

УДК 631.365:631.53.01:633.2

© Л.Ю. Забродоцька, к.т.н.

Луцький національний технічний університет

ВИЗНАЧЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ВИТРАТ НА СУШІННЯ СИПКИХ РОСЛИННИХ МАТЕРІАЛІВ В СУШАРЦІ

У статті встановлено основні напрямки енергетичних витрат на сушіння сипких рослинних матеріалів в сушарці з спіралеподібною поверхнею сушильної камери. Викладено методуку та результати енергетичного розрахунку сушарки.

СУШІННЯ, ВИТРАТИ ЕНЕРГІЇ, СУШИЛЬНА КАМЕРА.

Постановка проблеми. Штучне сушіння рослинних матеріалів вимагає значних енерговитрат. Сучасна технологія сушіння, як елемент післязбирального обробітку сільськогосподарських матеріалів, потребує удосконалення. Удосконалення сушильної техніки ведеться в основному у трьох напрямках: зниження енерговитрат, підвищення якості виконання операції, підвищення продуктивності сушарок. З іншого боку, розробка нових ефективних засобів сушіння є неможливою без дослідження і застосування енергозберігаючих методів сушіння.

Тому дослідження процесу сушіння сільськогосподарських матеріалів, направлені на вирішення проблеми енергозбереження, мають наукове і практичне значення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для оцінки енергетичної ефективності конструкції сушарки [1] необхідно встановити такі показники, як продуктивність сушарки і питомі витрати енергії.

Провівши аналіз теоретичних досліджень [2], встановлені наступні технологічні параметри сушарки: довжина завантажувального шнека – 2 м; зовнішній діаметр сушильної камери – 1,3 м; довжина сушильної камери – 1,2 м; кількість витків спіралеподібною перфорованою поверхні – 7; найменший радіус витка – 0,214 м; найбільший радіус витка – 0,643 м; кількість коробів – 5, площа поперечного перерізу витка – 0,065 м², площа поперечного перерізу отвору короба – 0,012 м².

Мета дослідження. Визначити енергетичні витрати на сушіння сипких рослинних матеріалів в сушарці.

Результати дослідження. При роботі сушарки зі спіралеподібною поверхнею сушильної камери [1] споживається

енергія: на привод сушильної камери і завантажувального шнека; на нагнітання атмосферного повітря до калорифера з подальшою подачею сформованого сушильного агента в сушильну камеру і проходження його крізь весь об'єм матеріалу із заданою швидкістю; на нагрівання атмосферного повітря до заданої температури сушіння – формування сушильного агента; на роботу типових завантажувальних і вивантажувальних пристроїв із необхідною пропускну здатністю, тип яких може змінюватися залежно від схеми організації технологічного процесу. Зазначені пристрої також використовуються в технологічних лініях існуючих сушарок, тому при порівняльній характеристиці витрат енергії на їх роботу враховувати недоцільно.

Виходячи з необхідної тривалості перебування матеріалу в сушильній камері і відомої кількості витків спіралеподібної перфорованої поверхні, частота обертання сушильної камери визначається за формулою:

$$n_{об} = \frac{n}{\tau_c}, \quad (1)$$

де n - кількість витків спіралеподібної перфорованої поверхні; τ_c - час сушіння, хв.

Тоді продуктивність сушарки при безперервній подачі матеріалу визначається за формулою, т/год:

$$P = 60 \cdot m_m \cdot n_{об}, \quad (2)$$

де m_m - маса матеріалу, яку необхідно завантажувати в сушарку для її раціонального заповнення та ефективного використання сушильного агента, т.

Потужність, необхідна на привод сушильної камери, наближено визначається за формулою, кВт [3]:

$$N_6 = 1,025 \cdot \frac{g \cdot \sqrt{2 \cdot g}}{6 \cdot \pi} \cdot \gamma_m \cdot V_6 \cdot \sqrt{D_6} \cdot S_3, \quad (3)$$

де g – прискорення вільного падіння, м/с²; γ_m – питома маса матеріалу, т/м³; V_6 – об'єм сушильної камери, м³; D_6 – діаметр сушильної камери, м; S_3 – коефіцієнт, що враховує заповнення сушильної камери матеріалом.

При роботі сушарки енергія також затрачається також на транспортування матеріалу в центральну частину сушильної камери за допомогою завантажувального шнека.

Потужність, необхідна на привод завантажувального шнека визначається за формулою, кВт [4]:

$$N_{ш} = \frac{n_3 \cdot P}{367} \cdot L_{ш} \cdot \omega_0, \quad (4)$$

де $n_3 = 1,2$ – коефіцієнт запасу; $L_{ш}$ – довжина шнека, м; $\omega_0 = 1,2$ – коефіцієнт опору середовищу для легких неабразивних матеріалів.

Необхідна потужність електродвигуна визначається як загальна потужність на привод сушильної камери і шнека з врахуванням ККД передач приводу, кВт:

$$N_c = \frac{N_б + N_{ш}}{\eta_{пр}}, \quad (5)$$

де $\eta_{пр}$ – ККД приводу.

Підставляючи (3) та (4) в (5) отримаємо:

$$N_c = \frac{1,856 \cdot \gamma_m \cdot D_б^{2,5} \cdot L_б \cdot S_3 + 0,002725 \cdot n_3 \cdot P \cdot L_{ш} \cdot \omega_0}{\eta_{пр}}. \quad (6)$$

Маса висушеного за 1 годину матеріалу визначається за формулою [5]:

$$P' = P \cdot \frac{100 - W_1}{100 - W_2}, \quad (7)$$

де W_1 – початкова відносна вологість, %; W_2 – кінцева відносна вологість, %.

Кількість води, що випаровується, за 1 годину, кг:

$$W = P - P'. \quad (8)$$

Тепловміст атмосферного повітря I_1 і сушильного агента I_2 через температуру і вологовміст можна визначити за формулою, ккал/г с.п. [5]:

$$I_{1,2} = 0,24t + \frac{d}{1000} (595 + 0,47t_{1,2}), \quad (9)$$

де t – температура, °С; d – вологовміст, г/кг с.п.

Витрата тепла на нагрівання матеріалу, ккал/кг:

$$g_{пр} = \frac{P'}{W} \cdot c_m \cdot (t_2 - t_1), \quad (10)$$

де c_m – питома теплоємність матеріалу, ккал/ кг°С; t_1 – температура повітря, °С; t_2 – температура сушильного агента, °С.

Питома витрата сухого повітря визначається з залежності:

$$t_2 = \frac{I_1 - \frac{g_{np} - t_0}{n} - 595 \left(\frac{1}{l} + \frac{d_0}{1000} \right)}{0,24 + 0,47 \left(\frac{1}{l} + \frac{d_0}{1000} \right)}, \quad (11)$$

де l – питома витрата сухого повітря на 1 кг вологи, що випаровується, кг с.п./кг в.м.

Годинна витрата електроенергії для нагрівання повітря за заданими параметрами сушіння визначається за формулою, кВт:

$$N_e = \frac{(I_1 - I_0) \cdot L}{859,845 \cdot \eta_e}, \quad (12)$$

де η_e – ККД калорифера.

Годинна витрата повітря, кг с.п./год:

$$L = l \cdot W. \quad (13)$$

У випадку застосування рідкого палива для нагрівання повітря годинна витрата палива розраховується за формулою, кг/год, [5]:

$$B = \frac{(I_2 - I_1) \cdot L}{H \cdot \eta_m}, \quad (14)$$

де H – теплотворна здатність палива, кДж/кг; η_m – ККД топкового агрегату.

Тоді питома витрата палива, кг/т:

$$b = \frac{B}{P}. \quad (15)$$

Площу поперечного перерізу повітропроводу приймається рівною площі поперечного перерізу внутрішньої сторони усіх коробів (рис.), м²;

$$F_{нов.} = n_{\kappa} \cdot F_{\kappa} = n_{\kappa} \cdot b_{\kappa} \cdot \left(h_{\kappa} - \frac{a_{\kappa}}{2} \right), \quad (16)$$

де n_{κ} – кількість повітрєпідвідних коробів; F_{κ} – площа поперечного перерізу короба, м²; b_{κ} – ширина короба, м; h_{κ} – висота короба, м; a_{κ} – висота вершини короба, м.

Швидкість повітряного потоку (сушильного агента) на вході у спрямовувачі повітропроводу визначається за загальною витратою сушильного агента, м/с:

$$\bar{\omega}_0 = \frac{V_{нов.}}{3600 \cdot F_{нов.}}. \quad (17)$$

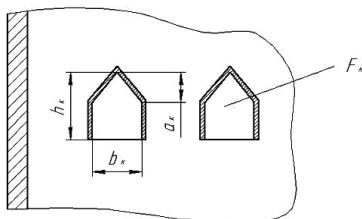


Рис. – До визначення площі поперечного перерізу коробів

Об'ємна витрата повітря:

$$V_{пов.} = L / \rho_{пов.}, \quad (18)$$

де $\rho_{пов.}$ – густина повітря, кг/м³.

Втрати тиску в системі визначаються за формулою:

$$P_c = \frac{\rho_{пов.} \cdot \bar{\omega}_0^2}{2g} \xi_k, \quad (19)$$

де ξ_k – коефіцієнт місцевого опору [6].

Динамічний тиск у повітропроводі:

$$P_o = \frac{\rho_{пов.} \cdot \bar{\omega}_0^2}{2g}. \quad (20)$$

Повний тиск вентилятора:

$$P_n = P_c + P_o. \quad (21)$$

Потужність $N_в$ електродвигуна вентилятора, кВт:

$$N_в = \frac{Q_в \cdot P'_n}{3600 \cdot 1000 \cdot \eta_в \cdot \eta_n \cdot \eta_k}, \quad (22)$$

де $Q_в$ – прогнозована кількість сушильного агента, що подається вентилятором, м³/год; $\eta_в = 0,7$ – ККД вентилятора; $\eta_n = 1$ – ККД пасової передачі; $\eta_k = 0,9$ – ККД, яким враховують втрату в підшипниках.

Загальне споживання електроенергії сушаркою:

$$N = N_c + N_в. \quad (23)$$

Питома витрата електроенергії на 1 т висушеного матеріалу:

$$N_n = N / P. \quad (24)$$

Розрахунок енергетичних затрат згідно із методикою проводився за допомогою програмного забезпечення. Вихідні дані: матеріал – ворох насіння трав, початкова вологість – 30 %, кондиційна вологість – 14 %, температура сушильного агента – 55°C, час сушіння –

27 хв. У таблиці наведені результати енергетичного розрахунку сушарки.

Таблиця -Результати розрахунку

Показники		Величина
Питома витрата	рідкого палива на нагрівання повітря	7,83 кг/т с.м
	електроенергії на нагрівання повітря	86,53 кВт/ т с.м
Питома витрата електроенергії (на роботу електродвигунів)		0,92 кВт
Питоме споживання електроенергії на привод вентилятора і сушильної камери		2,17 кВт/т с.м

Висновок. Результати свідчать про доцільність використання сушарки у лінії післязбирального обробітку сипких рослинних матеріалів для доведення матеріалу до кондиційної вологості.

Література

1. Пат. № 85766 Україна, МПК (2009) F26 B11/00. Барабанна сушарка / Дударев І.М., Кірчук Р. В., Кокалюк Л.Ю.; заявник і власник патенту Луцький державний технічний університет. – № а200706074; заявл. 01.06.2007р.; опубл. 25.02.2009, Бюл. №4.
2. Кокалюк Л.Ю. Обґрунтування параметрів спіралі сушарки насіння трав / Л.Ю. Кокалюк, Р.В. Стасюк // Сільськогосподарські машини: зб. наук. ст. – Луцьк: Ред.-вид. відділ ЛДТУ, 2007. – Вип. 16.– С. 106–111.
3. Новый справочник химика и технолога: процессы и аппараты химических технологий. – С.-Пб.: АНО НПО Професионал, 2004. – Ч. 1. – 848 с.
4. Иванченко Ф.К. Расчет грузоподъемных и транспортирующих машин / Ф.К. Иванченко, В.С. Бондарев, Н.К. Колесник, В.Я. Баранов– К.: Вища школа, 1978. – 576 с.
5. Карташевич С.М. Механико-технологические основы повышения эффективности механизированных комплексов для послеуборочной обработки зерна и семян (теория, расчет, результаты проектирования и испытаний технологических комплексов) / С.М. Карташевич. – Минск, 2001. – 288 с.
6. Иванов О.П., Мамченко В.О. Аэродинамика и вентиляторы: Учеб. для вузов. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1986. – 280 с.

Рецензент д.т.н., проф. В.Ф. Дідух