

УДК 631.365

І.М.Дударев, Л.Ю.Кокалюк

Луцький національний технічний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ВИВАНТАЖЕННЯ МАТЕРІАЛУ З СУШАРКИ

У статті досліджено процес вивантаження матеріалу з сушарки, отримано аналітичні залежності, що дозволяють обґрунтувати конструктивні параметри сушарки.

Ключові слова: сушарка, переробка, конструктивні параметри.

Постановка проблеми. Технології переробки продукції рослинництва передбачають використання сушильної техніки для доведення рослинної сировини до кондиційної вологості, що забезпечує її зберігання без погіршення якісних показників. Удосконалення сушильної техніки ведеться в напрямку зменшення енергоємності, що зумовлено постійним зростанням вартості енергоносіїв. Таким чином, теоретичні та експериментальні дослідження в цьому напрямку є актуальними, оскільки дозволяють обґрунтувати енергоощадні режими роботи та раціональні конструктивні параметри сушильного обладнання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сушильне обладнання, що використовується в переробних виробництвах продукції рослинництва, конструктивно та технологічно різноманітне. Як результат, в сушарках реалізовано різні способи переміщення матеріалу під час сушіння. У запропонованій конструкції сушарки процес вивантаження матеріалу з сушильної камери має свої особливості, що вимагає додаткових досліджень в цьому напрямку. Під час дослідження вивантаження матеріалу з сушарки використовувалися результати теоретичних досліджень руху сипкого матеріалу конструктивними елементами машин переробних виробництв [1-3].

Мета досліджень. Метою дослідження є аналіз процесу вивантаження матеріалу з сушарки та виведення аналітичних залежностей, що дозволять обґрунтувати її конструктивні параметри.

Результати досліджень. Вивантаження матеріалу з барабанної сушарки (рис.1) [4], що має спіралеподібну поверхню, без втрат сушильного агента забезпечується особливостями конструкції. Спіралеподібна поверхня розміщується в нерухомій циліндричній обичайці, в нижній частині якої передбачено вікно для вивантаження матеріалу з витків спіралеподібної поверхні та проходження сушильного агента, а в верхній частині – перфорація для відведення з сушильної камери відпрацьованого сушильного агента. Циліндрична обичайка розміщена в кожусі, який обладнано в нижній та верхній частинах перфорацією для циркуляції сушильного агента, а також вивантажувальним отвором. У просторі між обичайкою та кожухом передбачено полички, що здійснюють обертальний рух. Процес вивантаження матеріалу з сушарки відбувається таким чином: матеріал з останнього витка спіралеподібної поверхні надходить в простір між обичайкою та кожухом, де захоплюється поличками та транспортується до вивантажувального отвору в кожусі.

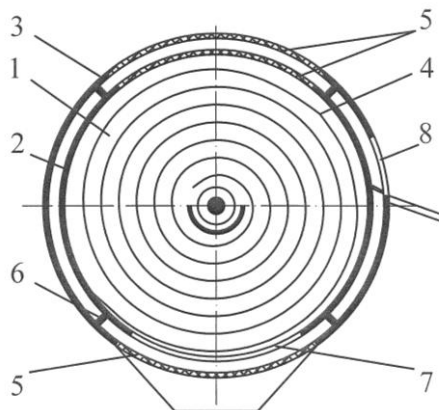


Рис.1. Сушарка з спіралеподібною поверхнею: 1 – сушильна камера; 2 – циліндрична обичайка; 3 – кожух; 4 – спіралеподібна поверхня; 5 – перфоровані вставки; 6 – поличка; 7 – вікно для вивантаження матеріалу; 8 – вивантажувальний отвір

Розглянемо процес вивантаження матеріалу з сушарки. Нехай частинка матеріалу A масою m рухається з полицкою зовнішньою поверхнею обичайки з положення A_0 (рис.2). Поличка здійснює обертальний рух з кутовою швидкістю ω . Визначимо значення кута θ повороту полицки, за якого частинка A буде продовжувати рух разом з полицкою, тобто залишатися в стані відносного спокою, тобто не буде ковзати вниз. Це можливо за умови, що всі сили, які діють на частинку під час обертання з полицкою, взаємно врівноважені. На частинку діють: сила ваги частинки mg , спрямована вертикально вниз; сила реакції N поверхні обичайки, спрямована вздовж радіуса $OA = r$; сила тертя $F_{mp} = fN$, спрямована вздовж дотичної до поверхні обичайки; відцентрова сила інерції переносного руху $P_{in} = m\omega^2 r$; силою дії потоку відпрацьованого сушильного агента нехтуємо, внаслідок незначної його швидкості.

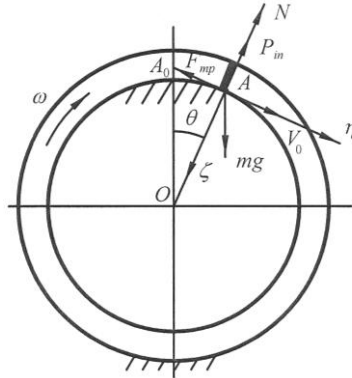


Рис.2. Розрахункова схема до визначення кута θ_0

Початком рухомих координат $\zeta A \eta$ вважаємо точку A та спрямовуємо вісь $A\zeta$ вздовж радіуса OA , а вісь $A\eta$ – перпендикулярно до радіуса. Для того, щоб частинка перебувала в рівновазі, сума проекцій сил на осі $A\zeta$ та $A\eta$ має дорівнювати нулю, тобто:

$$\begin{cases} A\zeta : mg \cos \theta - N - P_{in} = 0; \\ A\eta : mg \sin \theta - F_{mp} = 0. \end{cases} \quad (1)$$

З першого рівняння системи (1) визначимо силу реакції поверхні обичайки:

$$N = mg \cos \theta - P_{in}. \quad (2)$$

Підставивши значення сил P_{in} та F_{mp} , а також N в друге рівняння системи (1), отримаємо:

$$g \sin \theta - fg \cos \theta = -f\omega^2 r. \quad (3)$$

Коефіцієнт тертя f можна записати через кут тертя φ :

$$f = tg \varphi = \frac{\sin \varphi}{\cos \varphi}. \quad (4)$$

Підставивши значення f в рівняння (3) та провівши перетворення, отримаємо:

$$\sin \theta \cos \varphi - \cos \theta \sin \varphi = -\frac{\omega^2 r \sin \varphi}{g}, \quad (5)$$

або

$$\sin(\theta - \varphi) = -\frac{\omega^2 r \sin \varphi}{g}. \quad (5)$$

З рівняння (6) визначимо значення кут θ_0 , до якого частинка буде рухатися разом з полицкою:

$$\theta_0 = \varphi + \arcsin \left[-\frac{\omega^2 r \sin \varphi}{g} \right]. \quad (7)$$

Після досягнення поличкою значення кута θ_0 , частинка відірветься від полички та почне ковзати поверхнею обичайки.

Визначимо значення кута за якого частинка відірветься від поверхні обичайки та її швидкість в цей момент. Для спрощення, зробимо припущення, що частинка рухається гладкою циліндричною поверхнею обичайки. Тоді на частинку діють сили (рис.3): сила ваги частинки mg та нормальна реакція поверхні N . Спроектуємо сили на осі рухомої системи координат $nA_1\tau$ (вісь A_1n спрямуємо вздовж радіуса OA , а вісь $A_1\tau$ – перпендикулярно радіусу):

$$\begin{cases} A_1\tau : m \frac{dV}{dt} = mg \sin(\theta_0 + \alpha); \\ A_1n : m \frac{V^2}{r} = mg \cos(\theta_0 + \alpha) - N. \end{cases} \quad (8)$$

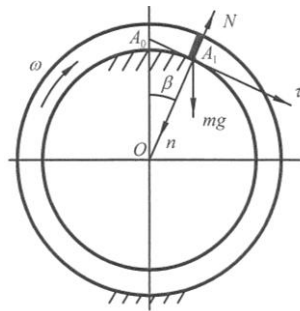


Рис.3. Розрахункова схема до визначення V_B та β_B

Позначимо в системі (8) кут $\theta_0 + \alpha$ через β , а також можна записати:

$$dt = \frac{dl}{V} = \frac{rd\beta}{V}, \quad (9)$$

де dl – елементарний шлях частинки за проміжок часу dt ; V – швидкість частинки.

Запишемо перше рівняння системи (8) після перетворень у вигляді:

$$VdV = gr \sin \beta d\beta. \quad (10)$$

Інтегруючи ліву частину рівняння (10) в межах від V_0 до V , а праву – від θ_0 до β , отримаємо:

$$\int_{V_0}^V VdV = gr \int_{\theta_0}^{\beta} \sin \beta d\beta, \quad (11)$$

$$V^2 = V_0^2 + 2gr(\cos \theta_0 - \cos \beta), \quad (12)$$

де $V_0 = \omega r$ – швидкість частинки в момент відриву від полички. В момент відриву частинки від поверхні обичайки $N = 0$, тому друге рівняння системи (8) матиме вигляд:

$$V_B^2 = gr \cos \beta_B, \quad (13)$$

де V_B – швидкість частинки в момент відриву від обичайки; β_B – значення кута, за якого частинка відривається від обичайки. Визначивши з рівняння (13) значення $\cos \beta_B$ та підставивши його в рівняння (12), отримаємо:

$$V_B = \sqrt{\frac{r}{3}(\omega^2 r + 2g \cos \theta_0)}. \quad (14)$$

Підставивши V_B в рівняння (13), визначимо значення кута β_B :

$$\beta_B = \arccos \left[\frac{1}{3} \left(\frac{\omega^2 r}{g} + 2 \cos \theta_0 \right) \right]. \quad (15)$$

Після відриву від обичайки частинка матеріалу здійснює вільне падіння (рис.4). Під час падіння на частинку діє сила ваги mg . Складемо рівняння руху частинки, спроектувавши силу ваги на осі нерухомої системи координат xA_2y (вісь A_2x спрямована вздовж горизонталі, а вісь A_2y – вздовж вертикалі; A_2 – точка відриву частинки від обичайки):

$$\begin{cases} A_2x : m \frac{d^2x}{dt^2} = 0; \\ A_2y : m \frac{d^2y}{dt^2} = mg. \end{cases} \quad (16)$$

Інтегруючи двічі рівняння системи (17) за початкових умов $t = 0$, $\frac{dx}{dt} = V_B \cos \beta_B$, $\frac{dy}{dt} = V_B \sin \beta_B$, $x = 0$, $y = 0$, отримаємо:

$$\begin{cases} x = V_B t \cos \beta_B; \\ y = \frac{gt^2}{2} + V_B t \sin \beta_B. \end{cases} \quad (17)$$

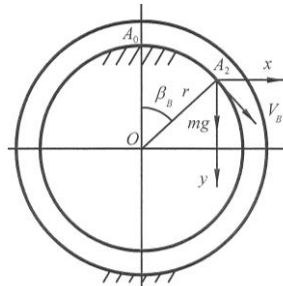


Рис.4. Розрахункова схема до визначення траєкторії руху частинки матеріалу під час вивантаження

Отримані залежності (17) дозволяють побудувати траєкторію руху частинки матеріалу під час вивантаження (рис.5) та обґрунтувати параметри вивантажувального отвору сушарки.

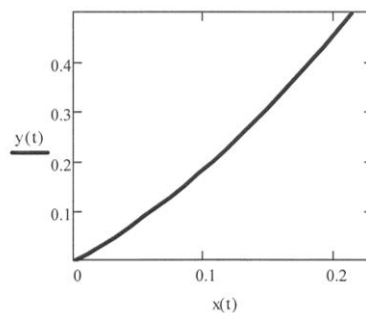


Рис.5. Траєкторія руху частинки матеріалу під час вивантаження з сушарки: $\omega = 0,01$ рад/с;

$$r = 0,6 \text{ м}; \varphi = 30^\circ; t = 0 \dots 0,2 \text{ с}$$

Висновок. У статті запропоновано спосіб вивантаження матеріалу з сушарки та його конструктивну реалізацію. Крім того, досліджено процес вивантаження матеріалу з сушарки, що дозволяє обґрунтувати параметри її вивантажувального отвору.

1. Соколов А.Я. Основы расчета и конструирования машин и автоматов пищевых производств / Под ред. Соколова А.Я. – М.: Машиностроение, 1969. – 637 с.
2. Василенко П.М. Теория движения частицы по шероховатым поверхностям сельскохозяйственных машин. – К.: УСХА, 1960. – 283 с.
3. Хайліс Г.А., Коновалюк Г.А. Розрахунок робочих органів збиральних машин: Учебний посібник. – Київ: УМК ВО, 1991. – 200 с.
4. Патент на винахід №85766 С2 Україна, МПК F26B11/00, F26B9/08. Барабанна сушарка / Дударев І.М., Кірчук Р.В., Кокалюк Л.Ю.; Заявлено 01.06.2007; Опубл. 25.02.2009; Бюл. № 4.