
ENERGY CALCULATION OF THE SPIRAL DRYER**L. Zabrodotska, S. Khomych, V. Yanush, Yu. Muravynets**Lutsk National Technical University, Lutsk, Ukraine

**ABSTRACT****Key words:**

drying,
spiral dryer,
specific expenses,
drying agent,
energy calculation

Article history:

Received 15.01.2020

Accepted 17.05.2020

Corresponding author:

zabrodotskalyudmila@
lutsk-ntu.com.ua

The article proposes a block diagram of the process of drying bulk plant materials in a spiral dryer, which covers a set of parameters that determine the drying result. To carry out energy-efficient high-quality drying of bulk agricultural materials and control the drying process in a dryer with spiral perforated surfaces, it is necessary to find such parameters of the dryer and drying agent that provide minimal heat and electricity consumption the required performance of the spiral dryer and the initial parameters of the bulk agricultural material. To assess the energy efficiency of the design of the spiral dryer, the specific energy consumption is set: for the drive of the drying chamber and the loading auger; on the formation of the drying agent; to inject the formed drying agent into the drying chamber and pass it through the entire volume of material at a given speed; for the operation of loading and unloading devices with the required bandwidth, the type of which may vary depending on the scheme of organization of the technological process. The presence of several spiral perforated surfaces allows reducing the height of the layers of bulk material on the turns of the perforated surfaces and leads to an increase in the contact area of the drying agent with the material. Due to this, uniform drying of the bulk agricultural material and efficient use of the energy potential of the drying agent is achieved.

<https://doi.org/10.36910/agromash.vi44.306>

УДК 631.365

ЕНЕРГЕТИЧНИЙ РОЗРАХУНОК СПІРАЛЬНОЇ СУШАРКИ**Л.Ю. Забродоцька, С.М. Хомич, В.О. Януш, Ю.В. Муравинець**

Луцький національний технічний університет, Луцьк, Україна

У статті запропоновано структурну схему процесу сушіння сипких рослинних матеріалів у спіральній сушиарці, яка охоплює комплекс параметрів, що визначають результат сушіння. Для здійснення енергоощадного якісного сушіння сипких сільськогосподарських матеріалів і керування процесом сушіння у сушиарці зі спіралеподібними перфорованими поверхнями, необхідно знайти такі параметри сушиарки та сушильного агента, які забезпечують мінімальні витрати тепла та електроенергії, необхідну продуктивність спіральної сушиарки та вихідні параметри матеріалу. Для оцінки енергетичної ефективності конструкції спіральної сушиарки встановлені витрати енергії: на привод сушильної камери і завантажувального шнека; на формування сушильного агента; на нагнітання сушильного агента в сушильну камеру і проходження його крізь весь об'єм сипкого матеріалу із заданою швидкістю; на роботу завантажувальних і вивантажувальних пристроїв із необхідною пропускною здатністю, тип яких може змінюватися залежно від схеми організації технологічного процесу. Наявність кількох спіральних перфорованих поверхонь у сушиарці дозволяє зменшити висоту шарів сипкого матеріалу на витках перфорованих поверхонь та призводить до збільшення площі контакту сушильного агента з матеріалом. За рахунок цього досягається рівномірне сушіння сипкого матеріалу та ефективне використання енергетичного потенціалу сушильного агента.

Ключові слова: сушіння, спіральна сушиарка, витрати енергії, сушильний агент, енергетичний розрахунок.

Стан питання та постановка проблеми

Створення сучасних технологій та обладнання для сушіння сипких рослинних матеріалів пов'язано із проблемою втрати вартості урожаю через його низькі якісні показники. Що, у свою чергу, зумовлює недоотримання аграріями від 30% до 50% вартості зерна, оскільки понад 70% вивезеного із країни зерна є фуражним [1, 2].

Сучасний рівень техніки для сушіння сипких рослинних матеріалів дозволяє проводити автоматизований процес сушіння залежно від

початкової вологості та температури зерна, регулюючи режим сушіння, а також переоснащувати теплогенератори на відходи біомаси, використовувати теплоту відпрацьованих газів із зони нагрівання, сушіння та охолодження зерносушарки [2].

Серед відомих способів сушіння сипких матеріалів у сільському господарстві найбільш поширений – конвективне сушіння. Для цього способу сушіння розроблено велику кількість різних за конструкцією сушарок: камерні, тунельні, шахтні, стрічкові, спіральні, барабанні, пневматичні, вібраційні [3 – 5]. Встановлено, що за питомими витратами тепла та електроенергії спіральні сушарки сипких рослинних матеріалів є ефективнішими за інші типи сушарок [6, 7, 10].

Мета дослідження – розробити методику визначення енергетичних витрат на сушіння сипких рослинних матеріалів у спіральній сушарці.

Матеріали і методи

Дослідження базувалися на основних положеннях теорії сушіння сипких матеріалів та теорії машин і механізмів. Під час розроблення методики енергетичного розрахунку також ураховувалися особливості конструктивного розрахунку сушарок зі спіральними робочими поверхнями (рис. 1).

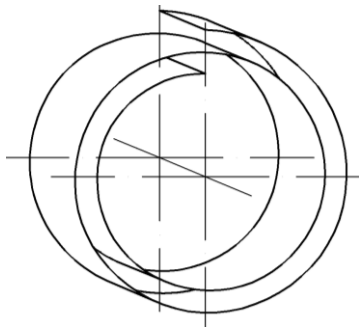


Рис. 1 – Спіральна робоча поверхня

Результати дослідження та обговорення

Одним із можливих шляхів інтенсифікації процесу сушіння сипкого матеріалу у спіральних сушарках є оптимізація параметрів матеріального та теплового балансів в синтезі із режимними параметрами сушіння та конструктивними параметрами сушарки.

Ураховуючи, що на процес сушіння в спіральних сушарках впливає велика кількість факторів, які здебільшого взаємопов'язані, усі

фактори були згруповані в окремі групи. Таким чином, процес сушіння в спіральних сушарках може бути представлений структурною схемою, яку представлено на рис. 2.



Рис. 2 – Структурна схема процесу сушіння у спіральних сушарках

Для оцінки енергетичної ефективності конструкції спіральної сушарки [8] необхідно встановити питомі витрати енергії [9]:

$$B_{\Delta W} = B_Q + B_N, \quad (1)$$

де $B_{\Delta W}$ – вартість енергетичних затрат на сушіння сипкого матеріалу від початкової до кінцевої вологості, грн.; B_Q – вартість тепла,

витраченого на сушіння матеріалу, грн.; B_N – вартість електроенергії, витраченої на сушіння матеріалу, грн.

Вартість електроенергії, витраченої на сушіння сипкого матеріалу, визначають за формулою [9]:

$$B_N = N_{\text{суш.}} \cdot C_N, \quad (2)$$

де $N_{\text{суш.}}$ – витрати електроенергії на сушіння сипкого матеріалу від початкової до кінцевої вологості, кВт/год.; C_N – вартість 1 кВт електроенергії, грн.

Витрати електроенергії на сушіння матеріалу становлять:

$$N_{\text{суш.}} = N_c + N_{\text{в.ш.}} + N_{\text{в.}}, \quad (3)$$

де N_c – потужність, необхідна для приводу сушарки, кВт; $N_{\text{в.ш.}}$ – потужність, необхідна для приводу вивантажувального шнека, кВт [4]; $N_{\text{в.}}$ – потужність електродвигуна вентилятора, кВт.

Потужність N_c (кВт) визначається як загальна потужність на привод сушильної камери і завантажувального шнека із урахуванням ККД приводу [6]:

$$N_c = \frac{1,856 \cdot \gamma_m \cdot D_c^{2,5} \cdot L_c \cdot S_3 + 0,002725 \cdot n_3 \cdot G_{3,ш} \cdot L_{3,ш} \cdot \omega_0}{\eta_{\text{пр}}}, \quad (4)$$

де γ_m – питома маса матеріалу, т/м³; D_c – діаметр сушильної камери, м; L_c – довжина сушильної камери, м; S_3 – коефіцієнт, що враховує заповнення сушильної камери сипким матеріалом; $n_3 = 1,2$ – коефіцієнт запасу; $G_{3,ш}$ – продуктивність завантажувального шнека, кг/год. [7]; $L_{3,ш}$ – довжина шнека, м; $\omega_0 = 1,2$ – коефіцієнт опору середовищу для легких неабразивних матеріалів; $\eta_{\text{пр}}$ – ККД приводу.

При роботі сушарки енергія також витрачається на вивантаження матеріалу із сушильної камери за допомогою вивантажувального шнека [10]. Потужність, необхідна для приводу вивантажувального шнека, визначається за формулою [10]:

$$N_{\text{в.ш.}} = \frac{n_3 \cdot G_{\text{в.ш.}} \cdot L_{\text{в.ш.}} \cdot \omega_0}{367}, \quad (5)$$

де $L_{\text{в.ш.}}$ – довжина вивантажувального шнека, м; $G_{\text{в.ш.}}$ – продуктивність вивантажувального шнека, кг/год.

Потужність $N_{\text{в.}}$ електродвигуна вентилятора, кВт [10]:

$$N_{\text{в.}} = \frac{Q_{\text{в.}} \cdot H_{\text{в.}}}{3600 \cdot 1000 \cdot \eta_{\text{в.}}}, \quad (6)$$

де $Q_{\text{в.}}$ – продуктивність вентилятора, м³/год.; $H_{\text{в.}}$ – приведений до густини повітря напір, що розвиває вентилятор, Н/м²; $\eta_{\text{в.}}$ – ККД двигуна вентилятора.

Продуктивність вентилятора визначається за формулою:

$$Q_g = \frac{L}{\rho_{ca}}, \quad (7)$$

де L – витрата сушильного агента, кг/год.; ρ_{ca} – густина сушильного агента на виході із сушарки, кг/м³.

Витрату сушильного агента визначають за формулою:

$$L = \rho_z \cdot v_z \cdot F_{c_{\text{ши}}}, \quad (8)$$

де $\rho_z \cdot v_z$ – масова швидкість сушильного агенту, кг/(м²·с); $F_{c_{\text{ши}}}$ – площа поперечного перерізу сушарки, м².

Вартість тепла, витраченого на сушіння сипкого матеріалу, визначають за формулою [9]:

$$B_Q = Q \cdot C_o, \quad (9)$$

де Q – витрати тепла на сушіння матеріалу від початкової до кінцевої вологості, кДж/год.; C_o – вартість 1 кДж тепла, грн.

Вартість 1 кДж тепла визначають за формулою [9]:

$$C_Q = \frac{C_n}{Q_B^p \cdot \eta_m}, \quad (10)$$

де C_n – ціна 1 кг палива, грн.; Q_B^p – вища теплотворна здатність палива, кДж/кг; η_m – ККД топки.

Витрати електроенергії (кВт) на сушіння сипких рослинних матеріалів [9]:

$$Q = Q_{\text{вип}} + Q_m + Q_{\kappa} + Q_{c.a}, \quad (11)$$

$$Q_{\text{вип}} = m_g (2480 + 1,85 t_{z.\text{вих}}), \quad (12)$$

$$Q_m = G \cdot c_m (t_{m.\kappa} - t_{n.c}), \quad (13)$$

$$Q_{\kappa} = 3,96 K_{\kappa} F_c (t_{z.c} - t_{n.c}), \quad (14)$$

$$Q_{c.a} = L c_o (t_{z.\text{вих}} - t_{n.c}), \quad (15)$$

де $Q_{\text{вип}}$ – витрата тепла на випаровування вологи, кДж/год.; Q_m – втрата тепла з висушеним матеріалом, кДж/год.; Q_{κ} – втрата тепла через циліндричних кожух сушарки, кДж/год.; $Q_{c.a}$ – втрата тепла із відпрацьованим сушильним агентом, кДж/год.; m_g – маса вологи, яка випаровується із сипкого матеріалу, кг/год.; $t_{z.\text{вих}}$ – температура відпрацьованих газів, °С; G – продуктивність сушарки за сухим матеріалом, кг/год.; c_m – теплоємність матеріалу, кДж/(кг·°С); $t_{m.\kappa}$ – температура матеріалу на виході із сушарки, °С; $t_{n.c}$ – температура навколишнього середовища, °С; K_{κ} – коефіцієнт теплопередачі через циліндричний кожух, Вт/(м²·°С); F_c – площа поверхні циліндричного

кожуха (сушильної камери), m^2 ; $t_{с.с}$ – середня температура у сушарці, $^{\circ}C$; L – витрата теплоносія, $кг/год.$; c_g – теплоємність газів на виході із сушарки, $кДж/(кг \cdot ^{\circ}C)$.

Маса вологи m_e ($кг/год.$), яка випаровується із сипкого рослинного матеріалу [3]:

$$m_e = G \frac{W_{поч} - W_k}{100 - W_k}, \quad (16)$$

де G – продуктивність сушарки за сипким матеріалом, $кг/с$; $W_{поч}$ – початкова відносна вологість сипкого рослинного матеріалу, $\%$; W_k – кінцева відносна вологість сипкого рослинного матеріалу, $\%$.

Продуктивність G ($кг/с$) спіральної сушарки за сипким матеріалом визначають за формулою [7]:

$$G = \frac{n_{с.л} m_{с.м} \omega_{с.л}}{(2\pi + n_{с.л} \varepsilon_{роб})} \cdot \frac{(100 - W_{поч})}{(100 - W_{кін})}, \quad (17)$$

де $n_{с.л}$ – кількість спіральних робочих поверхонь, шт.; $m_{с.м}$ – маса сформованої порції сипкого матеріалу із початковою відносною вологістю $W_{поч}$ на першому витку спіральної робочої поверхні, $кг$; $\omega_{с.л}$ – кутова швидкість обертання спіральної робочої поверхні, $рад/с$; $\varepsilon_{роб}$ – кут спіральної робочої поверхні, в межах якого відбувається процес сушіння, $рад$.

Висновки

Встановлено основні напрями енергетичних витрат на сушіння сипких рослинних матеріалів у сушарці із спіралеподібною поверхнею сушильної камери. Запропоновано методику енергетичного розрахунку спіральної сушарки, яка дозволить об'єктивно та комплексно проаналізувати вартість енергетичних витрат на сушіння сипкого матеріалу від початкової до кінцевої вологості.

Список посилань

1. Бондар, О. Сушильне та очисне обладнання для зерна / О. Бондар // Agroexpert : практичний посібник аграрія. – 2009. – №11(16). – С. 102–105.
2. Пазюк, О. Д. Вібраційні зерносушарки як спосіб інтенсифікації та підвищення економічності процесу сушіння зерна / О. Д. Пазюк, І. П. Паламарчук // Вібрації в техніці та технологіях. – 2010. – №4(60). [Електронний ресурс]. – Режим доступу до журн. : <http://repository.vsau.org/getfile.php/8895.pdf>

3. Дідух, В. Ф. Підвищення ефективності сушіння сільськогосподарських матеріалів : монографія / В. Ф. Дідух. – Луцьк : ЛДТУ, 2002. – 165 с.
4. Патент №85766 UA, МПК F26B11/00, F26B9/08. Барабанна сушарка / Дударев І. М., Кірчук Р. В., Кокалюк Л. Ю.; заявл. 01.06.2007; опубл. 25.02.2009; Бюл. №4, 2009 р.
5. Патент №36392 UA, МПК F26B17/00. Барабанна сушарка / Кокалюк Л. Ю., Дударев І. М., Кірчук Р. В.; заявл. 12.05.2008; опубл. 27.10.2008; Бюл. №20, 2008 р.
6. Забродоцька, Л. Ю. Дослідження та вдосконалення процесу сушіння вороху насіння трав : монографія / Л. Ю. Забродоцька. – Луцьк : ЛНТУ, 2013. – 164 с.
7. Дударев, І. М. Розрахунок машин зі спіральними робочими поверхнями : монографія / І. М. Дударев. – Луцьк : Луцький НТУ, 2017. – 227 с.
8. Патент №104470 UA, МПК F26B11/00, F26B11/02, F26B11/04, F26B17/00. Барабанна сушарка / Дударев І. М.; заявл. 19.05.2014; опубл. 10.02.2016; Бюл. №3, 2016 р.
9. Бехта, П. А. Математичне моделювання та оптимізація процесу сушіння солом'яної стружки в циклонно-спіральній сушарці / П. А. Бехта, Р. О. Козак // Наукові праці Лісівничої академії наук України : збірник наукових праць. – 2013. – №11.
10. Забродоцька, Л. Ю. Визначення енергетичних витрат на сушіння сипких рослинних матеріалів у сушарці / Л. Ю. Забродоцька // Сільськогосподарські машини : зб. наук. ст. – Луцьк : ЛНТУ, 2014. – Вип. 28. – С. 18–23. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до журн. : <http://www.agrmash.info/zb/28/6.pdf>