

ses considered. Cite the equations distribution of temperature fields and velocity fields of air circulation during termoradiation-convective drying of various moist materials.

УДК 674.047

Проф. П.В. Білей, д-р техн. наук;
аспір. Б.І. Приставський – НЛТУ України, м. Львів

АНАЛІЗ ВИКОРИСТАННЯ ДЖЕРЕЛ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ В ПРОЦЕСАХ СУШІННЯ ДЕРЕВИНИ

Проведено аналіз залежності для визначення маси та ентальпії топкових газів, отриманих від спалювання деревного палива, та питомих витрат теплової енергії на випаровування вологи з деревини.

Виробництво і використання теплової енергії в процесах сушіння пиломатеріалів і заготовок, лущеного і струганого шпону та подрібненої деревини є надзвичайно актуальною проблемою сьогодення. На процеси сушіння і нагрівання деревини на деревообробних підприємствах витрачається до 70 % виробленої теплової енергії. Отже, актуальне питання щодо раціонального використання теплової енергії, чіткого визначення її корисних витрат та можливих втрат.

Насамперед тепла енергія витрачається на виробництво теплоносія у вигляді топкових газів, водяної пари або нагрітої води. Як теплоносій топкові гази є найдешевшим видом тепlopостачання [1, 2]. Найбільшу вищу теплотворну здатність має природній газ, але це надто дорогий теплоносій, щоб його використовувати в деревообробній промисловості. Найдешевшим є теплоносій, отриманий від спалювання деревного палива. Як деревне паливо можна використати лісосічні відходи, кількість яких в Україні становить близько 1,7 млн м³ або 12 % від обсягу лісозаготівлі. На деревообробних підприємствах внаслідок перероблення круглих лісоматеріалів утворюється значна кількість відходів: у лісопильному виробництві – до 35 %, у виробництві дверних та віконних блоків – до 31 %, у виробництві паркету – до 30 %, у виробництві меблів – до 54 %, у ремонтно-будівельних роботах – до 33 %. Таким чином, отримані у виробничих цехах відходи необхідно утилізувати шляхом спалювання на сміттєзвалищах або використати для виробництва деревно-стружкових плит і як деревне паливо – для отримання дешевої теплової енергії.

У процесі спалювання палива з деревини утворюються топкові гази з вищою теплотворною здатністю, яка визначається за відомою формулою [1, 3]

$$Q_{\text{в}} = 4.19(81C + 300H - 26O), \text{ кДж/кг}, \quad (1)$$

де C , H , O – відповідно вміст у паливі з деревини вуглецю, водню і кисню.

Вища теплотворна здатність палива з деревини залежить від її вологості. Для розрахунків приймається значення відносної вологості деревини $W_{\text{в}} = 30 \%$.

Маса сухої частини газів, що утворюється у процесі згорання 1 кг визначиться за формулою

$$q = 1 + \alpha L_0 - \frac{W_{\text{в}} + 9H + A}{100} \text{ кг-газу/кг-палива}, \quad (2)$$

де: α – коефіцієнт надлишку повітря під час згорання палива; H , A – відповідно вміст водню та золи, %; L_0 – теоретична кількість повітря (кг), необхідна для згорання (1 кг) палива:

$$L_0 = 0.115C + 0.345H - 0.043O. \quad (3)$$

Тепловміст топкових газів визначається за формулою

$$J = \frac{1}{q} (Q_0 \gamma_T + \alpha L_0 I_0), \text{ кДж/кг газу}, \quad (4)$$

де: γ_T – коефіцієнт корисної дії топки; I_0 – тепловміст свіжого (припливного) повітря, приймається $I_0 = 38 \dots 46$ кДж/кг.

На сьогодні для потреб нагрівання і сушіння деревини, як теплоносіїв, найбільш використовується нагріта до 90-95 °С вода, яка подається в теплообмінники (калорифери). Щоб нагріти масу води (m , кг) від початкової температури (t_0) до температури теплоносія (t_T), потрібно витратити певну кількість теплової енергії (Q_0), яка визначається за формулою

$$Q_0 = Cm(t_T - t_0), \text{ кДж}, \quad (5)$$

де C – питома теплоємність води, приймають $C = 4,19$ кДж/(кг·°С).

За формулою (5) визначають кількість теплоти, яку потрібно витратити на початкове нагрівання води, що є в системі: котел – система теплопостачання – сушильна установка. На вході сушильну установку теплоносіїв подається з температурою $t_{ex} = t_T = t_k$, а на вході в котел температура теплоносія буде нижчою – $t_{вух}$. Різниця температури ($\Delta t = t_{ex} - t_{вух}$) характеризує корисні витрати теплоти на процес сушіння або нагрівання деревини та втрати теплоти в системі теплопостачання (трубопроводах, теплообмінниках, запорній арматурі). Таким чином, для підтримання температурного режиму в сушильній установці необхідно витрачати таку кількість теплової енергії:

$$Q_T = CM(t_{ex} - t_{вух}), \text{ кВт}, \quad (6)$$

де M – маса води, яка циркулює в системі, кг/с.

Загальна кількість теплової енергії на процес сушіння або нагрівання деревини визначається за формулою

$$Q_\Sigma = Q_0 + Q_T \tau, \text{ кДж}, \quad (7)$$

де τ – тривалість процесу нагрівання або сушіння, с.

У зазначеній вище системі теплопостачання сушильних установок значна кількість теплоти виходить разом з топковими газами в атмосферу. Тобто в цьому випадку використовується тільки нижча теплотворна здатність палива, яка менша від вищої на величину витрат тепла для перетворення води, що є в 1 кг деревного палива, на пару.

$$Q_k = r_0 m_e, \text{ кДж/кг}, \quad (8)$$

де: r_0 – питома теплота пароутворення, $r_0 = 2490$ кДж/кг; m_e – маса води (кг), що є в (1 кг) деревини і перетворюється на пару, яка визначається за виразом

$$m_e = 0,01 m_n W_e, \text{ кг/кг}, \quad (9)$$

де: W_e – відносна вологість палива, %; m_n – маса палива, кг.

Таким чином, нижчу теплотворну здатність палива можна визначити за рівнянням

$$Q_H = Q_{\text{в}} - 0,01W_{\text{в}}m_n n_0, \text{ кДж/кг.} \quad (10)$$

Кількість теплоти, яка виходить з котла разом з топковими газами в процесі згорання (1 кг) палива, визначається за формулою

$$Q_{Tr} = qCt_{Tr}, \text{ КДЖ,} \quad (11)$$

де: q – маса топкових газів (кг) у процесі згорання (1 кг) палива; C – теплоємність топкових газів, кДж/(кг⁰С); t_{Tr} – температура вихідних топкових газів, ⁰С.

Більш раціональним постачанням теплової енергії від спалювання деревних відходів є використання очищених від сажі та іскор топкових газів як теплоносія, що безпосередньо подається в сушильну установку [1]. У такому випадку використовується вища теплотворна здатність палива та зменшується втрати теплоти з відхідними топковими газами в атмосферу, які мають набагато нижчу температуру, ніж після котельної установки. У цьому процесі використовують автономний агрегат теплової енергії, який обладнаний пристроями для грубої та тонкої очистки топкових газів від сажі та іскрогасник.

Питомі витрати теплоти на сушіння деревини визначають для середньорічних умов, які віднесено до 1 кг випаровуваної вологи, за формулою

$$Q_{\text{нагр}} = (q_{\text{нагр}} + q_{\text{вип}} + q_{\text{оз}}) C_1, \text{ кДж/кг,} \quad (12)$$

де: C_1 – коефіцієнт, який враховує додаткові витрати теплоти на початкове нагрівання установки, транспортних засобів та іншого обладнання, що є в установці; $q_{\text{нагр}}$ – середньорічні витрати тепла на початкове нагрівання деревини, віднесене до маси випаровуваної вологи:

$$q_{\text{нагр}} = \frac{\rho C(t_k - t_0)}{m_1}, \text{ кДж/кг,} \quad (13)$$

де: m_1 – маса вологи, що видаляється з 1 м³ деревини, кг/м³; ρ – густина (об'ємна маса) деревини, кг/м³; C – теплоємність деревини для заданої середньої температури і вологості, кДж/(кг⁰С); t_k , t_0 – кінцева і початкова температура деревини, ⁰С; $q_{\text{вип}}$ – питомі витрати теплоти на випаровування вологи в процесі сушіння деревини.

$$q_{\text{вип}} = \frac{I_2 - I_0}{d_2 - d_0} - C_{\text{в}} t_m, \quad (14)$$

де: I_2 , I_0 – тепловміст відповідно відпрацьованого та свіжого повітря, кДж/кг; d_2 , d_0 – відповідно вологовміст відпрацьованого та свіжого повітря, г/кг; $C_{\text{в}}$ – питома теплоємність, кДж/кг⁰С; t_m – температура матеріалу, ⁰С; $q_{\text{оз}}$ – середньорічні втрати тепла через огородження, віднесені до маси випарованої вологи.

$$q_{\text{оз}} = \frac{\Sigma F_{\text{оз}} K_{\text{оз}} (t_k - t_0)}{M_c}, \text{ кДж/кг,} \quad (15)$$

де: $\Sigma F_{\text{оз}}$, $K_{\text{оз}}$ – добуток площі окремого огородження на його коефіцієнт теплопередачі, кДж/с⁰С; M_c – секундна втрата вологи в процесі сушіння, кг/с.

На основі отриманих вище залежностей визначають необхідну кількість палива (кг), від спалювання якого отримають теплову енергію на видалення (випаровування) 1 кг вологи з деревини, за формулою

$$D = \frac{q_{\text{суш}}}{qI}, \text{ кг палива/кг випаровування вологи,} \quad (16)$$

де qI – добуток маси на тепловміст топкових газів, кДж/кг палива.

Висновки. На основі отриманих залежностей для визначення маси та ентальпії топкових газів, отриманих у процесі спалювання деревного палива відповідної відносної вологості (W_v %) та питомих витрат теплової енергії на сушіння деревини, отримано формулу для визначення кількості палива (кг), яку потрібно спалити, щоб випарувати 1 кг вологи з деревини.

Література

1. Серговский П.С. Гидротермическая обработка и консервирование древесины / П.С. Серговский, А.И. Расев. – М. : Изд-во "Лесн. пром-сть", 1987. – 360 с.
2. Билей П.В. Сушка древесины твердых лиственных пород / П.В. Билей. – М. : Изд-во "Экология", 2002. – 224 с.
3. Білей П.В. Сушіння та захист деревини : підручник / П.В. Білей, В.М. Павлюст. – Львів : Вид-во "Кольорове небо", 2008. – 312 с.

Билей П.В., Приставский Б.И. Анализ использования источников тепловой энергии в процессах сушки древесины

Проведен анализ зависимости для определения массы и энтальпии топочных газов, полученных от сжигания древесного топлива, и удельных расходов тепловой энергии на испарение влаги из древесины.

Bilej P.V., Prystavskyy B.I. An analysis of using thermal energy in processes of drying wood

The analysis of dependence is conducted for determination of mass and fire-box gases that were got from incineration of wood fuel and specific costs of thermal energy on evaporation of moisture from wood.

УДК 674.053:621.935

Доц. Л.Ф. Дзюба¹, канд. техн. наук; доц.

О.В. Меньшикова¹, канд. фіз.-мат. наук; доц. І.Т. Ребезнюк², д-р техн. наук

СИЛА НАТЯГУ У ВІТКАХ СТРІЧКОВОЇ ПИЛКИ ПІД ЧАС РІЗАННЯ ДЕРЕВИНИ

Установлено розподіл сили натягу поздовж полотна стрічкової пилки під час різання деревини. Показано, що сила натягу у вітках полотна пилки на шківках розподіляється відповідно до кутів відносного спокою та відносного ковзання. Визначено кут відносного ковзання полотна пилки на тяговому та тяжному шківках з урахуванням відцентрових сил.

Ключові слова: стрічкова пилка, сила натягу, різання деревини, кут відносного ковзання.

Особливість стрічкової пилки полягає в тому, що вона водночас є дереворізальним інструментом і гнучким тяговим органом. Стрічкову пилку встановлюють на пилкові шківки з певною силою попереднього натягу, яка забезпечує стійкість стрічкової пилки під час різання деревини. Тому в нерухомій стрічковій пилці після встановлення її на шківки у всіх поперечних перерізах полотна стрічкової пилки виникають однакові поздовжні сили розтягу. Однак у рухомій стрічковій пилці під час різання деревини, коли на тяговому

¹ Львівський ДУ БЖД;

² НЛТУ України, м. Львів