

УДК [(631.22/28:631.1):(636.087.7:631.363.28)]

Божко Ю.А., Серебряков И.А.

РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства», г. Минск, Республика Беларусь

Серебрякова Н.Г., кандидат педагогических наук, доцент, Рутковский И.Г.

Белорусский государственный аграрный технический университет, г. Минск

ОБОСНОВАНИЕ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА ОТДЕЛЕНИЯ ТВЕРДЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ ПРИМЕСЕЙ В ПРОЦЕССЕ РАЗДАЧИ КОРМОСМЕСЕЙ МОБИЛЬНЫМИ СМЕСИТЕЛЯМИ-РАЗДАТЧИКАМИ КОРМОВ

Предлагается отделять органические примеси от корма за счёт действия центробежных сил с учётом разницы масс и скорости витания частиц корма и примесей при вычёсывании потока кормосмесей битером, а остатки шпагата – наматыванием.

С целью проверки указанной гипотезы следует провести теоретическое исследование для определения условий работоспособности устройства для отделения твёрдых органических примесей, отделения и движения частиц по штифту битера траектории свободного полёта частиц. Осуществить расчёт траектории полёта для частиц (тел) разных масс, определить принципиальную схему устройства для отделения твёрдых органических примесей при выполнении смесителя-раздатчиком раздачи кормосмеси.

Рассмотрим движение частицы кормосмеси или примесей по штифту [1].

После отделения от массива частица силоса перемещается по поверхности штифта фрез барабана.

В общем случае, если считать, что штифт представляет собой некоторую плоскость, необходимо рассмотреть скольжение силоса по вращающейся плоскости, проходящей под углом к радиусу-вектору [4].

Частица силоса M при равномерном вращении фрез-барабана находится под действием ряда сил, которые показаны на схеме (рисунок 1). Уравнение движения частицы M по штифту BC относительно подвижной системы координат в нашем случае будет иметь вид

$$m\bar{a}_r = \bar{P} + \bar{N} + \bar{F} + \bar{\Phi}_e + \bar{\Phi}_k \quad (1)$$

где m – масса частицы;

a_r – относительное ускорение частицы;

P – вес частицы;

N – нормальная составляющая реакции штифта на частицу силоса;

Φ_e – центробежная сила;

Φ_k – кориолисова сила.

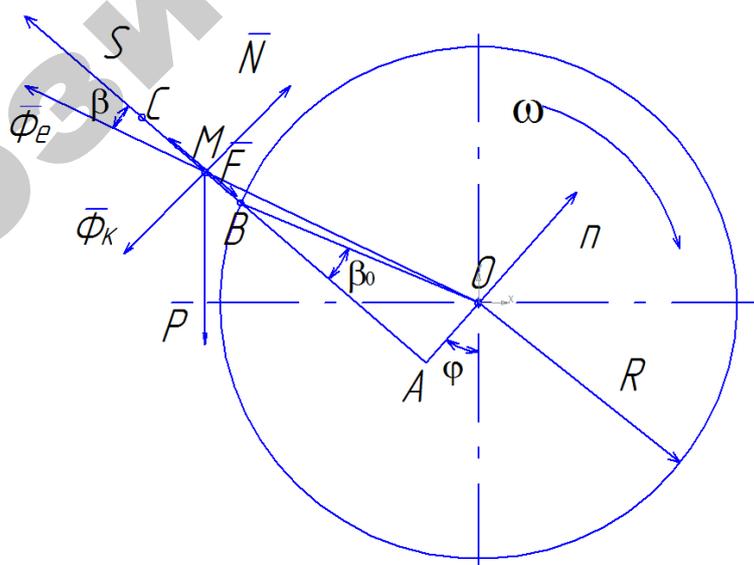


Рисунок 1 – Схема сил, действующих на частицу, находящуюся на барабане

Проецируя равенство (1) на ось A_n и учитывая, что проекции векторов на эту ось равны нулю, получим:

$$-P \cos \varphi + N - \Phi_e \sin \beta - \Phi_k = 0 \quad (1)$$

где φ – угол поворота фрез-барабана;

β – из схемы (рисунок 1).

Отсюда, подставив абсолютные значения сил и учитывая, что

$$\sin \beta = \frac{e^*}{z}; \cos \beta = \frac{S}{r}; e^* = OA.$$

Найдём нормальную составляющую реакции рабочего органа на частицу φ

$$N = m \left(g \cos \varphi + \omega^2 e^* + 2\omega \frac{ds}{dt} \right) \quad (2)$$

где ω – угловая скорость фрез-барабана;

g – ускорение свободного падения.

Проецируя равенство 1 на ось A_s , и учитывая равенство 2, получим

$$m \frac{d^2 s}{dt^2} + 2f\omega \frac{ds}{dt} - \omega^2 s = -g(\sin \varphi + f \cos \varphi) - fe^* \omega^2 \quad (3)$$

где f – коэффициент трения.

Вместо времени t введем новую независимую переменную. Поскольку скорость вращения барабана предполагается постоянной,

$$\varphi = \omega t; \frac{ds}{dt} = \frac{ds}{d\varphi} \cdot \frac{d\varphi}{dt} = \omega \frac{ds}{d\varphi}$$

$$\frac{d^2 s}{dt^2} = \frac{d}{dt} \left(\omega \frac{ds}{d\varphi} \right) \frac{d\varphi}{dt} = \omega^2 \frac{d^2 s}{d\varphi^2}$$

Переходя в уравнении (2) к новой независимой переменной и полагая $f = \operatorname{tg} \mu$, получим следующее дифференциальное уравнение

$$\frac{d^2 s}{d\varphi^2} + 2f \frac{ds}{d\varphi} - S = -fe - \frac{g}{\omega^2 \cos \mu \sin(\varphi + \mu)}. \quad (4)$$

$$\frac{d^2 s}{d\varphi^2} + 2f \frac{ds}{d\varphi} - S = 0$$

где S – подача фрез-барабана.

Общее решение такого однородного уравнения будет

$$S_1 = C'_1 e^{r_1 t} + C'_2 e^{r_2 t} \quad (5)$$

где r_1 и r_2 – корни характеристического уравнения

t – момент времени движения.

$$r_1 = \frac{1 - \sin \mu}{\cos \mu}; r_2 = \frac{1 + \sin \mu}{\cos \mu}$$

где μ – угол трения силоса по штифту;

C'_1 и C'_2 – постоянные интегрирования.

Частное решение уравнения (6) ищем в форме:

$$S_2 = A \sin(\varphi + \mu) + B \cos(\varphi + \mu) + e^* f \quad (6)$$

Подставляя выражения функции S_2 и её производных в дифференциальное уравнение (3), приравнявая

между собой коэффициенты при равных функциях и решая полученные при этом уравнения относительно A и B , находим:

$$A = \frac{g}{2\omega^2} \cos\mu; B = \frac{g}{2\omega^2} \sin\mu$$

Подставим эти уравнения в равенство (6), после преобразований, получим:

$$S_2 = \frac{g}{2\omega^2} \sin(\varphi + 2\mu) + e^* f \quad (7)$$

Общее решение дифференциального уравнения (3) согласно (4) и (5) принимает форму:

$$S_1 = C'_1 e^{r_1 t} + C'_2 e^{r_2 t} + \frac{g}{2\omega^2} \sin(\varphi + 2\mu) + e^* f \quad (8)$$

Относительная скорость частицы силоса равна:

$$v_r = \frac{ds}{dt} = \frac{ds}{d\varphi} \cdot \frac{d\varphi}{dt} = \omega \frac{ds}{d\varphi} \quad (9)$$

где

$$\frac{ds}{d\varphi} = C'_1 e^{r_1 \varphi} + C'_2 e^{r_2 \varphi} + \frac{g}{2\omega} \cos(\varphi + 2\mu) \quad (10)$$

Через φ_0 и S_0 обозначим те значения угла φ и координаты S , при которых частица силоса начинает своё относительное движение. Подставляя эти начальные значения в уравнение (8), получим уравнение для определения постоянных C'_1 и C'_2 решая которые, находим:

$$C'_1 = C_1 e^{r_1 \varphi_0}; C'_2 = C_2 e^{r_2 \varphi_0}$$

где

$$C_1 = \frac{(S_0 - e^* f)(1 + \sin\mu)}{2} - \frac{g}{4\omega^2} [\sin(\varphi_0 + 2\mu) + \cos(\varphi_0 + \mu)];$$

$$C_2 = \frac{(S_0 - e^* f)(1 - \sin\mu)}{2} + \frac{g}{4\omega^2} [\cos(\varphi_0 + \mu) - \sin(\varphi_0 + 2\mu)].$$

Теперь формулы (8) и (9) для определения координаты S относительной скорости v_2 можно записать в таком виде:

$$S = C_1 e^{r_1(\varphi - \varphi_0)} + C_2 e^{r_2(\varphi - \varphi_0)} + \frac{g}{2\omega^2} \sin(\varphi + 2\mu) + e^* f \quad (11)$$

$$v_r = \omega [C_1 r_1 e^{r_1(\varphi - \varphi_0)} + C_2 r_2 e^{r_2(\varphi - \varphi_0)} + \frac{g}{2\omega^2} \cos(\varphi + 2\mu)]. \quad (12)$$

Пользуясь выведенными формулами можно определить положение и скорость частицы силоса в момент отделения её от штифта фрез-барабана, то есть в начальный момент свободного движения.

Принимая значения величин R_6 , $l_{шт}$, f , ω и φ_0 в качестве исходных данных, расчет следует вести в такой последовательности:

Вычислить константы e^* , S_0 , μ , r_1 , r_2 , C_1 и C_2 по приведенным выше формулам.

После вычисления констант составляются таблицы значений S и v_r как функции φ .

Пользуясь таблицами для S и v_r определяется φ^* v_r^* – значения угла поворота фрез барабана и относительной скорости частицы силоса при $S = S_0 + b_1$ где, $b_1 = b(1 - k)$ то есть в момент отделения частицы от штифта (рисунок 2).

После этого определяются координаты и проекции абсолютной скорости частицы силоса в начальный момент свободного движения её. Эти величины определяются формулами

$$X_0 = -OC \cdot \cos(\varphi_1 - \beta_c);$$

$$Y_0 = OC \cdot \cos(\varphi_1 - \beta_a);$$

$$v_{x_0} = v_e \cos(\varphi_1 - \beta_c) - v_{r_1} \cos\varphi_1;$$

$$v_{y_0} = v_e \cos(\varphi_1 - \beta_c) + v_{r_1} \cos\varphi_1$$

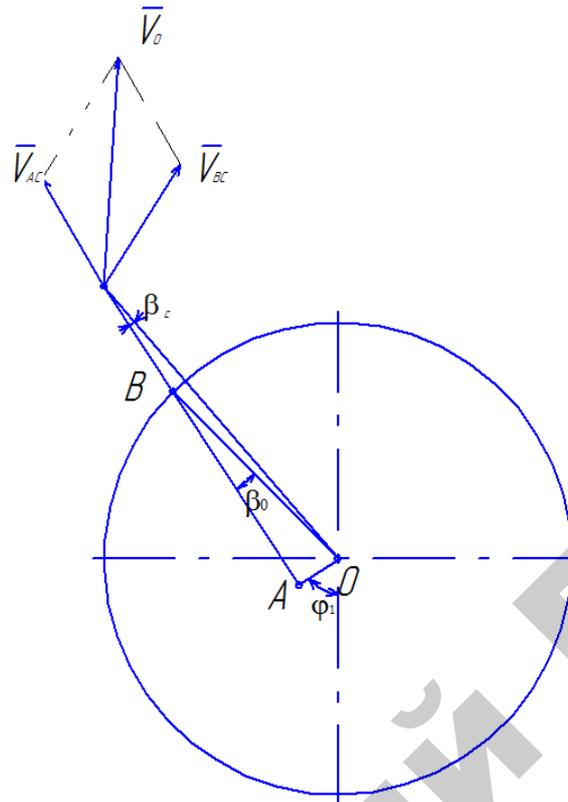


Рисунок 2 – Скорости частицы в момент отделения её от фрез-барабана

По результатам вычислений можно построить график зависимости пути частицы силоса от угла поворота фрез-барабана и определить длину штифта (рабочего органа) фрез-барабана, как ротационного питателя верхнего выброса той или другой силосопогрузочной машины.

Уравнения (11) и (12) можно запрограммировать и все работы выполнить на персональном компьютере [2, 4, 6].

Список использованной литературы

1. Исследование процессов приготовления, раздачи кормов КРС и разработка устройства, способствующего сохранению качества кормов при применении мобильных смесителей-раздатчиков: отчет о НИР по этапу 4.9.01.3 «Обоснование параметров отдельных элементов и разработка элементов макетного образца» (промежуточный) / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»; рук. зам. генерального директора по научной работе, к.т.н, доц. Н.Г. Бакач. – Минск, 2016. – 23 с. – № ГР 20160716
2. Быков, В.Л. Информатика: учебное пособие / В.Л. Быков, Н.Г. Серебрякова. – Минск: БГАТУ, 2013. – 652 с.
3. Интеграция курса компьютерные информационные технологии с базовым математическим образованием / Н.Г. Серебрякова // Информатизация образования 2008: интеграция информационных и педагогических технологий=Informatization of education 2008: Integration of information and pedagogical technologies: мат. межд. научн. конф. международной научно-практической конференции, Минск, 22 – 25 октября 2008 г. / редкол. : И.А. Новик (отв. ред.) [и др.]. – Минск: БГУ, 2008. – С. 494 – 497.
4. Серебрякова Н.Г., Черняк А.А., Черняк Ж.А., Феденя О.А., Булдык Г.М. «Многоуровневые контрольные задания по высшей математике. Практикум». Учебное пособие для студентов инженерно-технических и экономических высших учебных заведений.– С–Пб, «Питер»,– 324 с.
5. Серебрякова, Н.Г. Интеграция содержания дисциплин естественнонаучного и общепрофессионального циклов учебного плана технического вуза / Н.Г. Серебрякова, Л.С. Шабека, Е.В. Галушко, // Профессиональное образование. – 2017. – № 2.
6. Серебрякова, Н.Г. Проектирование интегрированного курса информатики /Н.Г. Серебрякова // Проблемы инженерно-педагогического образования в Республике Беларусь : материалы V Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 24–25 ноября 2011 г. /Белор. национ. техн. ун-т; редкол.: Б.М. Хрусталеv [и др.]. – Минск, 2011. – С. 212–216.