

## MATHEMATICAL MODEL OF A SEPARATOR WITH DRAWING INDUCTOR OF LINEAR ASYNCHRONIC ELECTRIC DRIVE

**Keywords:** separator; mathematical model; linear asynchronous motor; drawing inductor; oscillating movement.

### *Authors' personal details*

1. **Aipov Rustam**, Doctor of technical sciences, professor of the Federal State Educational Establishment of Higher Professional Education Bashkir State Agrarian University, Ufa, 50-letiya Ocyabrya str., 34. Phone: 8 (347) 252-66-10.

2. **Linenko Andrey**, Candidate of technical sciences, assistant professor of the Federal State Educational Establishment of Higher Professional Education Bashkir State Agrarian University, Ufa, 50-letiya Ocyabrya str., 34. Phone: 8 (347) 252-66-10.

3. **Nafikov Marat**, Doctor of technical sciences, assistant professor of the Federal State Educational Establishment of Higher Professional Education Bashkir State Agrarian University, Ufa, 50-letiya Ocyabrya str., 34. Phone: 8 (347) 252-57-93.

Linear electrical motors provide direct transformation of electrical energy into translational movement. A drawing inductor of a

linear motor can change the machinery's gravity centre resulting in separation of the necessary product.

© Аипов Р.С., Линенко А.В., Нафиков М.З.

УДК 631.344:631.1(470.57)

М.Х. Байгускаров, Э.Р. Хасанов

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ ЗЕРНА В ЭКСЦЕНТРИЧНО ЗАКРЕПЛЕННОМ БАРАБАНЕ ПРОТРАВЛИВАТЕЛЯ СЕМЯН

**Ключевые слова:** барабанный протравливатель; модернизация; эксцентриситет; нестационарный режим, качество покрытия.

Достижение сплошного и равномерного протравливания химическими и биологическими препаратами – одно из обязательных условий доброкачественной работы любого протравливающего устройства.

Недостатком известных барабанных протравливателей является стационарный режим перемещения семян, что не позволяет в полной мере использовать рабочий объем камеры протравливателя.

По результатам проведенных экспериментальных исследований установлено, что эксцентричное закрепление барабана про-

травливателя при правильном выборе кинематического режима, обеспечивает нестационарный режим перемещения семян [1].

Установившийся цикл движения частицы внутри вращающегося барабана проявляется в трех переменных состояниях (рисунки 1):

4-1 – относительного покоя;

1-2; 3-4 – относительного движения по поверхности барабана;

2-3 – свободного движения.

Практическое значение имеет состояние свободного движения частицы, когда про-

исходит полный (по всей поверхности) контакт частицы с рабочей смесью.

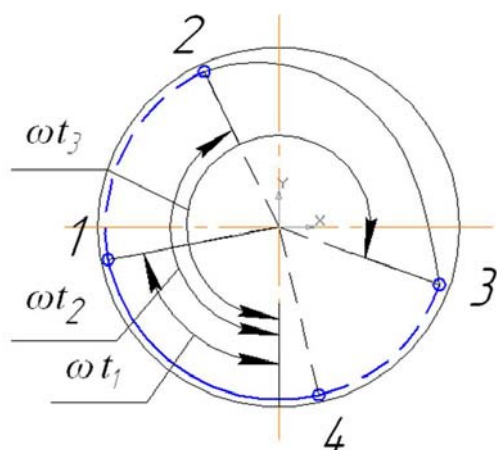


Рисунок 1

Фазы цикла движения материальной точки на поверхности барабана

В свою очередь режим работы протравливателя характеризуется длиной траектории полета частицы в фазе свободного движения. Если при установившемся режиме длины траектории полета частицы подчиняются закону распределения Гаусса, то при нестационарном режиме никакой закономерности в распределении длин полета частиц не наблюдается. Очевидно, что при этом наиболее полно будет использоваться весь рабочий объем барабана протравливателя.

При исследовании таких установок, как правило, допускается, что движение сыпучего материала в барабане аналогично движению одной его частицы, принятой за материальную точку, а коэффициент трения скольжения принимается равным постоянной величине, которая соответствует среднему его значению на всем пути движения по поверхности [2].

Рассмотрим движение зерновки в состоянии 4-1 (рисунок 1), когда зерновка покоится относительно стенки барабана, то есть движется без скольжения. На зерновку (материальная точка  $M$  с массой  $m$ ) при этом действуют следующие силы (рисунок 2):

$F_{mp}$  – сила трения зерновки о поверхность барабана, направленная по касательной к поверхности в сторону вращения барабана:

$$F_{mp} = N \operatorname{tg} \varphi, \quad (1)$$

где  $N$  – сила реакции опоры (стенки барабана);

$\operatorname{tg} \varphi$  – коэффициент трения покоя зерновки, который зависит от ее вида и поверхности барабана;

$mg$  – сила тяжести, направленная по вертикали вниз;

$F_{u\delta}^u$  – центробежная сила инерции зерновки, возникающая вследствие вращательного движения барабана:

$$F_{u\delta}^u = m \omega_{\delta}^2 R_{\delta}, \quad (2)$$

где  $\omega_{\delta}$  – угловая скорость вращения барабана;

$R_{\delta}$  – радиус барабана.

Центробежная сила инерции зерновки ( $F_{u\delta}^u$ ), возникающая вследствие вращательного движения эксцентриситета:

$$F_{u\delta}^u = m \omega_{\delta}^2 R_{\delta}, \quad (3)$$

где  $\omega_{\delta}$  – угловая скорость вращения эксцентриситета;

$R_{\delta}$  – величина (радиус) эксцентриситета.

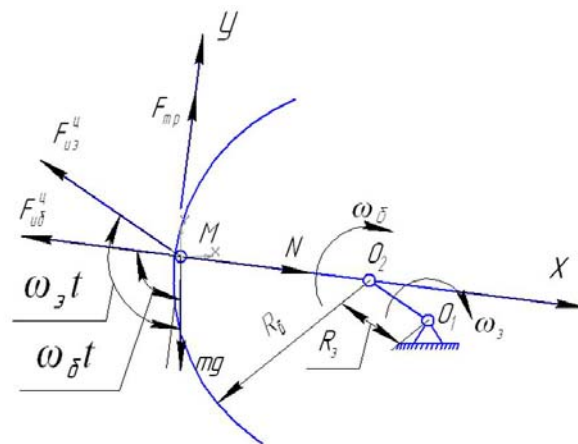


Рисунок 2

Схема сил, действующих на материальную точку  $M$  в состоянии 4-1

Принимаем систему координат  $M_x$  и  $M_y$ . Ось  $M_x$  направляем к центру барабана из точки  $M$ , ось  $M_y$  направляем касательно к окружности барабана в точке  $M$  по направлению вращения барабана. Относительно принятой системы отчета сумма всех сил, действующих на зерновку  $M$ , равна нулю, следовательно, и проекции этих сил на оси  $M_x$  и  $M_y$  равны нулю:

$$\sum F_{M_x} : N + mg \cos(\pi - \omega_0 t) - F_{u0}^y - F_{u3}^y \cos(\omega_3 t - (\pi - \omega_0 t)) = 0, \quad (4)$$

$$\sum F_{M_y} : F_{mp} + F_{u3}^y \sin(\omega_3 t_1 - (\pi - \omega_0 t_1)) - mg \sin(\pi - \omega_0 t_1) = 0, \quad (5)$$

Выразим силу  $N$  из уравнения (1):

$$N = \frac{F_{mp}}{tg \varphi}, \quad (6)$$

Подставим  $N$  из выражения (6) в уравнение (4):

$$\frac{F_{mp}}{tg \varphi} + mg \cos(\pi - \omega_0 t) - F_{u0}^y - F_{u3}^y \cos(\omega_3 t - (\pi - \omega_0 t)) = 0 \quad (7)$$

$$F_{mp} = F_{u0}^y + F_{u3}^y \cos(\omega_3 t - (\pi - \omega_0 t)) tg \varphi - mg \cos(\pi - \omega_0 t) tg \varphi \quad (8)$$

Проанализируем уравнение (7).

Для времени, когда  $t_4 \leq t \leq t_1$  справедливо выражение:

$$F_{mp}^{npe0} = F_{u0}^y + F_{u3}^y \cos(\omega_3 t - (\pi - \omega_0 t)) tg \varphi - mg \cos(\pi - \omega_0 t) tg \varphi \quad (9)$$

$$F_{mp}^{npe0} = F_{u0}^y + F_{u3}^y \cos(\omega_3 t - (\pi - \omega_0 t)) tg \varphi - mg \cos(\pi - \omega_0 t) tg \varphi, \quad (10)$$

где  $F_{mp}^{npe0}$  – предельная сила трения, способная удержать зерновку на внутренней поверхности стенки барабана без скольжения.

Условие, когда зерновка движется без скольжения, можно записать в следующей форме:

$$F_{mp}^{npe0} \leq F_{mp}. \quad (11)$$

С течением времени, т.е. с увеличением  $t$ , составляющая силы тяжести на оси  $M_x$   $mg \cos(\pi - \omega_0 t)$  будет увеличиваться вследствие увеличения угла  $\omega_0 t$ . Это приведет к тому, что в момент времени  $t_1$  правая сторона неравенства (11) уменьшится до значения  $F_{mp}^{npe0}$ . Неравенство (11) примет вид:

$$F_{mp}^{npe0} = F_{u0}^y + F_{u3}^y \cos(\omega_3 t - (\pi - \omega_0 t)) tg \varphi - mg \cos(\pi - \omega_0 t) tg \varphi. \quad (12)$$

Уравнение (12) характеризует положение зерновки в точке 1 (рисунок 1), когда начинается проскальзывание зерновки относительно поверхности барабана.

Уравнение (12) для момента времени  $t_1$  принимает вид:

$$F_{mp}^{npe0} + F_{u3}^y \sin(\omega_3 t_1 - (\pi - \omega_0 t_1)) - mg \sin(\pi - \omega_0 t_1) = 0. \quad (13)$$

Выражаем  $F_{mp}^{npe0}$  из уравнения (13):

$$F_{mp}^{npe0} = mg \sin(\pi - \omega_0 t_1) - F_{u3}^y \sin(\omega_3 t_1 - (\pi - \omega_0 t_1)), \quad (14)$$

Приравняв правые стороны уравнений (12) и (14) получаем уравнение для определения времени  $t_1$ :

$$F_{u0}^y + F_{u3}^y \cos(\omega_3 t_1 - (\pi - \omega_0 t_1)) tg \varphi - mg \cos(\pi - \omega_0 t_1) tg \varphi = mg \sin(\pi - \omega_0 t_1) - F_{u3}^y \sin(\omega_3 t_1 - (\pi - \omega_0 t_1))$$

$$F_{u0}^y + F_{u3}^y \cos(\omega_3 t_1 + \omega_0 t_1 - \pi) tg \varphi - mg \cos(\pi - \omega_0 t_1) tg \varphi - mg \sin(\pi - \omega_0 t_1) + F_{u3}^y \sin(\omega_3 t_1 + \omega_0 t_1 - \pi) = 0 \quad (15)$$

Используя формулы приведения, упрощая уравнение (15) получим:

$$F_{u0}^y - F_{u3}^y \cos(\omega_3 t_1 + \omega_0 t_1) tg \varphi + mg \cos(\omega_0 t_1) tg \varphi - mg \sin(\omega_0 t_1) - F_{u3}^y \sin(\omega_3 t_1 + \omega_0 t_1) = 0 \quad (16)$$

Подставляя выражения  $F_{u0}^y$  и  $F_{u3}^y$  из (2) и (3) в уравнение (16) и сократив обе части на  $m$  получим:

$$\omega_0^2 R_0 - \omega_3^2 R_3 \cos(\omega_3 t_1 + \omega_0 t_1) tg \varphi + g \cos(\omega_0 t_1) tg \varphi - g \sin(\omega_0 t_1) - \omega_3^2 R_3 \sin(\omega_3 t_1 + \omega_0 t_1) = 0 \quad (17)$$

Уравнение (14) позволяет определить время  $t_1$ , когда начинается проскальзывание зерновки относительно поверхности барабана. В свою очередь время  $t_1$  позволяет определить угол  $\omega_6 t$  – насколько повернется барабан до начала скольжения зерновки, и угол  $\omega_3 t$  – положение эксцентриситета в момент начала скольжения зерновки.

Отличительной особенностью поведения зерновки в состоянии 1-2 является то, что зерновка движется относительно поверхности барабана с отрицательным угловым ускорением  $\varepsilon$ . Вследствие этого на зерновку дополнительно действует еще одна сила  $F_{u\delta}^k$  – касательная сила инерции зерновки относительно барабана, направленная по касательной к окружности поперечного сечения барабана по направлению вращения барабана. Сила  $F_{u\delta}^k$  выражается величиной:

$$F_{u\delta}^k = m\varepsilon R_\delta. \quad (18)$$

Проецирование сил на оси  $M_x$  и  $M_y$  позволяет определить два уравнения:

$$\sum F_{M_x} = 0 : N + mg \cos(\pi - (\omega_6 t - \omega t)) - F_{u\delta}^u - F_{u\delta}^u \cos(\omega_3 t - (\pi - \omega_6 t)) = 0, \quad (19)$$

$$\sum F_{M_y} = 0 : F_{mp} + F_{u\delta}^k + F_{u\delta}^u \sin(\omega_3 t - (\pi - \omega_6 t + \omega t)) - mg \sin(\pi - \omega_6 t + \omega t) = 0, \quad (20)$$

Совместное решение уравнений (19) и (20) приводит к следующему уравнению:

$$\varepsilon = \frac{d\omega}{dt} = \omega_6^2 t g \varphi + \frac{g}{R_\delta} \cos(\omega_6 t - \omega t) + \frac{\omega_3^2 R_3}{R_\delta} \cos(\omega_3 t + \omega_6 t) - \frac{\omega_3^2 R_3}{R_\delta} \sin(\omega_3 t - \omega_6 t + \omega t) - \frac{g}{R_\delta} \sin(\omega_6 t + \omega t). \quad (21)$$

При этом условием отрыва зерновки от поверхности барабана является равенство реакции  $N$  нулю:

$$N = 0 \quad (22)$$

А проекция сил на ось  $M_x$  принимает вид:

$$mg \sin(\omega_6 t - \omega t - 90^\circ) - F_{u\delta}^u - F_{u\delta}^u \cos(\omega_3 t - \omega_6 t + \omega t) = 0, \quad (23)$$

После упрощения выражения получаем уравнение, характеризующее положение зерновки в момент времени  $t_2$ , когда проис-

ходит отрыв зерновки от поверхности барабана:

$$\cos(\omega t_2 - \omega_6 t_2) + (\omega_6 - \omega)^2 R_\delta + \omega_3^2 R_3 \cos(\omega_3 t_2 - \omega_6 t_2 + \omega t_2) = 0. \quad (24)$$

Абсолютная скорость зерновки в момент времени  $t_2$  относительно точки  $O_2$  определяется выражением:

$$\Omega = \omega_\delta - \omega. \quad (25)$$

где  $\Omega$  – абсолютная скорость зерновки.

Угол наклона касательной к траектории полета зерновки в момент времени  $t_2$  опре-

делится углом  $\omega_\delta t_2$ . Положение эксцентриситета при этом определяет угол  $\omega_3 t_2$ .

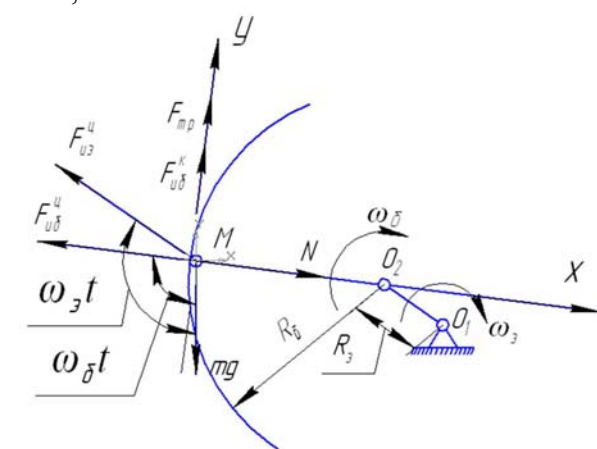


Рисунок 3

Схема сил, действующих на материальную точку  $M$  в состоянии 1-2

нарный режим перемещения семян внутри рабочего барабана [3, 4]. Данная математическая модель способствует более полному использованию рабочего объема барабана и качественному покрытию семян препара-

тами при минимальном расходе рабочего раствора и подтверждает полученные результаты экспериментов, проведенных в лабораторных условиях.

### **Библиографический список**

1. Устройство для предпосевной обработки семян. Авторское свидетельство RU №87600. Оpubл. 20.10.2009 г., Бюл. № 29.

2. Резниченко М.Я. Цилиндрические барабаны зерноочистительных машин. – М.: Машиностроение, 1964. – 216 с.

3. Хасанов Э.Р., Байгускаров М.Х. Оценка влияния кинематических режимов на качество работы барабанного протравливателя // Материалы XLIX Международ-

ной научно-технической конференции «Достижения науки – агропромышленному производству». – Челябинск: ЧГАА, 2010. – Ч. II. – С. 82-86.

4. Хасанов Э.Р., Байгускаров М.Х. Расчет параметров эксцентрично закрепленного барабана протравливателя семян // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н.И. Вавилова. – 2010. – № 6. – С. 27-30.

### **Сведения об авторах**

1. **Байгускаров Марат Халфиевич**, ассистент кафедры начертательной геометрии и инженерной графики, ФГОУ ВПО Башкирский ГАУ, г. Уфа, ул. 50-летия Октября, 34. E-mail: mgaskar@mail.ru.

2. **Хасанов Эдуард Рифович**, кандидат технических наук, доцент кафедры сельскохозяйственных машин ФГОУ ВПО Башкирский ГАУ, г. Уфа, ул. 50-летия Октября, 34. Тел: (347) 228-07-90, e-mail: hasan\_ed@mail.ru.

Предложена математическая модель поведения зерновки при модернизации барабанного протравливателя для предпосевной обработки семян, обеспечивающая повы-

шение качества покрытия семян, а также исследования поведения зерна внутри эксцентрично закрепленного барабана.

M. Baiguskarov, E. Hasanov

## **GRAIN BEHAVIOR IN AN OUT-CENTERED DRUM TREATER**

**Key words:** *drum treater; upgrade; eccentricity; unsteady-state conditions; seed coverage quality.*

### **Authors' personal details**

1. **Baiguskarov M.**, Postgraduate at Farm Machinery chair, Federal State Educational Establishment of Higher Professional Education Bashkir State Agrarian University, Ufa, 50-letiya Ocityabrya str., 34. E-mail: mgaskar@mail.ru.

2. **Hasanov E.**, Candidate of Technical Sciences, assistant professor at Farm Machinery chair, Federal State Educational Establishment of Higher Professional Education Bashkir State Agrarian University, Ufa, 50-letiya Ocityabrya str., 34. E-mail: hasan\_ed@mail.ru.

The article describes a mathematical model of grain behavior after drum treater upgrade resulting in seed coverage quality as well as

grain behavior inside an out-centered drum treater.

© Байгускаров М.Х., Хасанов Э.Р.