

УДК 631.362.7:539.215

І. Дударєв, канд. техн. наук; В. Тимошук

Луцький національний технічний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ПЕРЕМІЩЕННЯ МАТЕРІАЛУ СУШАРКОЮ

Резюме. У статті запропоновано конструкцію сушарки для сипких сільськогосподарських матеріалів. Застосування запропонованої конструкції сушарки дозволяє підвищити продуктивність її роботи завдяки повному використанню об'єму сушильної камери. Крім того, конструкція сушарки дозволяє сушити сипкий матеріал двома способами: з елементами принципу протитечії та з елементами принципу прямого потоку. Також у статті досліджено процес переміщення матеріалу лопатями сушарки. Аналітичним шляхом отримано залежність, що дозволяє обґрунтувати конструктивні параметри сушарки.

Ключові слова: сушарка, секція, сипкий матеріал, лопать, шлях, кут.

I. Dudarev, V. Tymoschuk

RESEARCH OF PROCESS OF THE MATERIAL MOVING BY DRYER

The summary. A dryer construction is offered in article for the crumbly agricultural materials. The application of dryer construction promotes productivity of its work on account of full use of volume of drying chamber. In addition, the dryer construction realizes the drying a crumbly material in two methods: with elements of principle of against stream and with elements of principle of direct stream. Also in article a process of the material moving by the dryer blades is researched. Analytical dependence is got for the ground of structural parameters of dryer.

Key words: dryer, section, crumbly material, blade, way, corner.

Умовні позначення:

- m – маса частинки сипкого матеріалу, кг;
 n – шлях, що проходить частинка сипкого матеріалу вздовж осі O_n , м;
 τ – шлях, що проходить частинка сипкого матеріалу вздовж осі O_τ , м;
 g – прискорення вільного падіння, м/с²;
 t – час, с;
 γ_0 – кут між горизонталлю та радіусом, проведеним до початку перевантажувального вікна, град.;
 γ – кут повороту лопаті, за який матеріал сходить з неї, град.;
 F_{mp} – сила тертя, Н;
 F_{in} – сила інерції переносного руху, Н;
 N – нормальна реакція поверхні лопаті, Н;
 F_k – коріолісова сила, Н;
 R – відстань від центру обертання O_1 до зовнішнього краю лопаті секції, що розглядається, м;
 ω – кутова швидкість обертання лопаті, рад./с;
 V_r – відносна швидкість руху частинки матеріалу вздовж лопаті, м/с;
 f – коефіцієнт тертя;
 $n1$ – загальний розв'язок однорідного диференціального рівняння;
 $n2$ – частковий розв'язок неоднорідного диференціального рівняння;
 $n21, n22$ – часткові розв'язки неоднорідного диференціального рівняння;
 N, M, L, c_1, c_2 – сталі;
 l – довжина лопаті.

Постановка проблеми. Сушіння рослинних матеріалів – енергоємний процес, що в умовах постійного подорожчання енергоресурсів призводить до відмови від нього в господарствах. Як наслідок – неможливість збирати та переробляти врожай за несприятливих погодних умов та значні його втрати. Знизити витрати на процес можна, ефективніше використовуючи сушильний агент та збільшуючи продуктивність сушарок. Виконати це завдання реально, якщо удосконалити існуючі та розробити нові зразки сушильної техніки, обґрунтовуючи їхні раціональні конструктивні та технологічні параметри.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз існуючих конструкцій сушарок, що використовують для сушіння сипких сільськогосподарських матеріалів [1], а також патентний пошук [2-5] показали, що основним недоліком відомих конструкцій засобів сушіння є неповне використання об'єму сушильної камери, що спричиняє зниження продуктивності та нераціональне використання сушильного агента. До недоліків належить і те, що способи сушіння, реалізовані у відомих конструкціях засобів сушіння, енергоємні, оскільки не забезпечують оптимальних температурних режимів сушіння. Таким чином, виникає необхідність розробити нові засоби сушіння, які б усували зазначені недоліки. Нові розроблення сушарок сипких матеріалів потребують додаткових досліджень для визначення раціональних конструктивних та технологічних параметрів машини.

Мета досліджень – розробити конструкції сушарки сипких матеріалів, а також дослідити процес переміщення матеріалу сушаркою.

Результати досліджень. Сушарка сипких матеріалів, запропонована на рисунку 1, містить сушильну камеру, яка утворена корпусом із порожниною. Внутрішня поверхня корпусу виконана перфорованою. У верхній частині його обладнано завантажувальним вікном з бункером. У середині корпусу коаксіально розміщені перфоровані циліндричні обичайки різного діаметра. У середині обичайки, з найменшим діаметром, також коаксіально розміщена циліндрична вставка з порожниною. Зовнішню поверхню вставки виконано перфорованою. У свою чергу всередині вставки коаксіально розміщений вивантажувальний шнек. Простір між обичайками, а також ними і корпусом та вставкою, утворює багатосекційну сушильну камеру (сушильні секції у перерізі мають форму кільця). Вставка та обичайки у верхній частині обладнані перевантажувальними вікнами. У межах кожної секції передбачені лопаті, які приєднані до диска, що обертається. З обох торців до корпусу кріпляться кришки.

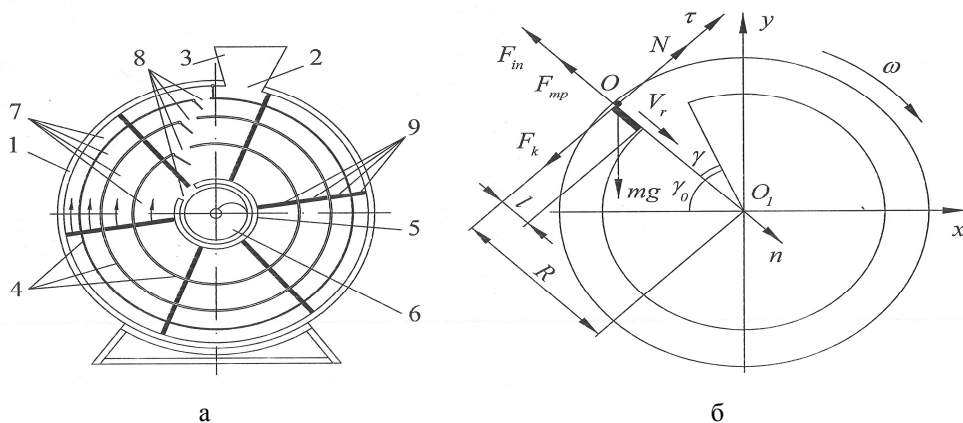


Рис. 1. Сушарка сипких матеріалів (а) та її розрахункова схема (б):

1 – корпус; 2 – завантажувальне вікно; 3 – бункер; 4 – перфоровані циліндричні обичайки; 5 – циліндрична вставка; 6 – вивантажувальний шнек; 7 – сушильні секції; 8 – перевантажувальні вікна; 9 – лопаті

Сушарка сипких матеріалів працює так. Сипкий матеріал із бункера через завантажувальне вікно надходить у периферійну (зовнішню) секцію сушильної камери. У цій секції між сусідніми лопатями формується порція сипкого матеріалу, яка переміщується ними секцією до перевантажувального вікна в наступну секцію. Далі процес повторюється у всіх наступних секціях. Досягнувши перевантажувального вікна у вставці, тобто пройшовши останню секцію, матеріал надходить до шнека, який вивантажує його з сушарки.

Під час переміщення сипкого матеріалу сушильною камерою відбувається його сушіння. Конструкція сушарки дозволяє сушити сипкий матеріал двома способами: з елементами принципу протитечії та з елементами принципу прямогоку. У випадку протитечії сушильний агент підводиться через патрубок у порожнину вставки, звідки надходить до матеріалу в сушильній камері. Сушильний агент, проходячи через матеріал усіх секцій від центру до периферії у радіальному напрямку, підсушує його та відводиться у порожнину корпусу, а звідти через патрубок – назовні.

У випадку прямогоку рух сушильного агента забезпечується від периферії до центру сушильної камери так. Сушильний агент через патрубок надходить у порожнину корпусу, звідки підводиться до матеріалу. Проходячи всі секції сушильної камери від периферії до центру в радіальному напрямку, сушильний агент підсушує матеріал та відводиться у порожнину циліндричної вставки, звідки через патрубок виводиться назовні.

Переміщення сипкого матеріалу із секції у секцію відбувається пересипанням через перевантажувальні вікна. Обґрунтуємо мінімально необхідний розмір перевантажувального вікна для забезпечення пересипання матеріалу в повному обсязі. Розглянемо процес переміщення найбільш віддаленої від центра обертання O_1 частинки матеріалу лопаттю. Частинку матеріалу розглядатимемо як матеріальну точку. Таким чином, частинка матеріалу здійснює відносний рух лопаттю, починаючи із точки O , що міститься на відстані R від центра обертання O_1 . Шлях, який має пройти частинка матеріалу лопаттю, дорівнює довжині лопаті l . Уздовж лопаті спрямуємо рухому вісь On , перпендикулярно лопаті – вісь $O\tau$. На частинку діє сила ваги mg , сила тертя F_{mp} та нормальна реакція поверхні лопаті N . Оскільки переносним є обертальний рух лопаті в площині xO_1y навколо центра O_1 з постійною кутовою швидкістю ω , то на частинку також діятимуть відцентрова сила інерції F_{in} та коріолісова сила інерції F_k . Знехтуємо впливом сили повітряного потоку на частинку, оскільки швидкість сушильного агента незначна. Спроектувавши всі сили на осі On та $O\tau$, одержимо:

$$\begin{cases} m \frac{d^2 n}{dt^2} = mg \sin(\gamma_0 + \gamma) - F_{mp} - F_{in}; \\ m \frac{d^2 \tau}{dt^2} = N - F_k - mg \cos(\gamma_0 + \gamma). \end{cases} \quad (1)$$

Сила інерції переносного руху

$$F_{in} = m(R - n)\omega^2 = mR\omega^2 - m\omega^2 n. \quad (2)$$

Коріолісова сила інерції

$$F_k = 2m\omega V_r \sin(\bar{\omega}, \vec{V}_r) = 2m\omega \frac{dn}{dt}. \quad (3)$$

Сила тертя

$$F_{mp} = fN. \quad (4)$$

Оскільки частинка рухається уздовж лопаті, то $\frac{d^2 \tau}{dt^2} = 0$. З другого рівняння системи (1) визначимо нормальну реакцію поверхні лопаті

$$N = 2m\omega \frac{dn}{dt} + mg \cos(\gamma_0 + \gamma). \quad (5)$$

Кут повороту лопаті γ можна записати так:

$$\gamma = \omega t. \quad (6)$$

Підставляючи в перше рівняння системи (1) значення сил тертя F_{mp} та інерції переносного руху F_{in} , а також зробивши заміну $\gamma = \omega t$, після перетворень отримаємо:

$$\frac{d^2 n}{dt^2} = g(\sin \gamma_0 - f \cos \gamma_0) \cos(\omega t) + g(\cos \gamma_0 + f \sin \gamma_0) \sin(\omega t) - 2f\omega \frac{dn}{dt} + \omega^2 n - R\omega^2. \quad (7)$$

Далі позначимо

$$A = g(\sin \gamma_0 - f \cos \gamma_0), \quad B = g(\cos \gamma_0 + f \sin \gamma_0), \quad D = -R\omega^2. \quad (8)$$

Тоді рівняння (7) матиме вигляд

$$\frac{d^2 n}{dt^2} + 2f\omega \frac{dn}{dt} - \omega^2 n = A \cos(\omega t) + B \sin(\omega t) + D. \quad (9)$$

Розв'язок неоднорідного диференціального рівняння (9) шукатимемо у вигляді

$$n = n_1 + n_2. \quad (10)$$

Знайдемо загальний розв'язок однорідного диференціального рівняння:

$$\frac{d^2 n}{dt^2} + 2f\omega \frac{dn}{dt} - \omega^2 n = 0. \quad (11)$$

Складемо характеристичне рівняння для рівняння (11):

$$k^2 + 2f\omega k - \omega^2 = 0. \quad (12)$$

Корені характеристичного рівняння (12) k_1 та k_2 :

$$k_{1,2} = \omega(-f \pm \sqrt{f^2 + 1}). \quad (13)$$

Розв'язок однорідного диференціального рівняння:

$$n_1 = c_1 e^{k_1 t} + c_2 e^{k_2 t}. \quad (14)$$

Частковий розв'язок неоднорідного рівняння шукатимемо у вигляді

$$n_2 = n_{21} + n_{22}. \quad (15)$$

Частковий розв'язок n_{21} :

$$n_{21} = N \cos(\omega t) + M \sin(\omega t). \quad (16)$$

Двічі диференціюючи (16) та підставивши отримані значення у рівняння (9), визначимо значення сталих N та M :

$$N = -\frac{A + Bf}{2\omega^2(1 + f^2)}, \quad M = \frac{Af - B}{2\omega^2(1 + f^2)}. \quad (17)$$

Підставляючи N та M у рівняння (16), отримаємо:

$$n_{21} = -\frac{A + Bf}{2\omega^2(1 + f^2)} \cos(\omega t) + \frac{Af - B}{2\omega^2(1 + f^2)} \sin(\omega t). \quad (18)$$

Частковий розв'язок n_{22} :

$$n_{22} = L. \quad (19)$$

Двічі диференціюючи рівняння (19) та підставляючи отримані значення у (9), знайдемо L :

$$L = -\frac{D}{\omega^2}. \quad (20)$$

Коли підставимо вирази (18) та (19) у вираз (15), частковий розв'язок неоднорідного рівняння матиме такий вигляд:

$$n_2 = -\frac{A + Bf}{2\omega^2(1 + f^2)} \cos(\omega t) + \frac{Af - B}{2\omega^2(1 + f^2)} \sin(\omega t) - \frac{D}{\omega^2}. \quad (21)$$

Таким чином, загальний розв’язок неоднорідного диференціального рівняння (9) матиме вигляд:

$$n = c_1 e^{(\sqrt{f^2+1}-f)\omega t} + c_2 e^{-(\sqrt{f^2+1}+f)\omega t} - \frac{A+Bf}{2\omega^2(1+f^2)} \cos(\omega t) + \frac{Af-B}{2\omega^2(1+f^2)} \sin(\omega t) - \frac{D}{\omega^2}. \quad (22)$$

Для визначення сталих c_1 та c_2 продиференціюємо рівняння (22):

$$\begin{aligned} \frac{dn}{dt} = & c_1 (\sqrt{f^2+1}-f) \omega e^{(\sqrt{f^2+1}-f)\omega t} - c_2 (\sqrt{f^2+1}+f) \omega e^{-(\sqrt{f^2+1}+f)\omega t} + \\ & + \frac{A+Bf}{2\omega(1+f^2)} \sin(\omega t) + \frac{Af-B}{2\omega(1+f^2)} \cos(\omega t). \end{aligned} \quad (23)$$

Враховуючи початкові умови $t = 0$, $n = \frac{dn}{dt} = 0$, із рівнянь (22) та (23) знайдемо сталі c_1 та c_2 :

$$c_1 = \frac{1}{\omega^2} \left[\frac{g \sin \gamma_0}{2} - R\omega^2 - \frac{1}{2\sqrt{f^2+1}} \left(\left(\frac{g \sin \gamma_0}{2} - R\omega^2 \right) (\sqrt{f^2+1}-f) - \frac{g \cos \gamma_0}{2} \right) \right], \quad (24)$$

$$c_2 = \frac{1}{2\omega^2 \sqrt{f^2+1}} \left[\left(\frac{g \sin \gamma_0}{2} - R\omega^2 \right) (\sqrt{f^2+1}-f) - \frac{g \cos \gamma_0}{2} \right]. \quad (25)$$

Враховуючи (8), загальний розв’язок неоднорідного диференціального рівняння (22) матиме такий вигляд:

$$n = c_1 e^{(\sqrt{f^2+1}-f)\omega t} + c_2 e^{-(\sqrt{f^2+1}+f)\omega t} - \frac{g}{2\omega^2} (\sin \gamma_0 \cos(\omega t) + \cos \gamma_0 \sin(\omega t)) + R. \quad (26)$$

Задаючи значення шляху n , який проходить частинка матеріалу, що в даному випадку є довжиною лопаті l (шириною секції), можна визначити час руху t . Після цього з (6) знайти мінімально необхідне значення кута γ , яке забезпечувало б повне перевантаження матеріалу з однієї секції у наступну. Оскільки аналітичний розв’язок рівняння (26) є складним, доцільно побудувати графічну залежність $n(t)$, з якої за відомим значенням довжини лопаті n можна визначити час t .

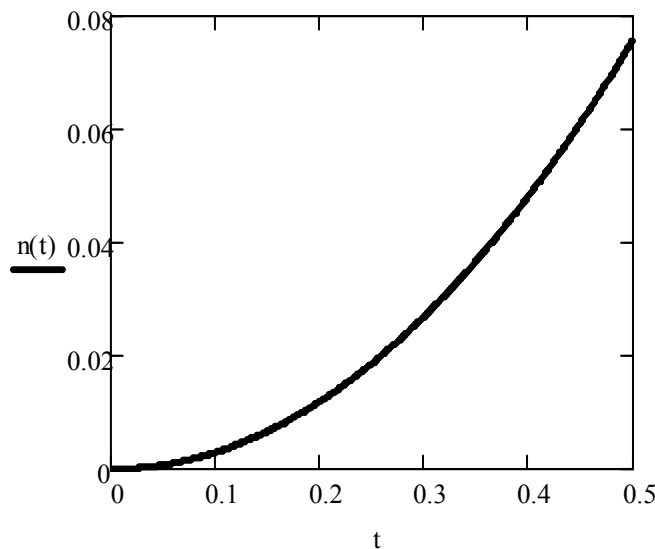


Рис.2 . Графічна залежність шляху n , що проходить частинка матеріалу, від часу t , якщо:

$$R = 0,4 \text{ м}; f = 0,4; \omega = 0,01 \text{ рад/с}; \gamma_0 = 25 \text{ град.}$$

Висновки. Запропонована конструкція сушарки сипких матеріалів дозволяє підвищити продуктивність її роботи завдяки повному використанню об’єму сушильної камери та реалізувати енергоощадні способи сушіння. Отримана аналітичним шляхом залежність (26) дозволяє визначити конструктивні параметри сушарки.

Література

1. Сельскохозяйственные машины и основы эксплуатации МТП / [Б.Н. Четыркин, З.И. Воцкий, В.Д. Саклаков и др.]. – М.: Колос, 1981. – 431 с.
2. Патент на корисну модель №39858 Україна, МПК F26B17/04. Барабанна сушарка / Дударєв І.М., Голячук С.С., Лук'янчук Т.М.; заявлено 13.11.2008; опубл. 10.03.2009; бюл. № 5.
3. Патент на винахід №85766 Україна, МПК F26B11/00, F26B9/08. Барабанна сушарка / Дударєв І.М., Кірчук Р.В., Кокалюк Л.Ю.; заявлено 01.06.2007; опубл. 25.02.2009; бюл. № 4.
4. Деклараційний патент на корисну модель №19348 Україна, МПК F26B11/00. Барабанна сушарка / Батраченко О.В., Боровик А.І., Єрмоленко В.О.; опубл. 15.12.2006; бюл. № 12.
5. Патент на винахід №44865 Україна, МПК F26B11/00. Барабанна сушарка / Кателевський М.П.; опубл. 15.03.2002; бюл. № 3.

Одержано 05.102009р.