

УДК 674.047

Проф. П.В. Білей, д-р техн. наук;
асист. Ж.Я. Гуменюк – УкрДЛТУ**СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ УДОСКОНАЛЕННЯ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ СУШІННЯ ПИЛОМАТЕРІАЛІВ**

Розглянуто методику удосконалення систем теплопостачання сушильних камер та раціонального використання теплової енергії.

*Prof. P.V. Biley; assist. Z.Ya. Humeniuk – USUFWT***Modern trends of equipment for lumber drying improvement**

Technique of heat service systems of drying kilns improvement and the best ways of heat energy consumption have been considered.

Вступ. Ситуація на європейському ринку сушильних камер (на думку західноєвропейських фірм Brunner-Hildebrand, V. Vanicek та інших) передбачає застосування таких трьох основних систем:

- 90...95 % – класичні пароповітряні конвективні сушильні камери періодичної дії;
- 3...5 % – вакуумні сушильні камери;
- 2...3 % – конденсаційні сушильні камери.

На даний час в Україні експлуатуються такі типи сушильних камер:

- 40 % – камери з природною циркуляцією агента сушіння (які, як правило, реконструйовані за різними схемами);
- 30 % – камери ежекційного типу;
- 10 % – камери з аеродинамічним нагрівом повітря;
- 10 % – камери з горизонтально-поперечною циркуляцією повітря (СПЛК-2, СПМ-2К, ЛЛТІ, СКД);
- 10 % – камери з вертикально-поперечною циркуляцією повітря (СПВ-62, УЛ-1, УЛ-2, Katres та інші зарубіжного виробництва).

У виборі типу сушильних камер основну роль повинні мати такі чинники: специфікація і об'єм матеріалу, що підлягає сушінню; показники якості матеріалу залежно від його застосування; вартість сушильного обладнання і наявність відповідних інвестиційних коштів. За споживанням різних видів енергії різними типами сушильних камер ситуація характеризується таким чином:

Вид енергії	Потреба (%) в енергії для різних типів камер		
	конвективні	вакуумні	конденсаційні
теплова	85-95 %	~50 %	10-20 %
електрична	5-15 %	~50 %	80-90 %

Основою будь-якого виробничого процесу є витрати енергії. Тому підвищення ефективності сучасного виробництва пов'язано із зростанням енергетичного потенціалу та зростанням споживання енергетичних ресурсів. Але із зростанням енергетичного потенціалу все більш актуальними стають питання ефективності енергоспоживання.

Конвективне сушіння пиломатеріалів. Переважне застосування конвективних сушильних камер пояснюється, передусім, наявністю на деревообробних підприємствах великого запасу деревних відходів, які використовуються як паливо і отримання дешевої теплової енергії. Для цього доцільне застосування сучасних агрегатів (котлів-утилізаторів) для спалювання відходів, які випускаються вітчизняними і зарубіжними підприємствами.

У собівартості теплової енергії (пара і гаряча вода) витрати на паливо складають 50...70 %. Ефективність використання деревних відходів як котельного палива залежить від підготовки палива. Це, перш за все, їх накопичення, подрібнення і, якщо можливо, підсушування. При спалюванні в топках вологої деревини (вологість 50 % і більше) не забезпечується номінальна продуктивність парових та водогрійних котлів. Це пояснюється низькою жаропродуктивністю вологого палива. Жаропродуктивність – це максимальна температура горіння, коли вся теплота віддається продуктам згорання палива без надлишку повітря.

У топковій частині котлоагрегату тепловіддача від гарячих продуктів згорання палива відбувається за рахунок теплового випромінювання на поверхні нагрівання котла. Перенесення теплоти випромінюванням залежить від температури гарячих газів. Жаропродуктивність абсолютно сухого деревинного палива дорівнює 2010 °С. З підвищенням вологості деревинного палива на 10 % теплота згорання знижується на 17 %, а жаропродуктивність приблизно на 7 %. Жаропродуктивність деревинного палива вологістю 60 % становить менше 1000 °С. За даної температури тепловіддача випромінюванням дорівнює тільки половині теплоти згорання палива, що приводить до зменшення продуктивності котла і до відповідного зниження ККД котлоагрегату.

Для визначення ефективності котлоагрегату необхідно скласти його тепловий баланс. Очевидно, що вся кількість тепла (Q_T), отриманого від спалювання деревних відходів у котлоагрегатах складається із корисно витраченої теплоти (Q_K) і суми втрат ($\Sigma Q_{втр}$) теплоти: газами, що виходять у димову трубу, від хімічної і механічної неповноти згорання палива, від зовнішнього охолодження, з гарячими шлаками (попелом), тобто

$$Q_T = Q_K + \Sigma Q_{втр}. \quad (1)$$

Якщо прийняти Q_T за 100 %, то коефіцієнт корисної дії котлоагрегату ($\eta_{ка}$) становитиме

$$Q_K = Q_T - \Sigma Q \text{ або } \eta_{ка} = \frac{Q_K}{Q_T} \cdot 100\%. \quad (2)$$

Теплова потужність котлоагрегату ($Q_{ка}$) визначається за формулою

$$Q_{ка} = D_T \cdot (i_T - i_B) + D_{пр} \cdot (i_{к.в} - i_B), \text{ кВт} \quad (3)$$

де: D_T – кількість отриманої від котла пари або гарячої води, кг/с; $D_{пр}$ – витрати котельної води на продувку парового котла, кг/с, для водогрійних котлів цей показник не враховується; i_T – ентальпія пари або гарячої води на виході із котла, кДж/кг; i_B – ентальпія води, яка подається у котел, кДж/кг; $i_{к.в}$ – ентальпія води у котлі, кДж/кг.

Витрата палива (B , кг/с), яке подається у котлоагрегат (за умови його сталої роботи) визначиться із рівняння теплового балансу

$$B \cdot Q_T \cdot \eta_{ка} = D_T \cdot (i_T - i_B)$$

звідки

$$B = \frac{D_T \cdot (i_T - i_B)}{Q_T \cdot \eta_{ка}}, \text{ кг/с}. \quad (4)$$

З цієї формули видно, що витрата палива на виробництво теплової енергії залежить від ККД котлоагрегату. Для сучасних технічно справних котлоагрегатів втрати тепла від механічної і хімічної неповноти згорання палива, від зовнішнього охолодження та з гарячими шлаками (попелом) є дуже незначними (2...3 %) і ними можна нехтувати. Найбільші втрати йдуть з газами у димову трубу. Ці втрати можна визначити за кількістю димових газів ($V_{д.г}$ м³/кг) та різниці ентальпії продуктів згорання на виході із котлоагрегату ($i_{д.г}$, кДж/кг) та холодного повітря ($i_{х.п}$, кДж/кг), що подається у котлоагрегат, за рівнянням

$$Q_{д.г} = B \cdot V_{д.г} \cdot (i_{д.г} - i_{х.п}), \text{ кДж}, \quad (5)$$

де: $V_{д.г}$ – повний об'єм димових газів, $V_{д.г} = 5,63...4,71$ м³/кг при $W_b = 35...50$ % і коефіцієнта надлишку повітря $\alpha \approx 1,5$; $i_{д.г}$ – ентальпія димових газів, кДж/кг, яка залежить від теплоємності і температури димових газів; $i_{х.п}$ – ентальпія холодного повітря, кДж/кг.

Для зменшення втрат тепла, а відповідно і зменшення питомої витрати палива у котлоагрегатах необхідно зменшити кількість теплоти, яка йде з димовими газами в атмосферу, що можна досягнути встановленням у хвостовій частині котла повітрянагрівача. Встановлення повітрянагрівача є дуже важливим для забезпечення достатньої жаропродуктивності і повного згорання деревинних відходів з високою (50 % і більше) вологістю. Наприклад, при температурі димових газів $t_{д.г} = 275$ °С втрачається близько 19 % теплоти, яку виробляє котлоагрегат, а витрати палива зростають більше ніж на 9 %.

Найбільш економними в енергетичному плані є сушильні камери із застосуванням як агент сушіння топкових газів. Однак, застосування таких камер недоцільне внаслідок різних причин, а саме: низької якості матеріалу, що висушується, нестабільності теплового потоку (неритмічного згорання різних за характеристикою деревних відходів) і труднощів підтримки режимних параметрів топкових газів на вході в штабель. Відомі також різні типи котельних установок, які нагрівають повітря, що подається в робочий простір сушильної камери. У цьому випадку, нагріте повітря, що подається з котельної установки, змішується з основною частиною повітря в робочому просторі камери і підвищує його тепловий потенціал. Однак, формування режимних параметрів на вході в штабель є надзвичайно важкою задачею через нестабільність теплового потоку повітря з котельної, необхідності зміни у процесі сушіння режимних параметрів середовища для різних порід деревини і типорозмірів пиломатеріалів. Тому, найбільш прийнятним варіантом є конвективні сушильні камери з теплопостачанням від водогрійних котлів, які працюють на спалюванні деревних відходів.

У більшості випадків застосовуються конвективні сушильні камери з поперечно-вертикальним кільцем циркуляції повітря. Сушильні камери такого типу можуть виготовлятися заводським способом (збірно-металеві) або в будівельному варіанті (стаціонарні) з різною величиною внутрішнього простору. Необхідно зазначити, що крупногабаритні камери (об'єм матеріалу у камері 50...100 м³) є більш економічними, їх вартість відносно дешевша, ніж середньогабаритних (20...50 м³ матеріалу) і малогабаритних (менше за 20 м³ матеріалу). Однак, застосування крупногабаритних камер істотно обме-

жує мобільність виробництва, оскільки в одну камеру необхідно помістити матеріал однієї породи, товщини, початкової вологості, сортності і призначення. З цієї точки зору оптимальним варіантом є середньогабаритні сушильні камери місткістю 30...40 м³ матеріалу.

Незважаючи на подорожчання будівельних матеріалів, сушильні камери у стаціонарному варіанті є дешевшими за збірно-металеві приблизно у 2,0...2.5 рази. Крім того, при використанні збірно-металевих камер необхідно підготувати майданчик з фундаментом, підвести комунікації (водопостачання, теплопостачання, каналізація) і виконати перевезення і монтаж обладнання. Функціональні характеристики обох типів (стаціонарні або збірно-металеві) майже не відрізняються, за винятком показника теплоінерційності. В обох конструктивних типах камер застосовується однакове вентиляторне обладнання – осьові реверсивні вентилятори №№ 6...8 з тепло- і вологозахисним електроприводом. Електродвигуни встановлені на осі вентилятора. Потужність електроприводу вентилятора залежно від камери і умов його роботи становить 0,9...3,3 кВт. Однаковими є також системи теплопостачання (калорифери, запірно-регулювальна арматура), двері, замки і т.д.

Таким чином, основними напрямками розвитку традиційного конвективного сушіння пиломатеріалів є: освоєння випуску в Україні стандартних універсальних сушильних камер заводським способом; орієнтація випуску сушильних камер за конкретними індивідуальними замовленнями залежно від об'єму матеріалу, що висушується, його породного складу і інших умов; використання вже існуючих приміщень під сушильні камери, що дасть змогу значно зменшити витрати на обладнання сушильних цехів.

Вакуумний спосіб сушіння може інтенсифікувати процес при низьких температурах середовища. Якщо глибина вакууму становить 90 кПа, то вода кипить при температурі коло 45°C, що дає змогу зберегти природні властивості деревини. Однак, при вакуумному сушінні виникає проблема підведення тепла до матеріалу, що висушується. Різні фірми і заводи-виробники таких сушарок пропонують циклічне нагрівання матеріалу нагрітим повітрям або водяною парою. Ці способи нагрівання мають свої переваги і недоліки. Матеріал можна нагрівати і за допомогою пористих плит контактним способом. Але, найбільш ефективним є діелектричне нагрівання матеріалу. Поряд з тим, необхідно зазначити, що промисловість не забезпечена надійними в роботі високочастотними генераторами. Основними їх недоліками є малий ресурс роботи генераторних ламп і проблема створення діелектричного поля у деревині при вологості нижчій за 15...20 %. Розроблення сучасних високочастотних генераторів дала б змогу створити високоінтенсивний і високоякісний спосіб сушіння всіх порід деревини і типорозмірів (насамперед, найбільш важковисихаючих і відповідального призначення) пиломатеріалів і заготовок.

Існує ще одна проблема, що не дає змоги широко застосовувати вакуумне сушіння. Це невивченість явища вакуумпроникності деревини. Вакуумпроникність деревини уперек волокон становить усього декілька міліметрів залежно від вологості і анатомічної будови деревини. Вздовж волокон вакуумпроникність є на порядок-два вищою, ніж уперек. Таким чином, вакуумний спосіб досить ефективний тільки для короткомірних сортиментів.

Таким чином, основними напрямками в розвитку вакуумного сушіння пиломатеріалів є створення і застосування високоефективного способу нагрівання матеріалу у середовищі із зниженим тиском, дослідження вакуумпроникності деревини різних порід залежно від розмірів (товщини, ширини, довжини) і вологості пиломатеріалів; розроблення на їх базі методики інженерних розрахунків обладнання, а також технологічного регламенту.

Конденсаційні сушильні камери набули досить широкого поширення, частково через багатообіцяючу рекламу і, частково через зниження енергетичних витрат на сушіння за рахунок використання теплоти випаровування вологи з деревини. Внаслідок малої теплової потужності, процес сушіння у конденсаційних сушильних камерах майже у два рази більш тривалий, ніж у звичайних конвективних. Окрім того, конденсаційні сушильні камери у 1,5...2,0 рази дорожчі, ніж конвективні, а термін їх експлуатації менш тривалий.

Основним напрямком удосконалення конденсаційних сушильних камер є зміна конструкції, а саме забезпечення їх традиційним теплопостачанням від калорифера, де як теплоносієм використовується гаряча вода, нагріта теплом, отриманим від спалювання відходів з деревини. Кондиціонери спеціальної конструкції потрібно розміщувати не в робочому просторі сушильної камери, а в рекуператорах, встановлених у зоні витяжних каналів. Тобто, висушене нагріте повітря треба повертати у камеру через приточні канали, а тепло від конденсації вологи з повітря залишається в її внутрішньому просторі. Режим сушіння застосовуються такі ж, як у конвективних камерах.

Висновки. На основі проведеного вище аналізу ефективності різних типів сушильних камер, що застосовуються, і способів сушіння можна зробити висновок про те, що за всіх інших рівних умов конвективне сушіння пиломатеріалів (заготовок) з теплопостачанням від спалювання деревних відходів є найбільш ефективним на цей час. Якщо прийняти за одиницю використання у камерах теплової енергії, отриманої від спалювання деревних відходів, то тепла енергія, отримана від спалювання природного газу або мазуту є у 4...5 рази дорожчою, а застосування електричного нагрівання є дорожчим у 10...12 разів. Реалізація запропонованих рекомендацій з вдосконалення лісо-сушильного обладнання дасть змогу використати, у певних умовах їх експлуатації, всі три описані типи сушарок.

УДК 674.05:004.2(075.8)

*Ст. викл. Ю.І. Озимок;
інж. Р.Б. Рудницький – УкрДЛТУ*

МЕТОДИКА ПОВНОГО БАЛАНСУВАННЯ БАГАТОЧАШКОВОГО АБРАЗИВНОГО ІНСТРУМЕНТА

Розглянуто проблему повного балансування багаточашкового абразивного інструмента. Розроблено графічну модель процесу балансування, яка дає змогу прискорити та поліпшити якість балансування інструмента.

Ключові слова: абразивний інструмент, чашка, балансування, графічна модель.