

УДК 631.365

І. Дударєв, канд. техн. наук

Луцький національний технічний університет

ОБГРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ БАРАБАННОЇ СУШАРКИ

У статті обґрунтовано необхідність удосконалення сушильної техніки для сільського господарства шляхом розробки енергоощадних способів сушіння. Запропоновано удосконалену конструкцію барабанної сушарки, що забезпечує раціональне використання сушильного агента та зниження енерговитрат на процес сушіння рослинного матеріалу. Отримано аналітичні залежності для обґрунтування таких технологічних та конструктивних параметрів барабанної сушарки, як швидкість переміщення матеріалу вздовж сушильної камери, середня інтенсивність видалення вологи з шару матеріалу, довжина камери сушіння.

Ключові слова: барабанна сушарка, сушильна камера, сушильний агрегат, рослинний матеріал.

I. Dudarev

SUBSTANTIATION OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF DRUM DRYER

A necessity of improvement of drying technique for agriculture by development of new methods of the drying is grounded in article. An improved construction of drum dryer, which secures the rational use of drying agent and decline of energy expenditures on process of the drying a material is offered. Analytical dependences are got for the ground of such technological and structural parameters of drum dryer, as a speed of the material moving along the drying chamber, middle intensity of moisture removal with to the material layer, length of chamber of the drying.

Key words: drum dryers, drying chambers, drying units, plant material.

Умовні позначення

- α – коефіцієнт тепловіддачі, Вт/(м²·°C);
- t_h – температура сушильного агента, °C;
- t_m – температура матеріалу, °C;
- F – площа пор у поперечному перерізі шару, м²;
- ω – швидкість сушильного агента у шарі матеріалу, м/с;
- c_p – теплоємність сушильного агента при сталому тиску, Дж/(кг·°C);
- γ – питома маса сушильного агента, кг/м³;
- t_{hm} – температура сушильного агента на вході в шар матеріалу, °C;
- t_{hk} – температура сушильного агента на виході з шару матеріалу, °C;
- S_h – площа поверхні частинок у шарі висотою h , м²;
- S_{he} – площа поверхні частинок в елементарному шарі, м²;
- d_k – діаметр кульки, м;
- q_h – середня інтенсивність сушіння шару висотою h , кг/с;
- q_0 – інтенсивність сушіння початкового елементарного шару матеріалу, кг/(м²·с);
- m_b – маса вологи, що видаляється з шару матеріалу при переміщенні його на відстань l вздовж сушильної камери, кг вол./м;
- m_{B3} – загальна маса вологи, яку необхідно видалити з розглядуваного шару матеріалу поверхнею S_h , кг вол.;
- m_n – початкова маса матеріалу, кг;
- W_n, W_k – відповідно, відносна вологість матеріалу на початку та в кінці сушіння, %.

Постановка проблеми. Постійне підвищення цін на енергоресурси вимагає розробки нових енергоощадних способів сушіння рослинних матеріалів та технічних рішень для їх реалізації. Існуючі у господарствах України засоби сушіння технічно та морально застарілі, мають високу енергоємність. Як наслідок, це призвело до відмови від механізованого сушіння рослинних матеріалів і заміни його природним сушінням, ефективність та можливість якого залежить від погодних умов, а також вимагає значних трудових затрат. Відсутність механізованого сушіння спричиняє гальмування розвитку сільськогосподарських підприємств та унеможливує нарощування виробництва сільськогосподарської продукції, оскільки за несприятливих погодних умов немає можливості зберегти продукцію у повному об'ємі. Саме тому удосконалення сушильної техніки, шляхом розробки енергоощадних способів сушіння, та обґрунтування раціональних режимів її роботи є актуальною проблемою.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питанню сушіння рослинних матеріалів та пошуку шляхів його удосконалення присвячено багато наукових праць, серед них можна виділити роботи Кришера О., Гінзбурга А.С., Котова Б.І., Дідуха В.Ф., Федосєєва П.Н. [1-5]. Зокрема, значна увага Кришером О. та Гінзбургом А.С. приділена вивченню фізико-механічних та аеродинамічних властивостей рослинних матеріалів [1,2]. Наукові роботи Котова Б.І. [3], Дідуха В.Ф. [4] та Федосєєва П.Н. [5] присвячені дослідженням процесу сушіння рослинних матеріалів у товстому шарі та пошуку раціональних способів та режимів сушіння. Поряд з тим, багато питань залишаються малодослідженими. У статті пропонується удосконалена конструкція барабанної сушарки, що потребує додаткових теоретичних досліджень з обґрунтування її технологічних параметрів.

Мета досліджень. Метою дослідження є удосконалення конструкції барабанної сушарки шляхом реалізації енергоощадного способу підведення сушильного агента до матеріалу, а також обґрунтування її технологічних параметрів.

Результати досліджень. У більшості конструкцій барабанних сушарок сушильний агент рухається вздовж осі сушильної камери. Таке підведення забезпечує його контакт лише з верхніми шарами матеріалу в нижній частині сушильної камери та з матеріалом, який піднімається і пересипається лопатями. Більш ефективне використання сушильного агента в барабанних сушарках можна досягти при його підведенні під шар матеріалу. Реалізувати таке підведення дозволяє конструкція сушарки, що пропонується на рисунку 1.

Сушарка містить сушильний барабан, утворений циліндричним кожухом зі співвісно розташованим у ньому перфорованим конусом. Простір між циліндричним кожухом та перфорованим конусом розділений перегородками на секції. З обох торців сушильний барабан обладнано нерухомими кришками, в одній з яких передбачено вікна завантаження матеріалу та підведення сушильного агента, а в іншій – вікна вивантаження матеріалу та відведення сушильного агента. На внутрішній поверхні перфорованого конуса передбачено полицьки. До вікна підведення сушильного агента приєднано нагнітаючий вентилятор з паливним блоком, а до вікна відведення сушильного агента – приєднано відсмоктувальний вентилятор. Форма і розміщення вікна підведення сушильного агента забезпечує його підведення виключно в секції (у нижній частині сушильного барабана), що співпадають з ним під час обертання сушильного барабана. Форма і розміщення вікна відведення сушильного агента забезпечує його відведення виключно через секції (у верхній частині сушильного барабана), що співпадають з ним під час обертання сушильного барабана. При співпадінні секцій під час обертання сушильного барабана з вікнами підведення та відведення сушильного агента утворюються “повітряні канали”. Запропонована конструкція забезпечує більш ефективне використання сушильного агента за рахунок проходження його через шар матеріалу.

Внаслідок малої кутової швидкості обертання барабанної сушарки, шар матеріалу в ній протягом нескінченно малого проміжку часу dt можна розглядати як

нерухомий. Враховуючи також, що діаметр сушильної камери значно більший за розміри частинок матеріалу, шар матеріалу в поперечному перерізі сушильної камери можна розглядати, як утворений елементарними шарами висотою в одну частинку матеріалу dh , що послідовно омиваються сушильним агентом, який рухається через них знизу вгору у площині, перпендикулярній осі сушильної камери (рис.2). Позначивши поверхню окремої частинки матеріалу в елементарному шарі через dS_h , складемо рівняння енергетичного балансу нерухомого елементарного шару для періоду постійної швидкості сушіння [1]:

$$\alpha(t_h - t_m)dS_h = F \omega c_p \gamma dt_h, \quad (1)$$

або

$$\frac{dt_h}{t_h - t_m} = \frac{\alpha}{F \omega c_p \gamma} dS_h. \quad (2)$$

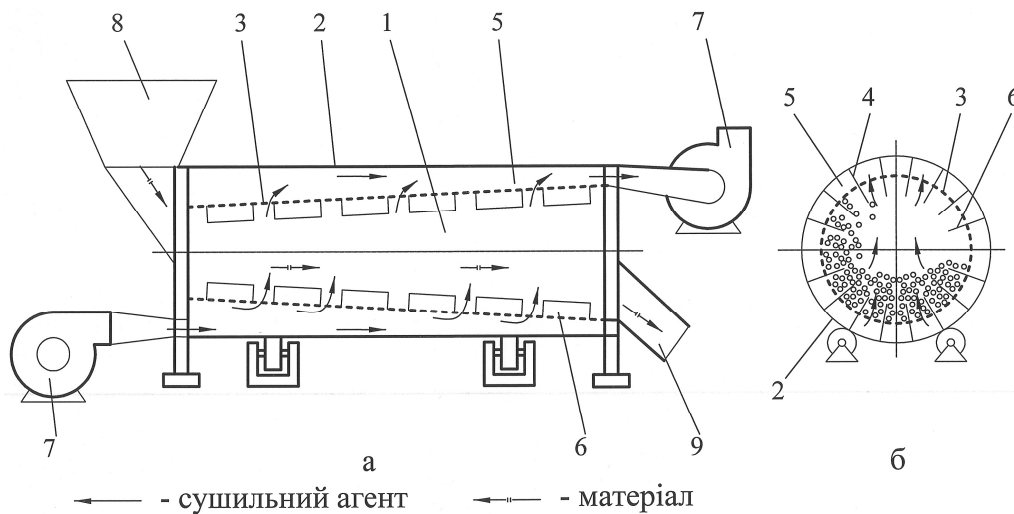


Рисунок 1 – Барабанна сушарка: 1 – сушильний барабан; 2 – циліндричний кожух; 3 – перфорований конус; 4 – перегородка; 5 – секція; 6 – полицка; 7 – вентилятор; 8 – завантажувальний бункер; 9 – вивантажувальний патрубок

Оскільки висота шару, через який проходить сушильний агент, є невеликою, його параметри можна прийняти сталими за висотою шару та проінтегрувати вираз (2):

$$\int_{t_{hn}}^{t_{hk}} \frac{dt_h}{t_h - t_m} = \int_0^{S_h} \frac{\alpha}{F \omega c_p \gamma} dS_h. \quad (3)$$

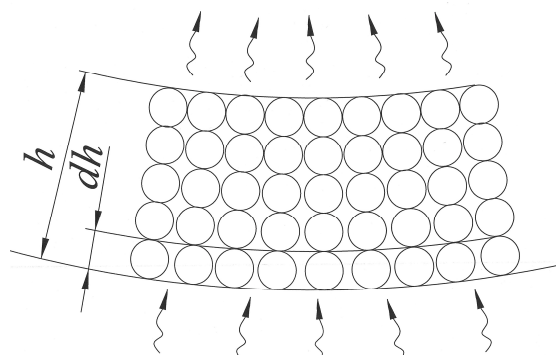


Рисунок 2 – Шар матеріалу в поперечному перерізі сушильної камери

З (3) отримаємо:

$$t_{hn} - t_m = (t_{hk} - t_m) e^{-\frac{\alpha S_h}{F \omega c_p \gamma}} \quad (4)$$

Замінімо частинку матеріалу кулькою, площа поверхні якої рівна площі поверхні частинки, а діаметр рівний висоті елементарного шару матеріалу. Тоді, прийнявши, що площа поверхні всіх частинок однакова, висоту шару матеріалу можна визначити наступним чином:

$$h = \frac{S_h}{S_{he}} \cdot d_k \quad (5)$$

Визначивши з рівняння (4) величину S_h та підставивши її в рівняння (5), отримаємо:

$$h = -\frac{d_k F \omega c_p \gamma}{\alpha S_{he}} \cdot \ln \left[\frac{t_{hn} - t_m}{t_{hk} - t_m} \right] \quad (6)$$

Середня інтенсивність видалення вологи з шару матеріалу висотою h згідно [5]:

$$q_h = \frac{q_0 F \omega c_p \gamma}{\alpha} \cdot \left[1 - e^{-\frac{\alpha S_h}{F \omega c_p \gamma}} \right] \quad (7)$$

Припустимо, що при переміщенні розглядуваного шару матеріалу вздовж сушильної камери за час τ_h на відстань l сушильний агент проходить через шар матеріалу шлях h . Тоді маса вологи, яка буде видалена з розглядуваного шару поверхнею S_h при переміщенні його на відстань l , складе:

$$m_B = \frac{q_h h}{\omega} \quad (8)$$

У запропонованій конструкції сушарки сушильний агент підводиться до шару матеріалу вздовж камери з однаковими початковими параметрами. Приймаючи, що вологовіддача матеріалу теж однакова, тоді раціональну довжину камери можна визначити наступним чином:

$$L = \frac{m_{B3}}{m_B} \quad (9)$$

Загальна маса вологи, яку необхідно видалити з шару матеріалу:

$$m_{B3} = m_n \cdot \frac{(W_n - W_k)}{(100 - W_k)} \quad (10)$$

Після підстановки в залежність (9) рівнянь (6), (7), (8), (10) та провівши необхідні перетворення, отримаємо:

$$L = \frac{m_n \alpha^2 S_{he} (W_n - W_k)}{q_0 d_k \omega F^2 c_p^2 \gamma^2 (100 - W_k) \left[1 - e^{-\frac{\alpha S_h}{F \omega c_p \gamma}} \right] \ln \left[\frac{t_{hn} - t_m}{t_{hk} - t_m} \right]} \quad (11)$$

Необхідна швидкість переміщення матеріалу вздовж сушильної камери, м/с:

$$V_M = \frac{L}{\tau_h} = \frac{L \omega}{h} = \frac{m_n \alpha^3 S_{he}^2 (W_n - W_k)}{q_0 d_k^2 \omega F^3 c_p^3 \gamma^3 (100 - W_k) \left[1 - e^{-\frac{\alpha S_h}{F \omega c_p \gamma}} \right] \ln^2 \left[\frac{t_{hn} - t_m}{t_{hk} - t_m} \right]} \quad (12)$$

Висновок. Запропонована конструкція барабанної сушарки забезпечує зниження енерговитрат на процес сушіння за рахунок більш ефективного використання сушильного агента. Отримані залежності (6), (7), (11), (12) дозволяють визначити технологічні та конструктивні параметри барабанної сушарки.

Література

1. Кришер О. Научные основы техники сушки. Пер. с нем. Д.М. Левина. Под ред. А.С. Гинзбурга. М.: Издательство иностранной лит., 1961. – 535 с.
2. Гинзбург А.С. Основы теории и техники сушки пищевых продуктов. – М.: Пищевая промышленность, 1973. – 528 с.
3. Котов Б.И. Технологические и теплоэнергетические основы повышения эффективности сушки растительного сырья: Дис. д-ра техн. наук: 05.20.01 / УААН, Ин-т механизации и электрификации с. х. – Глеваха, 1994. 440 с.
4. Дідух В.Ф. Підвищення ефективності сушіння сільськогосподарських рослинних матеріалів. Монографія. – Луцьк: ЛДТУ, 2002. – 165 с.
5. Федосеев П.Н. Использование атмосферного воздуха для сушки урожая зерновых и кормовых культур. / Мех. и электр. сел. хоз., 1983, № 11. – С. 33-35.

Одержано 29.01.2009 р.