

ПРИКЛАДНІ ПРОБЛЕМИ ДИНАМІКИ, МІЦНОСТІ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОМИСЛОВОГО УСТАКУВАННЯ

УДК 621.01

В.М. Боровець¹, В.С. Шенбор¹, А.М. Сліпчук²
Національний університет “Львівська політехніка”,
¹кафедра механіки та автоматизації машинобудування,
²кафедра технології машинобудування

АНАЛІЗ ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ ПРИЙМАЛЬНОЇ ЛІЙКИ ПАКУВАЛЬНОГО АВТОМАТА НА ХАРАКТЕР РУХУ ПАКОВАНОГО ПРОДУКТУ

Ї Боровець В.М., Шенбор В.С., Сліпчук А.М., 2011

Розглянуто вплив конструктивних параметрів приймальної лійки пакувального автомата на характер руху завантажувального середовища з метою підвищення продуктивності процесу пакування. Встановлено чинники впливу на характер руху та проведено аналіз і розрахунок параметрів.

In this work influence of structural parameters of receiving watering-can of packing automat is considered on character of motion of load environment with the purpose of increase of the productivity of packing process. The factors of influence on character of motion are set and an analysis and calculation of parameters is conducted.

Вступ. Впровадження прогресивних технологій вимагає створення автоматизованого обладнання для пакування та фасування продукції різноманітних галузей виробництва. Збільшення номенклатури продукції, що підлягає пакуванню, є одним з найскладніших завдань забезпечення стабільної роботи пакувального обладнання, оскільки ускладнюється формування дози продукту. Тому вибір оптимальної конструкції автоматичного дозуючого пристрою, що забезпечує формування заданої дози продукту і подачу її в приймальну ємність автомата, є однією з важливих проблем.

Формування дози у пакувальному обладнанні здебільшого відбувається за допомогою вагових та об'ємних дозаторів. Незалежно від конкретного способу формування дози завантаження продукту здійснюється через лійку і тубус. Продукт через напрямну лійку потрапляє у тубус, яким безпосередньо подається у сформований рукав плівкового матеріалу. Час переміщення продукту в зоні «лійка-тубус» буде визначальним у роботі пакувального автомата. Здебільшого продуктивність сучасного обладнання обмежується деякими фізичними чинниками, пов'язаними з рухом продукту у приймальній лійці, тому необхідно проаналізувати закономірності взаємодії частинок продукту і напрямних поверхонь лійки під час його руху.

Тому вивчення руху пакувального середовища є одним з основних завдань під час проведення дослідження процесу пакування.

Цю проблему розглядають багато робіт [1, 2], в яких розглянуто рух пакувального середовища. У цих роботах досліджувався рух робочого середовища у вигляді сипких матеріалів. Аналізуючи викладені матеріали, доцільно детальніше розглянути траєкторію взаємодії пакувального продукту у вигляді штучних кулеподібних виробів та зміну траєкторії їхнього руху у приймальній частині лійки, оскільки ці величини характеризують час завантаження.

Постановка задачі. У цій роботі розглянуто вплив параметрів приймальної лійки на траєкторію руху пакувального продукту та досліджено систему диференціальних рівнянь, що описують його рух, та проведено розрахунок параметрів траєкторії.

Аналіз параметрів руху пакувального середовища з врахуванням тертя об стінки лійки і початкової швидкості дасть змогу оптимізувати параметри приймальної лійки і тим самим зменшити час переміщення продукту від дозатора до упаковки.

Аналіз останніх досліджень. Ефективність пакувального обладнання залежить від багатьох чинників, серед яких одним із основних є час переміщення пакувального матеріалу від дозатора до упаковки.

В літературі доволі широко висвітлюється процес пакування продукції на обладнанні вертикального типу [1, 2]. Найменш вивченим є питання впливу часу завантаження пакувального продукту на продуктивність обладнання, оскільки в процесі переміщення продукту від дозатора до сформованого рукавного плівкового матеріалу на нього діє багато чинників.

Залежно від параметрів приймальної лійки, її форми та початкової швидкості продукту можна отримати різноманітний характер його руху у середині лійки, а отже, різний час переміщення.

Виклад основного матеріалу. Однією з проблем у створенні високопродуктивних пакувальних машин-автоматів неперервної дії, де усі технологічні операції здійснюються у процесі неперервного руху стрічки (рис. 1, а), є скорочення часу процесу фасування. Фасування у машинах-автоматах вертикального типу відбувається після зварювання нижнього поперечного шва плівки, сформованої у рукав за час її переміщення на величину, дорівнює висоті готового пакета. Переміщення плівки суміщено з формуванням нижнього і верхнього поперечного швів пакета, подальшого його відрізання і відведення [1]. Здебільшого під час роботи пакувального обладнання його продуктивність обмежується часом потрапляння необхідної дози продукції у пакет. Час проходження продукції визначається конструктивними параметрами фасувального пристрою. Тому проблема скорочення часу процесу фасування безпосередньо пов'язана із задачами раціонального проектування фасувальних пристроїв. Основними конструктивними параметрами фасувального пристрою (рис. 1, б) є діаметр лійки d , діаметр приймальної лійки D , кут нахилу конічної частини α , висота пристрою.

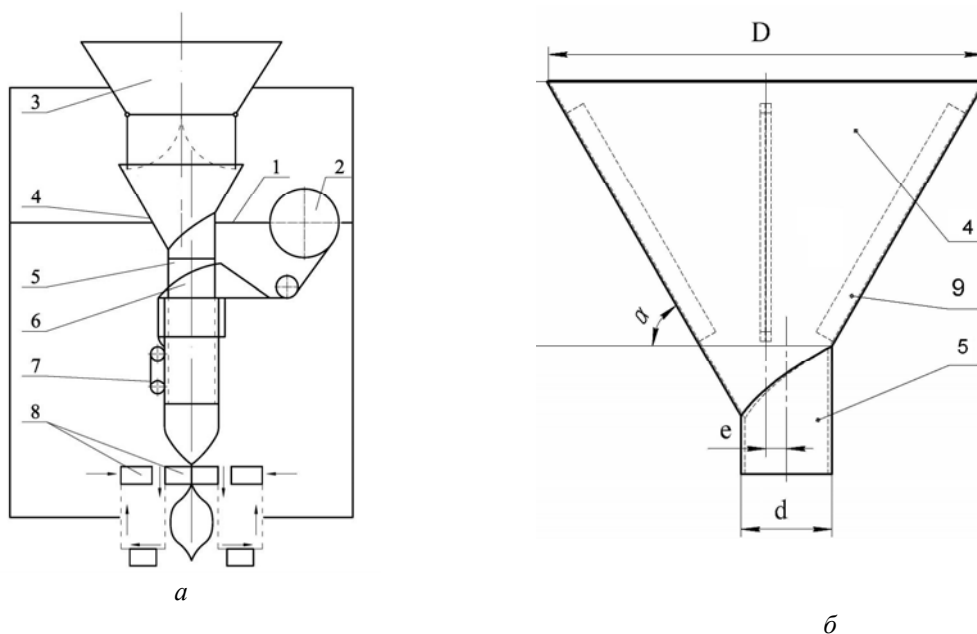


Рис. 1. Схема роботи пакувального автомата неперервної дії: 1 – пакувальний автомат; 2 – плівка; 3 – дозатор; 4 – приймальна лійка; 5 – тубус; 6 – формувальний комір; 7 – механізм зварювання поздовжнього шва; 8 – зварні колодки поперечного шва; 9 – напрямні планки

Діаметр лійки d регламентується розмірами пакета. Геометричні розміри бункера визначаються за фізико-механічними характеристиками продукції дозування. Доза продукції

пакування подається із дозатора 3 у бункер, де, набираючи певної швидкості під дією сили гравітації, потрапляє у лійку 4, яка безпосередньо з'єднана із тубусом 5 пакувальної машини-автомата. З метою збільшення ефективної площі проходу використовують спряження циліндричної лійки 4 і тубуса 5 з ексцентриситетом. Таке конструктивне виконання дозувального пристрою значно збільшує площу перерізу спряження, а отже, швидкість проходження продукції з лійки та скорочує тривалість процесу потрапляння продукції у пакет. Власне ця ефективна площа каналу визначатиметься конструктивними параметрами фасувального пристрою та величиною ексцентриситету e .

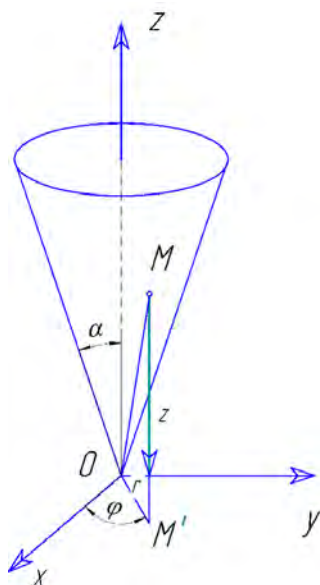


Рис. 2. Схема розрахунку руху частинки

Час переміщення продукту від дозувального пристрою до пакета розглянемо на прикладі руху кульки поверхнею приймальної лійки, оскільки здебільшого фасувальним продуктом є гранульовані та дрібнокускові продукти (глазурований арахіс, карамельки тощо) у вигляді кульок.

Розглянемо рух частинки конічною поверхнею (рис. 2), застосовуючи рівняння Лагранжа другого роду.

Нехай вага частинки дорівнює G ; координати її r , φ і z ; повний кут конуса 2α . Кінетична енергія дорівнює

$$T = \frac{G}{2g} (\dot{x}^2 + \dot{y}^2 + \dot{z}^2). \quad (1)$$

Враховуючи, що

$$z = r \operatorname{ctg} \alpha, \quad (2)$$

перепишемо цей вираз у вигляді

$$T = \frac{m}{2} (\dot{x}^2 + r^2 \dot{\varphi}^2). \quad (3)$$

Потенційна енергія дорівнює

$$\Pi = Gz = Gr \operatorname{ctg} \alpha. \quad (4)$$

Циклічний інтеграл та інтеграл енергії можуть бути записані у формі

$$r^2 \dot{\varphi}^2 = C, \quad \dot{x}^2 + r^2 \dot{\varphi}^2 \sin^2 \alpha + gr \sin 2\alpha = 2H, \quad (5)$$

причому перше з цієї рівності представляє інтеграл площі у проекції на горизонтальну площину.

Виключаючи звідси $\dot{\varphi}$, отримаємо

$$\dot{x}^2 + C^2 \frac{1}{r^2} \sin^2 \alpha + gr \sin 2\alpha = 2H \quad (6)$$

або

$$r^2 \dot{x}^2 = -g \sin 2\alpha \cdot r^3 + 2hr^2 - C^2 \sin^2 \alpha = F(r). \quad (7)$$

Враховуючи, що частинка, потрапляючи на поверхню, має початкову швидкість v_0 , направлену по дотичній до кола радіуса r_0 , тобто

$$t = t_0, \quad r = r_0, \quad \dot{x} = 0, \quad r \dot{\varphi} = n \dot{\varphi} = n_0, \quad (8)$$

знаходимо значення сталих C і H

$$C = n_0 r_0,$$

$$H = \frac{C^2 \sin^2 2\alpha}{2r_0^2} + \frac{r_0 g \sin 2\alpha}{2} = \frac{n_0^2 \sin^2 \alpha}{2} + \frac{r_0 g \sin 2\alpha}{2}, \quad (9)$$

підстановка яких у вираз (7) дає:

$$F(r) = g(r_0 - r) \left(r^2 - \frac{n_0^2 r \operatorname{tg} \alpha}{2g} - \frac{n_0^2 r_0 \operatorname{tg} \alpha}{2g} \right) \sin 2\alpha. \quad (10)$$

Коренем тричлена, який знаходиться у другій дужці, служитимуть величини

$$r_{1,2} = \frac{n_0^2 \operatorname{tg} a}{4g} \pm \sqrt{\frac{n_0^4 \operatorname{tg}^2 a}{16g^2} + \frac{n_0^2 r_0 \operatorname{tg} a}{2g}} = \frac{n_0^2 \operatorname{tg} a}{4g} \left(1 \pm \sqrt{1 + \frac{8gr_0}{n_0^2 \operatorname{tg} a}} \right). \quad (11)$$

Функція $F(r)$ може бути представлена у вигляді

$$F(x) = g(r_0 - r)(r - r_1)(r - r_2) \sin 2a. \quad (12)$$

Обидва корені r_1 і r_2 суттєві, причому $r_2 < 0$; отже, рух може відбуватися в інтервалах:

$$1) r_0 < r < r_1 \quad \text{або} \quad 2) r_1 < r < r_0,$$

оскільки лише у цих інтервалах функція $F(r)$ додатна.

У першому випадку траєкторія руху кульки описується кінчною кривою між двома граничними кругами (рис. 3):

$$r = r_0, \quad r = r_1 \quad (r_1 > r_0).$$

У другому випадку існує, вочевидь, те саме, лише

$$r_1 < r_0,$$

тобто граничне коло $r = r_1$ знаходиться нижче від початкового круга $r = r_0$.

Досліджуємо, коли відбуватиметься перший рух, і коли другий.

Враховуючи обмеження, накладені на початкову швидкість n_0 , існуватимуть перша або друга нерівність. Тобто, за $r_1 > r_0$:

$$n_0 > \sqrt{\frac{gr_0}{\operatorname{tg} a}};$$

за $r_1 < r_0$

$$n_0 < \sqrt{\frac{gr_0}{\operatorname{tg} a}}.$$

У граничному випадку

$$n_0 = \sqrt{\frac{gr_0}{\operatorname{tg} a}}$$

обидва кола зливаються в одне і точка рухатиметься по колу зі швидкістю v_0 .

Частинка дійде до вершини конуса лише у тому випадку, якщо її спрямувати по твірній конуса, якщо ж швидкість частинки має початкову горизонтальну складову, то за наближення її до вершини конуса швидкість згідно з інтегралом повинна стати настільки великою, що частинка знову почне підніматися вгору і коливатись між граничними кругами. Звичайно, весь цей процес відбувається лише за відсутності тертя; сили тертя зроблять процес затухаючим, швидкість унаслідок розсіяння енергії впаде, і точка в кінці кінців опиниться у вершині конуса.

Проведемо дослідження переміщення частинки за різних початкових умов у середовищі MathCad. Отримаємо графік залежності радіуса знаходження нашої точки від кута повороту стосовно центральної осі конусної лійки. Цей графік є ні чим іншим, як траєкторією руху точки з моменту потрапляння на площину конусного бункера до падіння у лійку. Крім того, на полярному графіку зображені круглий вихідний отвір, і той, що ми отримали від зміщення осі лійки на величину $e = (D - d - 2h \cdot \operatorname{tg}(90^\circ - a))/2$.

Як бачимо з графічних залежностей, кулька переміщається вздовж твірної бункера і для зменшення часу переміщення продукції доцільно кріпити напрямні планки вздовж кінчної частини приймальної лійки (рис. 1, б), які спрямовують продукцію у приймальний тубус [3].

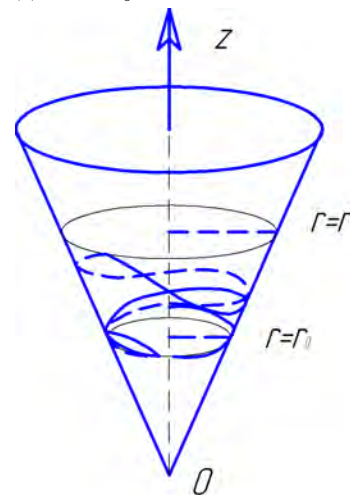
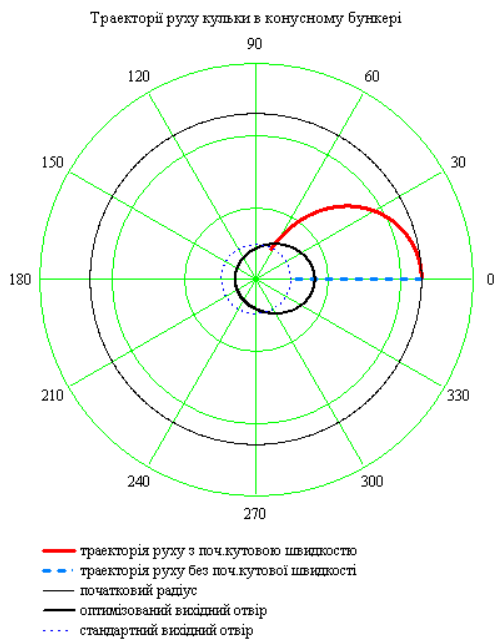
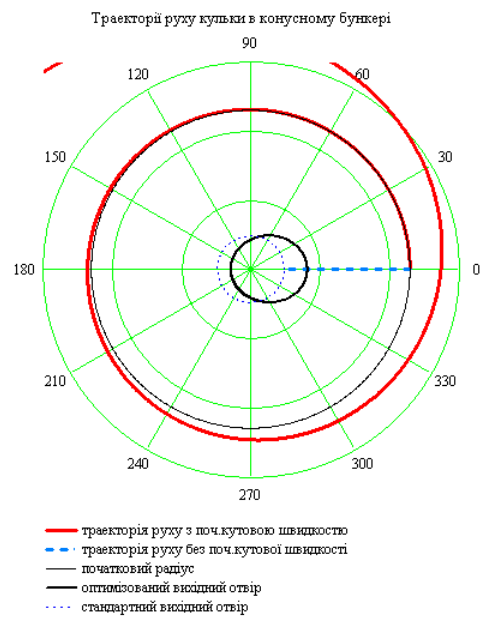


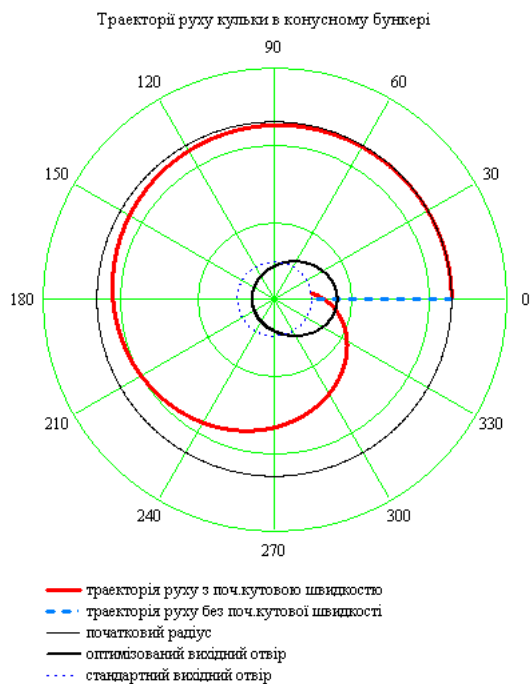
Рис. 3. Траєкторія руху частинки



а



б



в

Рис. 4. Графіки залежності радіуса знаходження рухомої частинки від кута повороту стосовно центральної осі конусної лійки: а – для кульки з початковою кутовою швидкістю 5 рад/с без врахування тертя; б – з початковою кутовою швидкістю 11,1 рад/с без врахування тертя; в – з початковою швидкістю 11,1 рад/с та коефіцієнтом тертя ковзання $k = 0,2$

Висновки. Застосування запропонованої методики розрахунку параметрів руху елементарних частин робочого середовища дасть змогу оптимізувати параметри приймальної лійки пакувального автомата та на етапі проектування визначити її основні характеристики. Враховуючи отримані дані, можна зробити висновок, що рівняння достатньо точно описують рух частинки.

Ця методика розрахунку може бути застосована для проектування пакувального обладнання з приймальними лійками різноманітного типу і дасть змогу ефективно підбирати параметри обладнання та інтенсифікувати технологічний процес.

1. Гавва О.М., Безпалько А.П., Волчко А.І. Пакувальне обладнання: в 3 кн. –1 кн.: Обладнання для пакування продукції у споживчу тару / за ред. О.М. Гавви. – К.: ІАЦ «Упаковка», 2008. – 436 с.
2. Єфремов Н.Ф. Тара и ее производство: учеб. пособ. – 2-е изд., доп. – М.: МГУП, 2001. – 312 с.
3. Патент на КМ. №38477. Бюл.№1 від 12.01.2009 р. Автомат для пакування сипких продуктів / О.В. Гаврильченко, В.М. Боровець, В.М. Гурський, С.Й. Наконечний.