріалах. Якість сушіння пиломатеріалів на деяких переробних виробництвах знаходиться не на високому рівні. Спостерігається короблення деревини, перехід із високих в більш низькі сорти, нерівномірність висихання пиломатеріалів по об'єму штабеля. Не вистачає потужностей машинобудування для централізованого замовлення сушильних камер та спеціального уніфікованого сушильного обладнання.

Строки проектування, виготовлення і випробування у виробничих умовах нових високопродуктивних сушильних камер і сушильного обладнання дуже великі. На переробних виробництвах часто затримуються строки монтажу і вводу в експлуатацію нових сушок.

У недостатній кількості впроваджується сучасна апаратура для контролю і управління процесом сушіння, що в значній мірі пояснює доступність централізованого комплектування і дослідження літератури.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. З літературного огляду встановлено, що на вітчизняних сушильних пунктах нема варіантів комплектації їх новими сушками. А отже, провівши комплектацію пункту ми можемо використовувати його для різних варіантів сушіння пиломатеріалів, що відповідно дозволить суттєво зменшити час сушіння та якість. Використовуючи цю технологію можна одночасно проводити і асептичну обробку пиломатеріалів. Таке вирішення проблеми дає можливість економічно вигідніше використовувати матеріал. Тобто такий підхід дає можливість економити кошти, що дозволить швидко впровадити технологію нового камерного сушіння пиломатеріалів у виробництво.

Мета дослідження. Підвищення якості пиломатеріалів є сушіння – обов'язковий етап технологічного процесу лісопильного виробництва. У використанні сушок деревини за останні 7–10 років досягнуті такі успіхи: збільшилась потужність камерного сушіння; організоване серійне виробництво збірно-металевих камер періодичної дії, безперервної дії, з аеродинамічним підігрівом повітря. На лісопильних підприємствах підвищився рівень механізації навантажувальних і транспортних робіт та запроваджені нові лінії сушіння з підвищеною висотою штабелів.

Одночасно із збільшенням потужностей камерного сушіння пиломатеріалів значно підвищилась якість висушеного матеріалу. У науково-дослідних організаціях і вищих навчальних закладах виконано ряд теоретичних і експериментальних досліджень. Їх впровадження дало можливість більш чітко керувати процесом сушіння і забезпечити високу якість висушеного матеріалу.

Результати дослідження. Вибір режимів сушіння здійснюється згідно ГОСТ 19773-84, залежно від породи, товщини і призначення. Режими сушіння для заданих параметрів пиломатеріалів занесені до табл. 1.

Таблиця 1

Режими сушіння пиломатеріалів

| Порода | Товщина, мм | Номер режиму сушіння | Зміна вологості на кожному ступені режиму, % | Параметри режиму | | |
|--------|-------------|----------------------|--|------------------|--------|-----------------------|
| | | | | t, °C | Δt, °C | Відносна вологість, φ |
| Дуб | 19 | 1 | 90-30 | 63 | 5 | 0,78 |
| | | 2 | 30-20 | 67 | 9 | 0,64 |
| | | 3 | 20-8 | 83 | 26 | 0,29 |
| Бук | 32 | 1 | 80-30 | 63 | 3 | 0,86 |
| | | 2 | 30-20 | 67 | 6 | 0,75 |
| | | 3 | 20-8 | 83 | 23 | 0,34 |
| Сосна | 25 | 1 | 70-35 | 79 | 7 | 0,73 |
| | | 2 | 35-25 | 84 | 12 | 0,59 |
| | | 3 | 20-8 | 105 | 33 | 0,26 |

Розрахунок тривалості сушіння в камері періодичної дії під час низькотемпературного процесу фактичного і учбового матеріалу з врахуванням початкового нагріву і термовологообробок визначають за формулою:

$$\tau_{суш} = \tau_{вих} \cdot A_p \cdot A_u \cdot A_g \cdot A_k \cdot A_o, \text{ год}, \quad (1)$$

де $\tau_{вих}$ – вихідна тривалість власне сушіння пиломатеріалів заданої породи і розмірів нормальним режимом від початкової вологості $W_n = 60\%$ до кінцевої $W_k = 12\%$ у камерах з реверсивною циркуляцією середньої інтенсивності, год; A_p, A_u, A_g, A_k, A_o – поправочні коефіцієнти, які враховують: категорію режиму сушіння A_p , інтенсивність циркуляції – A_u ; початкову і кінцеву вологість – A_g ; якість сушіння – A_k ; довжину матеріалу – A_o .

Залежно від вимог, які ставлять до якості сушіння пиломатеріалів, вони можуть висушуватися до різних категорій за міжнародним рівнем: м'яким (М), нормальним (Н), форсованим (Ф) і високотемпературними (ВТ).

Поряд з досягнутими успіхами в галузі сушіння деревини все ще є недоліки і невирішені питання, об'єми сушіння не в повній мірі задовольняють потреби в сухих пиломатеріалах. Спостерігається короблення деревини, перехід із високих в більш низькі сорти, нерівномірність висихання пиломатеріалів по об'єму штабеля. Не вистачає потужностей машинобудування для централізованого замовлення сушильних камер.

За умовний матеріал беруть соснові обрізні дошки товщиною 40 мм, шириною 150 мм, довжиною, що перебільшує 1 м, які висушуються за II категорією якості від початкової вологості 60% до кінцевої 12% нормальними режимами.

Об'єм висушеного зразка, заданого специфікацією Φ (м³), перераховується в об'єм умовного матеріалу I (см³) за формулою:

$$I = \Phi \cdot K, \text{ см}^3, \quad (2)$$

де Φ – об'єм фактичного зразка, який підлягає сушінню, м³;

K – коефіцієнт перерахунку:

$$K = K_\tau \cdot K_e, \quad (3)$$

де K_τ – коефіцієнт тривалості обороту камери:

$$K_\tau = \frac{\tau_{об.ф.}}{\tau_{об.у.}}, \quad (4)$$

де $\tau_{об.ф.}$ – тривалість камерообороту під час сушіння фактичного матеріалу, в добах;

$\tau_{об.у.}$ – тривалість камерообороту під час сушіння умовного матеріалу, в добах;

K_e – коефіцієнт місткості камери.

$$K_e = \frac{E_{ум}}{E_\phi} = \frac{\Gamma \cdot \beta_{ум}}{\Gamma \cdot \beta_\phi} = \frac{\beta_{ум}}{\beta_\phi}, \quad (5)$$

де $E_{ум}$ – місткість камери в умовному матеріалі;

E_ϕ – місткість ком. в фактичному матеріалі;

$\beta_{ум}$ – коефіцієнт об'ємного заповнення штабелю умовним матеріалом;

β_ϕ – фактичним матеріалом.

Річну продуктивність камери в умовному матеріалі визначають за формулою:

$$P_y = \frac{335}{\tau_{об.ум}} \cdot \Gamma \cdot \beta_{ум}, \text{ м}^3 \text{ ум/рік}, \quad (6)$$

де 335 – тривалість роботи камери в рік, діб;

$\tau_{об.ум.}$ – тривалість камерообороту під час сушіння умовного матеріалу;

Γ – габаритний об'єм в усіх штабелів в камері, м³:

$$\Gamma = L \cdot B \cdot H \cdot m, \text{ м}^3, \quad (7)$$

де L, B, H – відповідно габаритна довжина, ширина, висота штабеля, м;

m – кількість штабелів в камері;

$\beta_{ум.}$ – коефіцієнт об'ємного заповнення штабелю умовним матеріалом.

Необхідна кількість сушильних камер визначають за формулою:

$$n_{ком} = \frac{\sum Y}{\Pi_y}, \text{ шт.}, \quad (8)$$

де $\sum Y$ – загальний об’єм умовного матеріалу визначено з табл. 2;

Π_y – річна (планова) продуктивність однієї камери в умовному матеріалі.

Таблиця 2

| Параметри агента сушіння на вході в штабель | | | |
|---|-------------|--------------------|----------|
| Назва показника | Позначення | Одиниця виміру | Значення |
| Температура | t_1 | °С | 84 |
| Відносна вологість | φ_1 | - | 0,59 |
| Волого вміст | d_1 | г/кг | 315 |
| Тепловміст (ентальпія) | I_1 | кДж/кг | 920 |
| Парціальний тиск | P_{n1} | Па | 34000 |
| Густина | ρ_1 | кг/м ³ | 0,845 |
| Питомий об’єм | V_1 | м ³ /кг | 1,56 |
| Температура мокрого термометра | t_m | °С | 71 |

Взята кількість камер визначається округленням до ближнього цілого числа. Параметри агента сушіння на вході в штабель визначаються за допомогою Id – діаграми (рис. 1). Тонку 1, яка характеризує параметри агента сушіння на вході в штабель знаходять за параметрами другого ступеня режиму сушіння розрахункового матеріалу (t_1, t_2) збагачення параметрів агента сушіння на вході в штабель показано в таблиці 2.

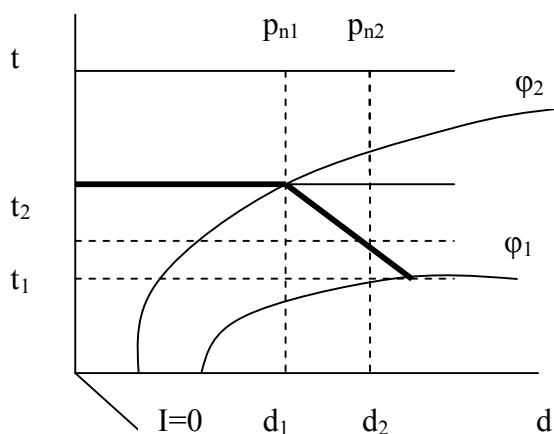


Рис. 1. Параметри агента сушіння штабеля

Маса вологи, що випаровується з 1 м куб деревини.

$$M_{1м^3} = \rho_{ум} \frac{W_n - W_k}{100}, \text{ кг/м}^3, \quad (9)$$

де $\rho_{ум}$ – умовна густина розрахункового матеріалу, $\rho_{ум}=400\text{кг/м}^3$;

W_n, W_k – початкове і кінцева вологість розрахункового матеріалу, $M_{1м^3}=278 \text{ кг/м}^3$.

Маса вологості, що випаровується за час одного камерообороту.

$$M_{об.ком.} = M_{1м^3} \cdot E, \quad (10)$$

де E – місткість камери в щільних м³.

$$E = \Gamma \cdot \beta_\phi, \text{ м}^3$$

де Γ – габаритний об’єм всіх штабелів у камері, м³;

β_ϕ – коефіцієнт об’ємного заповнення штабеля фактичним матеріалом, $\beta_\phi=0,356$.

Маса вологи, що випаровується з камери за секунду:

$$M_c = \frac{M_{об.ком.}}{3600 \cdot \tau_{висуш.}}, \text{ кг/с}, \quad (11)$$

де $\tau_{\text{висуш.}}$ = загальна тривалість сушіння розрахункового матеріалу без обрахування тривалості початкового нагріву і термовологообробок, де

$$\tau_{\text{висуш.}} = \frac{\tau_{\text{суу}}}{A_k} \quad (12)$$

Розрахункова кількість випаруваної вологості:

$$M_p = M_c \cdot x, \text{ кг/с}, \quad (13)$$

де x – коефіцієнт нерівномірності швидкості сушіння.

Об'єм циркулюючого за матеріалом агента сушіння визначається за формулою:

$$V_y = W_{\text{пит.}} \cdot F_{\text{ж.п.шт.}}, \text{ м}^3/\text{с}, \quad (14)$$

де $W_{\text{пит.}}$ – розрахункова швидкість циркуляції агента сушіння через штабель, м/с;

$$W_{\text{пит.}} = 2,5 \text{ м/с};$$

$F_{\text{ж.п.шт.}}$ – живий перетин штабеля, тобто площа вільна для проходження агента сушіння, м².

$$F_{\text{ж.п.шт.}} = n \cdot l \cdot h(1 - \beta_B - \beta_D), \text{ м}^2, \quad (15)$$

де n – кількість штабелів в площині, перпендикулярній до напрямку циркуляції агента сушіння, $n=1$;

l і h – довжина і висота штабеля, м;

β_B β_D – відповідно коефіцієнти заповнення штабеля за висотою і за довжиною.

Маса циркулюючого за матеріалом агента суміші за секунду:

$$G_{\text{шт.}} = \frac{V_y}{V_1} \cdot \text{кг/с}. \quad (16)$$

Питома витрата циркулюючого агента сушіння на 1 кг випаруваної вологості:

$$q_{\text{шт.}} = \frac{G_{\text{шт.}}}{M_3} \text{ кг/кг вол.} \quad (17)$$

Вологовміст агента сушіння на виході зі штабеля:

$$d_2 = \frac{1000}{q_{\text{шт.}}} + d_1 \text{ г/кг}. \quad (18)$$

Інші параметри агента сушіння на виході зі штабеля визначають за допомогою побудови ліній процесу сушіння на Id – діаграмі (рис. 1). Точку 1, яка характеризує стан агента сушіння на вході в штабель, знаходимо за t_1, ϕ_1 . Точку 2, яка характеризує параметри агента сушіння на виході зі штабеля, знаходимо, що на перетині ліній $I=\text{const}$ ($I_1=I_2$), яка виходить з точки 1, з лінією $d_2=\text{const}$. Основні значення агента сушіння на виході зі штабеля заносимо в табл. 3.

Таблиця 3

Основні значення агента сушіння на виході зі штабеля

| Назва показника | Позначення | Одиниця виміру | Значення |
|--------------------------------|------------|--------------------|----------|
| Температура | t_2 | °С | 880 |
| Відносна вологість | ϕ_2 | - | 0,7 |
| Волого вміст | d_2 | г/кг | 318 |
| Тепловміст (ентальпія) | I_2 | кДж/кг | 920 |
| Парціальний тиск | P_{n2} | Па | 34200 |
| Густина | ρ_2 | кг/м ³ | 0,85 |
| Питомий об'єм | V_2 | м ³ /кг | 1,55 |
| Температура мокрого термометра | t_m | °С | 71 |

Висновки

Беручи до уваги отримані результати слід зазначити, що вологість повинна бути заздалегідь доведена до визначеного рівня, що відповідає умовам експлуатації виробів, тобто до експлуатаційної вологості, що дозволить покращити механічні і технічні особливості (твердість, відсутність тріщин). Під час вибору режиму сушіння необхідно виходити з раціонального сполучення наступних факторів: необхідної якості матеріалу, що висушується, обумовленими нормами вимог до якості сушіння; категорії режимів сушіння, що забезпечує необхідну якість сушіння за заданої тривалості процесу, і конструкції камери, здатної висушувати матеріал до визначеної категорії якості не перевищуючи режимну тривалість.

1. Кречетов И. В. Сушка и защита древесины. – М.: Лесн. пром-сть, 1987. – 372 с.

2. Богданов Е.С., Козлов В.А., Пейч Н.Н. Справочник по сушке древесины. – М.: Лесн. пром-сть, 1981. – 191 с.