УДК 631.363

ДИНАМІКА РУХУ ЧАСТОЧОК КОРМОВОЇ СУМІШІ ПО ЛОПАТЦІ БАРАБАННОГО ЗМІШУВАЧА

О. М. Ачкевич
Г. А. Голуб, д.т.н.
Національний університет біоресурсів і природокористування України

Описано динаміку руху часточоккормової суміші по плоскій радіально розміщеній лопатці барабанного змішувача.

Ключові слова: *кормова суміш, лопатка, барабанний змішувач, динаміка руху.*

Постановка проблеми. В останні роки виробництво комбікормів частково перемістилось з комбікормових заводів безпосередньо в господарства. Для такого виробництва створена широка номенклатура обладнання, яка базується на змішуванні власної зернової сировини господарств та закуплених кормових добавок. Зменшити собівартість виробництва та покращити якість комбікормів за рахунок збалансованого складу можливо за рахунок виробництва кормових добавок безпосередньо в господарствах. У той же час, питання виробництвакормових добавок в умовах господарствах недостатньо науково обґрунтовано.

Одним із шляхів вирішення даного питання є використання барабанних змішувачів кормових добавок оснащених перемішуючими лопатками розміщених по твірній циліндра. Встановлення на робочій поверхні камери нерухомих перегородок, з одного боку, покращує утримання матеріалу в зоні підіймання, запобігає його сповзанню, а з іншого – розширює робочу зону перемішування за рахунок активізації простору над поверхнею скочування.

Аналіз останніх досліджень. Перемішуючі лопатки широко використовуються в барабанних сушарках та змішувачах у хімічній галузі для рівномірного розподілу матеріалу та забезпечення контакту з робочим газом по всьому перерізу барабана [1]. Відповідно до класифікації машин і апаратів барабанного типу перемішуючі лопатки можуть бути чотирьох основних типів: нерухомі, рухомі, нерухомі відносно обичайки барабана, рухомі відносно до обичайки барабана [2]. На практиці частіше всього використовують перемішуючі лопатки, нерухомі відносно обичайки барабана, оскільки вони прості у виготовленні та надійні при використанні. Форма та розмір лопаток залежить від фізико-механічних властивостей оброблюваного матеріалу. При обробці матеріалів, які мають значну адгезією до матеріалу барабана, використовують лопатки, що піднімають більші порції матеріалу, для забезпечення подолання явища адгезії за рахунок сил гравітації.

Питання визначення розмірів та форм лопаток барабанних змішувачів частково досліджувалося вченими хімічній галузі промисловості [1, 2, 3]. Питання руху частинки матеріалу по поверхні робочих органів сільськогосподарських машин при одночасному прямолінійному русі чи обертанні робочих органів розкрито в роботах П. М. Василенка[4]. Однак,дослідження динаміки руху часточок кормової сумішіпо плоскій радіально розміщеній лопатці барабанного змішувача потребує подальшої конкретизації.

Мета досліджень. Дослідити динаміку руху часточок кормової суміші по плоскій радіально розміщеній лопатці змішувача барабанного типу.

Результати досліджень. Експериментальні дослідження показали, що вищій рівень рівномірності перемішування кормовихсумішей досягається при радіальному розміщенні перемішуючої лопатки. Для визначення ширини лопатки розглянемо рух часточки матеріалу по поверхні лопатки. Після виходу краю лопатки із зони завалу кормової сумішіодночасно відбувається рух матеріалу разом з лопаткою та переміщення часточок кормової сумішіпо її поверхні (рис. 1). Так як часточка рухається по радіально розміщеній лопатці, яка в свою чергу обертається відносно осі барабана, на неї діють відцентрова сила $m\omega^2 r$ та коріолісова сила інерції $2m\omega\frac{dr}{dt}$. Відцентрова сила діятиме на часточку, під змінним радіусом *r*, який обернено пропорційний пройденому шляху при русі часточки до центру барабана. На часточку, яка рухається відносно лопатки, діють також сила тяжінняmgта сила тертя по лопатці, яка обумовлена притисканням матеріалу до лопатки силою тяжіння та коріолісовою силою інерції $-f\ (mgcos(\omega t+\theta)-2m\omega\frac{dr}{dt})$.Для визначення відносної швидкості руху часточки матеріалу у вигляді матеріальної точки по поверхні лопатки складаємо диференційне рівняння, скориставшись приведеною схемою дії сил та аналітичними передумовами, які передбачають обертання барабана в безповітряному просторі [5].

Динаміку руху часточки, яка переміщується по лопатці відносно рухомої системи координат *XOY* можна записати у вигляді:

$$m\ddot{r} = m\omega^2 r - 2f\, m\omega\frac{dr}{dt} + fmgcos(\omega t+\theta) - mgsin(\omega t+\theta), \quad (1)$$

де m – маса часточки, кг;r – поточний радіус розташування часточки на лопатці відносно осі

барабана, м;ω – кутова швидкість лопатки, с$^{-1}$;f – коефіцієнт тертя, відн. од.;t – час обертання, с; θ – кут виходу лопатки із завалу відносно горизонталі, град,

або

$$\ddot{r} + 2\,f\omega\dot{r} - \omega^2\,r = fgcos(\omega t + \theta) - gsin(\omega t + \theta). \quad (2)$$

Дане рівняння є лінійним рівнянням другого порядку з постійними коефіцієнтами та правою частиною у вигляді тригонометричного полінома [6]. Відповідне йому однорідне диференційне рівняння матиме вигляд:

$$\ddot{r} + 2\,f\omega\dot{r} - \omega^2 r = 0. \quad (3)$$

Як відомо, в цьому випадку характеристичне рівняння однорідного диференційного рівняння виглядатиме:

$$\lambda^2 + 2\,f\omega\lambda - \omega^2 = 0, \quad (4)$$

а його корені визначатимуться за виразами:

$$\lambda_1 = \omega\left(-f + \sqrt{f^2+1}\right);$$
$$\lambda_2 = \omega\left(-f - \sqrt{f^2+1}\right), \quad (5)$$

де λ_1, λ_2 - корені характеристичного рівняння, с$^{-1}$.

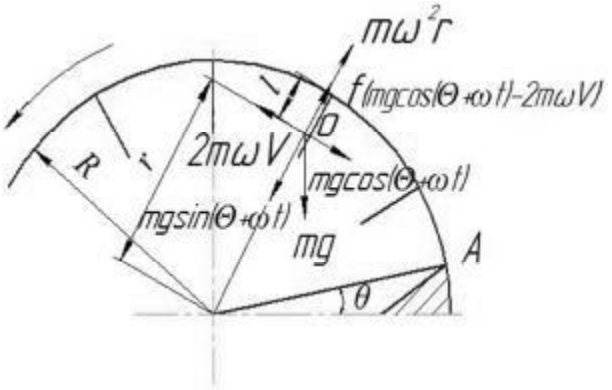

Рис. 1. Схема дії сил в поперечному перерізі барабана при русі по лопатці та падінні

Загальне рішення диференційного рівняння матиме вигляд [6]:

$$r = C_1\exp(\lambda_1 t) + C_2\exp(\lambda_2 t) + r_{\text{чр}}\,, \quad (6)$$

де $r_{\text{чр}}$ – часткове рішення неоднорідного диференційного рівняння, м.

Часткове рішення неоднорідного диференційного рівняння знаходимо у вигляді тригонометричного полінома [6]:

$$r_{\text{чр}} = Mcos(\omega t + \theta) + Ksin(\omega t + \theta), \quad (7)$$

а значення коефіцієнтів даного тригонометричного полінома визначимо із системи рівнянь:

$$\begin{cases} -2\omega^2 K + 2f\omega^2 M = gf; \\ -2f\omega^2 K - 2\omega^2 M = -g. \end{cases} \quad (8)$$

Вони становитимуть:

$$M = \frac{g}{2\omega^2};\ K = 0. \quad (9)$$

Тоді часткове рішення неоднорідного диференційного рівняння матиме вигляд:

$$r_{\text{чр}} = \frac{g}{2\omega^2}cos(\theta + \omega t). \quad (10)$$

Повне рішення неоднорідного диференційного рівняння, як сума загального та часткового рішень, матиме вигляд:

$$r = C_1\exp(\lambda_1 t) + C_2\exp(\lambda_2 t) + \frac{g}{2\omega^2}cos(\theta + \omega t). \quad (11)$$

Тоді відносна швидкість руху часточки корму по поверхні лопатки становитиме:

$$V_r = \lambda_1 C_1\exp(\lambda_1 t) + \lambda_2 C_2\exp(\lambda_2 t) - \frac{g}{2\omega}sin(\theta + \omega t), \quad (12)$$

де V_r – радіальна швидкість часточки по лопатці, м/с.

Оскільки після виходу краю лопатки із зони завалу, часточки рухаються в радіальному напрямку до центру барабана, в початковий момент сходження матеріалу відносна швидкість частинки матеріалу дорівнюватиме нулю, а сам матеріал буде знаходитись від центру барабана на відстані рівній радіусу барабана. Враховуючи початкові умови:

$$t = 0;\quad r = R_{\text{П}};\quad V_r = 0, \quad (13)$$

де $R_{\text{П}}$ – радіус розташування часточки у початковий момент часу, м.

система рівнянь для визначення постійних величин диференційного рівняння буде мати вигляд:

$$\begin{cases} C_1 + C_2 = R_{\text{П}} + \frac{g}{2\omega^2}cos(\theta + \omega t); \\ C_1\,\lambda_1 + C_2\,\lambda_1 = -\frac{g}{2\omega}sin(\theta + \omega t), \end{cases} \quad (14)$$

звідки:

$$C_1 = \lambda_2\left[R_{\text{П}} + \frac{g}{2\omega^2}cos(\theta + \omega t) - \frac{g}{2\omega\lambda_2}sin(\theta + \omega t)\right], \quad (15)$$

$$C_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1}\left[-\frac{g}{2\omega^2\lambda_1}cos(\theta + \omega t) - \frac{g}{2\omega}sin(\theta + \omega t) - R_{\text{П}}\right]. \quad (16)$$

Рівняння динаміки руху визначає положення часточки відносно центра барабана в будь який момент часу. Графічна залежність зміни радіусу положення часточки в часі приведена на рис.2.

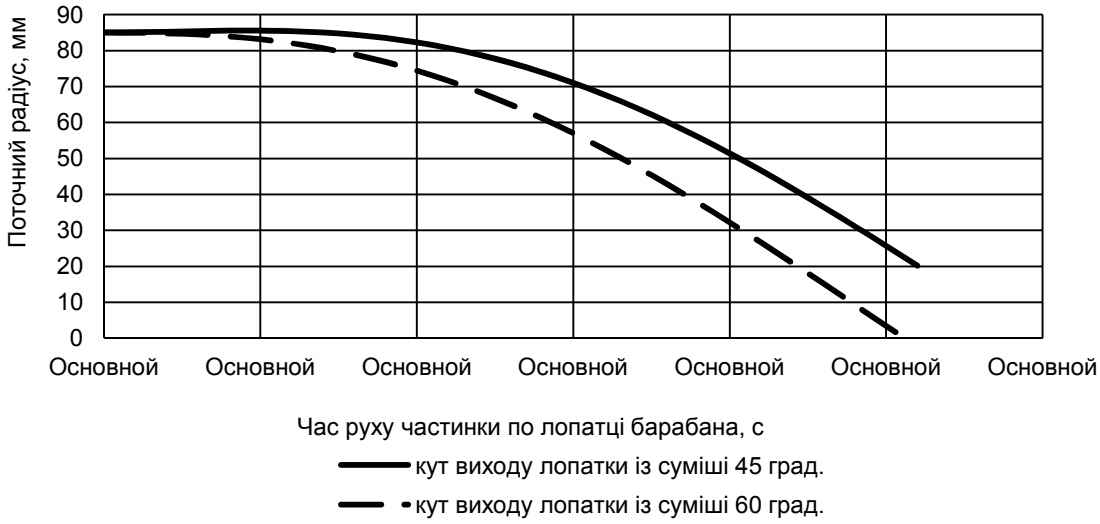

Рис. 2. Залежність зміни радіусу положення часточки в часі

Висновок. Отримано залежність, яка визначає динаміку руху матеріалу сумішей кормових добавок по плоскій радіально розміщеній лопатці змішувача барабанного типу і дозволяє встановити ширину перемішуючої лопатки при якій матиме місце її повна розгрузка у верхній точці циліндра. Так при кутовій швидкості барабана 10 $с^{-1}$ та коефіцієнті заповнення камери 0,5лопатка підніметься у крайнє верхнє положення за 0,1 с. Шлях який пройде часточка матеріалу по поверхні лопатки за цей час становитиме 12 мм.

Список використаної літератури:

1. *Конструирование* и расчет машин химических производств/[под ред. *Э.Э. Кальман-Иванова*] –М.: 1985. –408с.

2. *Гусев Ю.И.*Конструирование и расчет машин химических производств: Учебник для вузов /*Ю.И. Гусев,И.Н. Карасев, Э.Э. Кольман-Иванов, Ю.И. Макаров, М.П. Макевнин, Н.И. Рассказов; под.ред. Ю.И. Гусева*–М.: Машиностроение, 1985. –406 с.

3. *Макаров Ю.И.* Отечественное и зарубежное оборудование для смешения сыпучих материалов /*Ю.И. Макаров, Б.М. Ломакин, В.В. Харакос*. –М.: ЦИНТИАМ, 1964. – 148 с.

4. *Василенко П.М.* Теория движения частицы по шероховатым поверхностям сельскохозяйственных машин / *П.М. Василенко*. УАСХН, –К.: 1960 – 283с.

5. *Голуб Г.А.* Агропромислове виробництво їстівних грибів. Механіко-технологічні основи – К. : Аграрна наука, 2007. – 332 с.

Ачкевич А.Н., Голуб Г.А. Динамика движения частиц кормовых смесей по лопатке барабанные смесители

Описана динамика движения частиц кормовой смеси по плоской радиальнорасположенной лопатке барабанного смесителя.

***Ключевые слова**: кормовая смесь, лопатка, барабанный смеситель, динамика движения.*

Achkevych O., Golub G. Dynamics of motion of particles feed mixture in pan drum mixer

For the production of animal feed in the farms of an extensive range of equipment that is based on mixing raw own grain farms and purchased feed additives. To reduce production cost and improve the quality of animal feed through balanced composition is possible due to the production of feed additives directly to farms. At the same time, the issue of the production of feed additives in terms of farms not scientifically justified.

One solution to this issue is the use of feed additives drum mixer equipped with mixing blades placed on generating cylinder. Installing the camera on the working surface of fixed partitions, on the one hand, improves retention of the material in the area of lifting prevents it slipping, and the other - extends the work area by enhancing mixing space above the slide. Stirring blades are widely used in drum mixers and dryers in the chemical industry for even distribution of material and ensure contact with the working air around the drum section.

According to the classification machines and apparatus drum mixer blades may be four main types: fixed, mobile, fixed relative to the drum shell, movable relative to the drum shell. In practice most often used shovels mixer, as they are easy to manufacture and reliable in use. The shape and size of the blades de-

pends on the physical and mechanical properties of the material. When processing materials that have considerable material adhesion to drum, using shovels that lift larger portions of material for overcoming the phenomenon of adhesion due to the forces of gravity.

The question of determining the size and shapes of blades drum mixers partially scientists studied the chemical industry. The question of motion of a particle to the surface of the working bodies of agricultural machinery, exposed in the works of P. Vasilenko. However, the study of the dynamics of motion of particles feed mixture on a flat radial posted pan drum mixer needs further detail..

Experimental studies have shown that high levels of uniformity mixing feed mixtures achieved with radial placement stirring blades. To determine the width of the blade consider the movement of material particles on the surface of the blade.

Since the particle moves along a radial posted scoop, which in turn rotates around the axis of the drum, on it acting centrifugal force and Coriolis force of inertia . . On a particles that is moving on the blade, acting gravity and friction on of scoop.

To determine the relative speed of the particles of the material in the form of a point on the surface of the scapula make up the differential equation using a present scheme of the forces and analytical assumptions, which involve rotation of the drum in a space.

The result obtained dependence that determines the dynamics of motion material mixtures of feed additives on the scoop mixer drum , since the angular velocity of the drum 10 rev./sec. Ratio filling the chamber with 0.5, lifting scoop in extreme top position for 0.1 s.. The path which particles will take place on the surface of the material during this time will be 12 mm.

Keywords: *feed mix, scoop, drum mixer, dynamic movement.*

Дата надходження до редакції: 20.01.2016
Резензент: д.т.н., проф. Павлюченко А.М.