УДК 636.084.74

ИССЛЕДОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ЧАСТИЦЫ СЫПУЧЕГО КОРМА ПО ПОВЕРХНОСТИ ПОДАЮЩЕГО КОНУСА РОТАЦИОННОГО ДОЗАТОРА

Бойко И.Г., профессор, Горбанев А.П., професор
(Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства им. Петра Василенка)

В статье рассмотрено характер движения частицы сыпучего корма по поверхности подающего конуса ротационного дозатора. Составлено дифференциальное уравнение движения в результате решения, которого получены математические зависимости для определения скорости схода частицы с конуса от его конструктивно-кинематических параметров.

Вступ. Для решения вопроса полноценного кормления сельскохозяйственных животных и снижения себестоимости сельскохозяйственной продукции должен быть создан ряд взаимосвязанных технологических операций и машин, которые обеспечат строгое соблюдение соотношения компонентов рациона и равномерное их смешивание. В этой связи процесс дозирования компонентов играет основную роль как фактор, от выполнения которого зависит качество конечного продукта и его себестоимость.

Проблема. Для обеспечения бесперебойной подачи сыпучего корма на рабочий орган ротационного дозатора [1] предусмотрен подающий конус, который обуславливает стойкость рабочего процесса дозирования. Поэтому конструкция подающего конуса должна обеспечивать производительность, больше производительности дозирующего рабочего органа, что регламентируется условием неразрывности потока [2].

Аналіз последних исследований и публикаций. Вопросы исследования движения материальных частиц по коническим поверхностям наиболее полно изложены в работах П.М. Василенка [3] и П.М. Заики [4], что касается случая гладкой поверхности конуса. В нашем случае рассматривается конус, на поверхности которого расположены лопатки.

Цель исследований. Получить зависимости скорости схода частиц с подающего конуса от его конструктивно-кинематических параметров.

Результаты исследований. Для определения характера движения потока сыпучего корма по поверхности подающего конуса рассматривается модель этого процесса в виде материальной частицы, совершающей аналогичное движение.

Объектом изучения служил конус с перпендикулярно укрепленной к его поверхности лопаткой и совершающей вращательное движение с постоянной угловой скоростью около вертикальной оси.

В основу настоящих исследований положено рассмотрение сил, действующих на частицу сыпучего корма, движущуюся по поверхности подающего конуса, составление дифференциальных уравнений движения частицы, последующее их интегрирование и получение выражения для определения скорости схода частицы с конуса.

Схема сил, действующих на частицу сыпучего корма при ее движении по поверхности подающего конуса, представлена на рис.1.

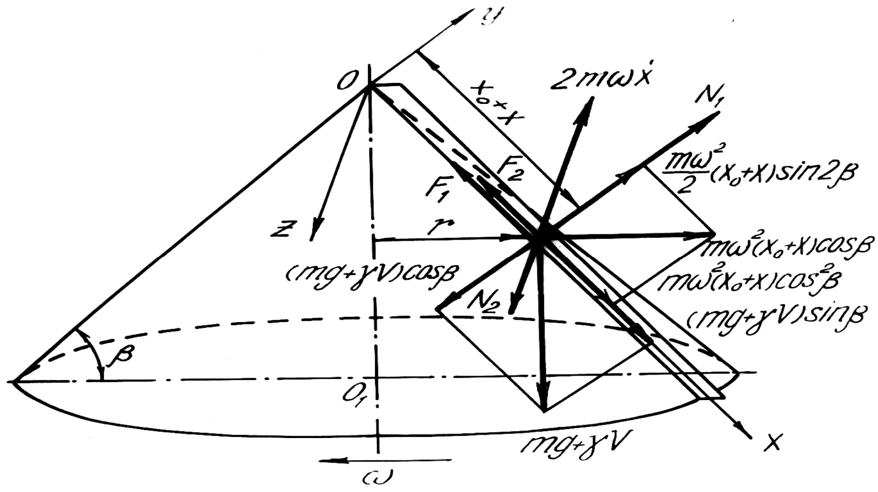

Рисунок 1 - Схема сил, действующих на частицу при ее движении по поверхности подающего конуса

Выбрана подвижная система координат $XOYZ$. Начало отсчета подвижной системы координат совпадает с вершиной подающего конуса. Ось X направлена по направлению относительного движения частицы сыпучего корма вдоль лопатки, ось Y направлена перпендикулярно поверхности подающего конуса, а ось Z направлена перпендикулярно поверхности лопатки. На частицу сыпучего корма при этом действуют следующие силы:

- сила тяжести - mq;
- сила давления вертикального столба сыпучего корма - γv;
- центробежная сила инерции - $2m\omega X'$;
- нормальная сила реакции поверхности конуса - N_1;
- нормальная сила реакции поверхности лопатки - N_2;
- сила трения частицы о поверхность конуса - F_1;
- сила трения частицы о поверхность лопатки - F_2;

Раскладывая силы, действующие на частицу сыпучего корма, на оси подвижной системы координат, составляем систему дифференциальных уравнений относительного движения частицы в следующем виде

$$m\overset{//}{X} = mq\sin\beta + \gamma v\sin\beta + m\omega^2\left(X_0 + X\right)\cos^2\beta - F_1 - F_2, \tag{1}$$

$$m\overset{//}{y} = N_1 - mq\cos\beta - \gamma vcjs\beta + \frac{m\omega^2}{2}\left(X_0 + X\right)\sin^2\beta, \tag{2}$$

$$m\overset{//}{Z} = N_2 - 2m\omega\overset{/}{X}. \qquad 3)$$

где X - путь, пройденный частицей по направлению оси в относительном движении; β - угол образующий конуса; γ - удельный вес сыпучего корма; v - объем вертикального столба сыпучего корма, приходящегося на частицу.

Рассматривая безотрывное движение частицы сыпучего корма, как по поверхности конуса, так и по поверхности лопатки, то есть выполняя условие

$$y = const \quad \text{и} \quad Z = const, \quad \text{а} \quad \overset{//}{y}=0 \quad \text{и} \quad \overset{//}{Z}=0,$$

из уравнений (2) и (3), определяем значения нормальных реакций поверхностей конуса и лопатки

$$N_1 = mq\cos\beta + v\cos\beta - \frac{m\omega^2}{2}\left(X_0 + X\right)\sin^2\beta, \tag{4}$$

$$N_2 = 2m\omega\overset{/}{X}. \tag{5}$$

Зная значения нормальных реакций N_1 и N_2, можно найти силы трения F_1 и F_2, считая, что коэффициенты частицы сыпучего корма о поверхности конуса и лопатки имеют одинаковые значения (конус и лопатка выполнены из одного и того же материала). Это дает возможность преобразовать уравнение (1) к следующему виду

$$m\overset{//}{X} = mq\left(\sin\beta - f\cos\beta\right) + \gamma v\left(\sin\beta - f\cos\beta\right) + m\omega^2\left(X_0 + X\right)\cos^2\beta + \\ + \frac{m\omega^2}{2} f\left(X_0 + X\right)\sin 2\beta m\omega\overset{/}{X}. \tag{6}$$

Для качественного выполнения технологического процесса дозирования очень важно выполнить условие равномерности подачи сыпучего корма к рабочим каналам. Но ввиду того, что сила давления вертикального столба сыпучего корма постоянно изменяется, необходимо найти такие условия, при которых она не будет влиять на качество дозирования. Для этого рассмотрим слагаемое уравнения (6), куда входит эта сила.

Сила давления вертикального столба сыпучего корма, входящая в слагаемое уравнения (6) в виде сомножителя, есть величина естественная и при наличии сыпучего корма в бункере не может быть равна нулю. Поэтому, приравнивая нулю второй сомножитель, находим угол образующей подающего конуса, при котором сила давления вертикального столба не будет влиять на характер движения частицы по поверхности подающего конуса.

Следовательно,

$$\gamma v(\sin\beta - f\cos\beta) = 0, \quad \text{но так как} \quad \gamma v \neq 0,$$

то приравнивая нулю $\sin\beta - f\cos\beta = 0$, находим $\beta = arctqf$.

Тогда, с учетом выше приведенных рассуждений и некоторых преобразований, уравнение (6) примет вид

$$\overset{//}{X} + 2f\omega\overset{/}{X} - \omega^2\left(\cos^2\beta + f\frac{\sin 2\beta}{2}\right)X = \omega^2 X_0\left(\cos^2\beta\frac{\sin 2\beta}{2}\right).$$

Полученное дифференциальное уравнение (6) определяет характер относительного движения частицы сыпучего корма по поверхности подающего конуса, причем, при исполнении подающего конуса с углом образующей равным углу трения сыпучего корма, сила вертикального движения корма не будет влиять на характер его движения.

Для решения неоднородного линейного дифференциального уравнения (6) имеем общее решение соответствующего однородного уравнения:

$$\overset{//}{X} + 2f\omega\overset{/}{X} - \omega^2\left(\cos^2\beta + f\frac{\sin 2\beta}{2}\right) = 0. \tag{7}$$

Его характеристическое уравнение

$$\lambda^2 + 2f\omega\lambda - \omega^2\left(\cos^2\beta + f\frac{\sin 2\beta}{2}\right) = 0$$

имеет корни:

$$\lambda_1 = \omega\left(\sqrt{\cos^2\beta + f\frac{\sin 2\beta}{2} + f^2} - f\right),$$

$$\lambda_2 = -\omega\left(\sqrt{\cos^2\beta + f\frac{\sin 2\beta}{2} + f^2} + f\right).$$

Общим решением однородного уравнения (7) является

$$X_1 = C_1 e^{\lambda_1 t} + C_2 e^{\lambda_2 t}, \tag{8}$$

где C_1 и C_2 - произвольные постоянные интегрирования.

Частное решение неоднородного уравнения (7) находим в виде

$$X_2 + \text{M}, \qquad X_2^{/} = 0 \qquad X_2^{//} = 0,$$

где M - постоянная.

Тогда

$$-\left(\cos^2\beta + f\frac{\sin 2\beta}{2}\right)\omega^2\text{M} = \omega^2 X_0\left(\cos^2\beta + \frac{\sin 2\beta}{2}\right) \qquad \text{и} \qquad \text{M} = -X.$$

Окончательно общее решение неоднородного линейного дифференциального уравнения (6) имеет вид

$$X = C_1 e^{\lambda_1 t} + C_2 e^{\lambda_2 t} - X_0. \tag{9}$$

Продифференцировав выражение (9) по времени, получили уравнение относительной скорости движения частицы сыпучего корма по поверхности подающего конуса

$$X^{/} = C_1\lambda_1 e^{\lambda_1 t} + C_2\lambda_2 e^{\lambda_2 t}. \tag{10}$$

Произвольные постоянные интегрирования определяем из начальных условий движения частицы.

$$t = 0, \qquad X = X_0 \qquad \text{и} \qquad X^{/} = X_0^{/}.$$

Следовательно,

$$C_1 = -\frac{X_0\lambda_2}{\lambda_1 - \lambda_2} + \frac{X_0}{\lambda_1 - \lambda_2},$$

$$C_2 = -\frac{X_0\lambda_1}{\lambda_1 - \lambda_2} - \frac{X_0}{\lambda_1 - \lambda_2}.$$

Подставив значения произвольных постоянных интегрирования в уравнения (9) и (10) получили в окончательном виде выражения для определения пути и скорости частицы в относительном движении по поверхности подающего конуса

$$X = \frac{1}{\lambda_1 - \lambda_2}\left[\left(X_0^{/} - X_0\lambda_2\right)e^{\lambda_1 t} + \left(X_0\lambda_1 - X_0^{/}\right)e^{\lambda_2 t}\right] - X_0, \tag{11}$$

$$X^{/} = \frac{1}{\lambda_1 - \lambda_2}\left[\left(X_0^{/} - X_0\lambda_2\right)\lambda_1 e^{\lambda_1 t} + \left(X_0\lambda_1 - X_0^{/}\right)\lambda_2 e^{\lambda_2 t}\right]. \tag{12}$$

Полученные выражения (11) и (12), в данном случае будут использованы для определения скорости схода частицы с подающего конуса, то есть для определения начальной скорости подачи потока сыпучего корма в рабочий канал дозирующего диска.

Выводы. В результате математического моделирования движения частицы сыпучего корма по поверхности подающего конуса ротационного дозатора получены выражения для определения пути движения частицы и ее скорости от конструктивно-кинематических параметров конуса.

Список литературы

1. А. с. 906465 СССР, МКИ^3 А 01 К 5/02. Дозатор сыпучих кормов / И.Г. Бойко, И.С. Бабанских (СССР) - 2989841/30-15; заявл. 03.10.80; опубл. 23.02.82, Бюл. №7.

2. Степук Л.Я. Механизация дозирования в кормоприготовлении / Степук Л.Я. – Минск: Ураджай, 1986.–152 с.

3. Василенко П.М. Теория движения частицы по шероховатым поверхностям сельскохозяйственных машин / Василенко П.М. – К.: Изд-во УАСХН, 1960.–283 с.

4. Заика П.М. Избранные задачи земледельческой механики / Заика П.М. – К.: Изд-во УСХА, 1992. – 512 с.

Анотація

Дослідження руху частинки сипучого корму по поверхні подаючого конуса ротаційного дозатора

Бойко І.Г., Горбаньов А.П.

У статті розглянуто характер руху частинки сипучого корму по поверхні подаючого конуса ротаційного дозатора. Складено диференціальне рівняння руху в результаті рішення якого отримані математичні залежності для визначення швидкості сходження частинки з конуса від його конструктивно-кінематичних параметрів.

Abstract

Research of motion of particle of friable forage for surfaces giving cone of rotary metering device

I. Boyko, A. Gorbanev

In the article character of motion of particle of friable forage is considered on the surface of giving cone of rotary metering device. Worked out a differential equation of motion as a result of decision which mathematical dependences are got for determination of speed of tails of particle from a cone from his structurally-kinematics parameters.