

3. ТЕХНОЛОГІЯ ТА УСТАТКУВАННЯ ЛІСОВИРОБНИЧОГО КОМПЛЕКСУ

УДК 674.047

Проф. П.В. Білей, д-р техн. наук; аспір. А.М. Комбаров;
аспір. П.П. Білей – НЛТУ України, м. Львів

АНАЛІЗ СПОСОБІВ ПРОВЕДЕННЯ ПОЧАТКОВОГО НАГРІВАННЯ ПИЛОМАТЕРІАЛІВ ПЕРЕД СУШІННЯМ

Розглянуто способи проведення початкового нагрівання деревини перед сушінням. Класичні способи передбачають інтенсивне нагрівання деревини, тому що з самого початку процесу встановлюються режимні значення температури. Градієнтний метод дає змогу уникнути значних перепадів температури в середині матеріалу і підвищити якість проведення процесу сушіння. Аналіз різних способів початкового нагрівання деревини перед сушінням дає змогу обрати раціональний варіант, що зменшує теплову потужність обладнання, за рахунок збільшення тривалості процесу. Наведено розрахункові залежності для визначення витрат теплової енергії на процес нагрівання.

Ключові слова: початкове нагрівання, деревина, вологість, густина, тривалість, режим, температура, відносна вологість повітря.

Вступ. Якщо розглянути найпростішу модель конвективного сушіння деревини, коли матеріал є дуже тонким з великою поверхнею випаровування вологи, де вологовміст і вологість за товщиною є однаковими $\bar{U} = \text{const}$ та постійними є параметри середовища: температура повітря – t_c , його відносна вологість – φ , швидкість руху повітря – W (тобто $t_c = \text{const}$, $\varphi = \text{const}$, $W = \text{const}$), то процес сушіння відбувається так. У початковий період зміна вологості деревини є незначною, а температура поверхневих шарів ($t_{\text{ПОВ}}$) і за ними центральних шарів ($t_{\text{Ц}}$) зростає до значення температури змоченого термометра – t_M . Для тонких матеріалів початкова стадія сушіння є невеликою і графічна залежність між зміною вологості з тривалістю початкового періоду сушіння є малопомітною. Тут початкова стадія сушіння є нічим іншим, як початковим нагріванням матеріалу перед сушінням. Зовсім іншою є картина початкового нагрівання, наприклад пиломатеріалів чи заготовок, що мають товщину промислових матеріалів (від 16 мм і більше). Існують різні теоретичні і практичні варіанти проведення початкового нагрівання деревини (промислових товщин) перед сушінням, які потрібно проаналізувати, щоб знайти раціональний.

Відомі різні способи проведення початкового нагрівання деревини перед сушінням та визначення тривалості цієї технологічної операції. Г.С. Шубін [1] запропонував табличний метод визначення тривалості початкового нагрівання деревини, аналогічно з табличним методом визначення тривалості сушіння, за формулою:

$$\tau_{\text{ПР}} = \tau_{\text{ВИХ}} A_t A_B A_{\text{П}} A_{\text{ШТ}}, \text{ год}, \quad (1)$$

де: $\tau_{\text{ВИХ}}$ – вихідна тривалість початкового нагрівання для соснових пиломатеріалів з $t_c = 80^\circ\text{C}$, $\Delta t = 1^\circ\text{C}$, початковою вологістю $W_{\text{П}} = 60\%$, товщиною пилома-

теріалів $S_1 = 40$ м, шириною $S_2 = 150$, початковою температурою $t_0 = 0^\circ\text{C}$, швидкістю циркуляції агента сушіння $W = 2,5$ м/с і шириною штабеля 1,8 м; $A_t, A_B, A_{\text{П}}, A_{\text{ШТ}}$ – відповідно коефіцієнти, що враховують температуру середовища (t_c) і початкову температуру (t_0), початкову вологість деревини – $W_{\text{П}}$, породою деревини і ширину штабеля.

Однак запропонований Г.С. Шубіним метод визначення тривалості початкового нагрівання на практиці не набув поширення через те, що немає даних середньої швидкості циркуляції повітря, початкової температури і вологості деревини. Більш точним є метод визначення тривалості початкового нагрівання деревини за даними досліджень, проведених у НЛТУ [2]. Була виведена залежність власне тривалості нагрівання деревини від температури до якої нагрівають деревину – t_0 , породи деревини, виражену через її густину – ρ , товщину матеріалу – S_1 , та початкової вологості деревини – $W_{\text{П}}$.

$$\tau_{\text{нр}} = A \rho t_0^{0,92} S_1^2 \ln W_{\text{П}} \cdot 10^{-3}, \text{ год}, \quad (2)$$

де: A – коефіцієнт пропорційності, який враховує одиниці вимірювання, наведених величин. Однак у формулі (2) відсутні дані, про швидкість циркуляції повітря – ω , м/с, його відносної вологості – φ , %, температури середовища – t_c . Крім цього, породи з різною анатомічною будовою можуть мати однакову густину, тому більш характерним є використання показника – умовної густини деревини – ρ_y , кг/м³.

Цікаві рекомендації з технології проведення початкового нагрівання деревини є в роботі Селюгіна [3]. Залежно від пори року, породи і вологості деревини та конструкції камери тривалість процесу нагрівання призначалось від однієї до шести годин на кожні 2,5 см товщини матеріалу починаючи від досягнення в сушарці режимних параметрів. У КТМ з технології камерного сушіння деревини [4] наведено такі рекомендації. Тривалість початкового нагрівання повинна бути 1,0...1,5 год на 1 см товщини матеріалів хвойних порід із початковою температурою $t_0 > 0^\circ\text{C}$, та 1,5...2,0 год, коли $t_0 < 0^\circ\text{C}$ на 1 см товщини. Для м'яких листяних порід ця тривалість збільшувалась на 25 %, а для твердих листяних порід – на 50 %. У нових КТМ з технології камерного сушіння пиломатеріалів [5] приведена дещо більша тривалість процесу початкового нагрівання та вказано режими (температура середовища – t_c , психометрична різниця – Δt та рівноважна вологість – W_p). Загальними рекомендаціями для всіх названих вище способах початкового нагрівання деревини є те, що температура середовища приймається на 5...8 $^\circ\text{C}$ вищою за першу ступінь режиму, а відносна вологість повітря призначається $\varphi = 0,95...0,98$, якщо $W_{\text{П}} < W_{\text{ТН}}$. Ці режими передбачають інтенсивне нагрівання деревини. Натомість, деякі зарубіжні фірми використовують градієнтний спосіб початкового нагрівання деревини, коли приймається величина $\Delta t / \Delta \tau$, тобто зміна температури за одиницю часу (на практиці $\Delta t / \Delta \tau = 3,0...8,0$ градусів за год). Теплова потужність для такого способу початкового нагрівання визначається за формулою:

$$Q_{\text{н}} = \rho \bar{C} \frac{\Delta t}{\Delta \tau}, \text{ кВт/м}^3, \quad (3)$$

де: \bar{C} – середня питома теплоємність деревини за $\bar{t}=0,5(t_0+t_d)$, кДж/(кг°C); ρ – густина матеріалу з початковою вологістю – $W_{П}$, кг/м³.

Якщо градієнт зміни температури за годину не перевищує 8°C, то товщина матеріалу і порода деревини не впливають на тривалість процесу нагрівання.

Витрати теплоти на нагрівання деревини. Витрати теплоти на нагрівання деревини розраховують окремо для зимових умов, коли $t_0 < 0$ °C та середньорічних умов, коли $t_0 > 0$ °C. Витрати теплоти для зимових умов визначають за формулою

$$Q_{н}^{зим} = 355\rho_y \frac{W-15}{100} + \rho [C_{(-)}(-t_0) + C_{(+)}t_d], \text{ кДж/м}^3, \quad (4)$$

де: ρ_y – умовна густина деревини, кг/м³; ρ – густина деревини з початковою вологістю – $W_{П}$, кг/м³; $C_{(-)}$, $C_{(+)}$ – відповідно, питома теплоємність деревини за мінусових і плюсових температур, визначається за середніми температурами $\bar{t} = -0,5t_0$ та $\bar{t}_d = 0,5t_d$; t_0 , t_d – початкова температура деревини і та, яку досягають у процесі нагрівання, °C; W – вологість деревини (початкова, перед сушінням), %. Витрати теплоти на нагрівання для середньорічних умов визначають за формулою

$$Q_{н}^{C.P} = \rho C(t_0 - t_d), \text{ кДж/м}^3. \quad (5)$$

Теплова потужність процесу нагрівання в зимових та середньорічних умовах, відповідно, становить:

$$[Q_{н}]^{зим} = \frac{Q_{н}^{зим} E}{3600\tau_{зим}}, \text{ кВт}, \quad (6)$$

$$[Q_{н}]^{C.P} = \frac{Q_{н}^{C.P} E}{3600\tau_{C.P}}, \text{ кВт}, \quad (7)$$

де: E – кількість матеріалу завантаженого в обладнання, м³; $\tau_{зим}$, $\tau_{C.P}$ – відповідно, нагрівання деревини в зимових на середньорічних умовах, год. Як видно із останніх двох форум (6) і (7), теплова потужність процесу залежить від тривалості процесу нагрівання.

Доцільно з технічної і економічної точок зору в деяких випадках мати однакову теплову потужність, як у процесі нагрівання, так і в процесі сушіння. Розрахунок, як правило, ведуть за тепловою потужністю в середньорічних умовах. Теплова потужність у процесі сушіння визначається за формулою

$$Q_{вип} = q_{вип} M_p, \text{ кВт}, \quad (8)$$

де $q_{вип}$ – питома теплота та випаровування вологи в процесі сушіння, кДж/кг.

$$q_{вип} = 1000 \frac{I_2 - I_0}{d_2 - d_0}, \text{ кДж/кг}, \quad (9)$$

де: I_2, I_0 – відповідно ентальпія повітря на вході із штабеля матеріалу та свіжого повітря, кДж/кг; d_2, d_0 – відповідно вологовміст відпрацьованого і свіжого повітря, г/кг; M_p – розрахункова маса вологи, що випаровується з деревини за одиницю часу (кг/с), яка визначається за формулою:

$$M_p = \frac{\rho_y(W_{П} - W_K)E\chi}{100\tau_{\phi}}, \text{ кг/с}, \quad (10)$$

де: $W_{П}, W_K$ – відповідно початкова і кінцева вологість деревини у процесі сушіння, %; χ – коефіцієнт нерівномірності процесу сушіння, приймають $\chi=1,3$; τ_{ϕ} – фактична тривалість процесу сушіння, с.

Таким чином, прийнятою умовою є рівність:

$$[Q_{н}]^{C.P} = Q_{вип}. \quad (11)$$

Ця рівність (11) є виправданою, якщо обладнання розраховане на теплову потужність в процесах сушіння деревини м'яких хвойних і листяних порід товщиною 25 мм.

Кречетов І.В. пропонує графоаналітичний метод [6] визначення тривалості початкового нагрівання перед сушінням за допомогою діаграми, яка враховує кількість теплової енергії, що передається матеріалу за час нагрівання. Цю методику можна вважати універсальною, однак потрібно точно визначити кількість теплоти яка витрачається у процесі нагрівання.

Висновки. На підставі проведеного аналізу способів початкового нагрівання деревини перед сушінням найбільш прийнятним є спосіб, де зміна параметрів середовища (t_c , ϕ) відбувається за певний час (як, правило, за годину). У цьому випадку тривалість початкового нагрівання не залежить від товщини матеріалу. Якщо застосовувати традиційну технологію, де тривалість признається залежно від товщини і породи деревини, то інтенсивність нагрівання є високою, що потребує, на час початкового нагрівання деревини перед сушінням, мати в 2...3 рази більшу потужність теплового обладнання. Якщо взяти за основу рівність (11), що з формули (7) можна знайти раціональне значення тривалості початкового нагрівання деревини перед сушінням (у цьому випадку для середньорічних умов – $\tau_{C.P}$). Крім цього, за достатньо повільного нагрівання деревини не виникає значного градієнта температури в середині матеріалу і він не впливає на якість пиломатеріалів.

Література

1. Шубин Г.С. Сушка и тепловая обработка древесины / Г.С. Шубин. – М. : Изд-во "Лесн. пром-сть", 1990. – 336 с.
2. Билей П.В. Сушка древесины твердых лиственных пород / П.В. Билей. – Изд. 2-ое, [перераб. и доп.]. – М. : Изд-во "Экология", 2002. – 224 с.
3. Селогин Н.С. Сушка древесины / Н.С. Селогин. – Л. : Гослестехиздат, 1936. – 560 с.
4. Руководящие технические материалы по технологии камерной сушки древесины. – М. : Изд-во ЦНИИМОД, 1985. – 143 с.
5. Билей П.В. Керівні технічні матеріали з технології камерного сушіння пиломатеріалів / П.В. Билей, І.А. Соколовський, В.М. Павлюст, Є.П. Кунинєць. – Ужгород : Вид-во "Карпати", 2010. – 140 с.
6. Кречетов И.В. Сушка древесины / И.В. Кречетов. – М. : Изд-во "Лесн. пром-сть", 1980. – 432 с.

Билей П.В., Комбаров А.М., Билей П.П. Анализ способов проведения начального нагрева пиломатериалов перед сушкой

Рассмотрены способы проведения начального нагрева древесины перед сушкой. Классические способы предусматривают интенсивное нагревание древесины, потому

что с самого начала процесса устанавливаются режимные значения температуры. Градиентный метод позволяет избежать значительных перепадов температуры внутри материала и повысить качество проведения процесса сушки. Анализ различных способов начального нагрева древесины перед сушкой позволяет выбрать оптимальный вариант, уменьшает тепловую мощность оборудования, за счет увеличения продолжительности процесса. Приведены расчетные зависимости для определения расходов тепловой энергии на процесс нагрева.

Ключевые слова: начальное нагревание, древесина, влажность, плотность, продолжительность, режим, температура, относительная влажность воздуха.

Biley P.V., Kombarov A.M., Biley P.P. Analysis Methods of Conducting Initial Heating Timber Before Drying

The methods of conducting initial heating of wood prior to drying have been considered in the article. Classic methods include the intensive heating of wood because the value of temperature regime has been set from the very beginning of the process. Gradient method allows to avoid significant temperature changes in the middle of the material and increase the quality of the drying process. Analysis of different methods of initial heating of wood prior to drying allows to choose the rational option, which reduces the thermal capacity of the equipment by increasing the duration of the process. The calculations for determining of the dependence of heat energy consumption for the process heating have been shown.

Key words: initial heating, wood moisture content, density, duration, mode, temperature, humidity.

УДК 614.843(075.32)

Проф. Е.М. Гуліда, д-р техн. наук –

Львівський ДУ безпеки життєдіяльності; докторант О.М. Коваль,
канд. техн. наук – НУ цивільного захисту України

ВОГНЕСТІЙКІСТЬ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ СКАТНИХ КРИВЕЛЬ ОДНОПОВЕРХОВИХ БУДІВЕЛЬ ЦЕХІВ ДЕРЕВООБРОБНИХ ПІДПРИЄМСТВ

Розроблено методологію встановлення класу вогнестійкості залізобетонних кроквяних ферм для скатних кривель одноповерхових будівель цехів деревообробних підприємств на основі результатів теоретичних досліджень. Рекомендовано залежності для визначення температури в зоні розміщення ферм у разі пожежі, а також температури на зовнішніх поверхнях залізобетонних кроквяних ферм залежно від температури середовища. Крім цього, встановлено критичну температуру в перерізах залізобетонних кроквяних ферм залежно від часу тривалості пожежі. Загальна відносна похибка теоретичних розрахунків відносно результатів експериментальних досліджень щодо встановлення класу вогнестійкості за ознакою втрати несучої здатності, як показали численні результати досліджень, не перевищує 5...8 %.

Ключові слова: пожежа, температура, кроквяна ферма, несуча здатність, клас вогнестійкості.

Постановка проблеми. Ведучою ланкою деревообробної промисловості є підприємства, які переробляють деревину і випускають продукцію для потреб національної економіки та народного вжитку. Дуже часто на цих підприємствах виникають пожежі, які призводять до значних збитків. Наприклад, за даними УкрНДІЦЗ, тільки за 2012 р. на цих підприємствах виникло 76 пожеж, що призвело до прямих збитків у розмірі 5421 тис. грн, а тільки за 11 місяців 2013 р. – 82 з прямими збитками 3941 тис. грн. Під час пожежі, при дії високих температур, змінюються механічні властивості будівельних конструкцій, а саме матері-

алів, з яких їх виготовлено. Під час будівництва деревообробних цехів, як і інших подібних об'єктів, всі конструктивні елементи таких споруд розраховують за всіма правилами будівельної механіки на десятки років, але їх у разі пожежі може бути зруйновано за декілька хвилин. Тому виникає необхідність надійного забезпечення вогнестійкості конструкцій будівель та споруд на випадок виникнення пожежі та до її повної ліквідації. Вогнестійкість будівельних конструкцій підвищують різними методами, а саме: підбором матеріалів, конструктивних схем, розмірів конструкції та використанням різних заходів вогнезахисту. При цьому останній напрям підвищення вогнестійкості будівельних конструкцій вважається найдешевшим.

Розглядаючи будівлі одноповерхових цехів деревообробних цехів, можна виділити наступні будівельні конструкції. Основними несучими елементами є колони, на яких розміщуються підкряквяні залізобетонні ферми або балки та кроквяні ферми, за допомогою яких утворюється кривля цеху. Для закриття кривлі від зовнішнього середовища на кроквяних фермах розміщують залізобетонні ребристі плити покриття, пароізоляцію, шар утеплювача, цементну стяжку та багат шаровий руберойдовий килим. Усе це покриття є навантаженням на кроквяні ферми, які передають це навантаження на підкряквяні залізобетонні елементи та на колони.

За конструктивним оформленням кривлі цехів можуть бути плоскими або скатними, що залежить від конструктивної форми кроквяних балок або ферм. Стосовно колон і плоских підкряквяних, кроквяних балок або ферм вже виконано значну кількість експериментальних та теоретичних досліджень із вогнестійкості, що дає змогу забезпечувати їх залишкову міцність після ліквідації пожежі. У цьому напрямі важливий внесок зробили В.І. Агаджанов, Б.Г. Демчина, В.М. Жартовський, Н.А. Ільїн, А.І. Яковлев, С.Л. Фомін та багато інших. Але стосовно вогнестійкості залізобетонних кроквяних сегментних, трапецієподібних та аркових ферм, які в більшості випадків використовуються для виготовлення скатних кривель деревообробних цехів, то результати наукових досліджень практично знаходяться на початковій стадії.

Для визначення межі вогнестійкості залізобетонної конструкції можна використовувати три підходи. Перший підхід полягає у визначенні стандартного температурного режиму пожежі та в обранні згідно з ДБН В.1.1-7-2002 2, залежно від ступеня вогнестійкості будівлі, необхідної мінімальної межі вогнестійкості конструкції. Другий підхід можна виконати з проведенням експериментальних вогневих досліджень згідно з методикою ДСТУ Б В.1.1-4-98, за результатами яких можна визначити вогнестійкість конкретної конструкції. При третьому підході аналізують планувальні рішення приміщень, їх архітектурні особливості, пожежне навантаження та розраховують межу вогнестійкості з врахуванням сценарію розвитку реальної пожежі. Третій підхід до визначення межі вогнестійкості є складним, але більш точним, порівняно з першим, і не потребує значних витрат для проведення експериментальних досліджень.

Тому виникає проблема у визначенні межі вогнестійкості залізобетонних кроквяних сегментних, трапецієподібних та аркових ферм, на яку впливають пожежні ситуації (особливо місце виникнення пожежі) в закритих цехах деревообробних підприємств.