

УДК 631.365.22

## ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ КОЛЕБАТЕЛЬНОГО ТРАНСПОРТИРУЮЩЕГО РАБОЧЕГО ОРГАНА КОНТАКТНОЙ ЗЕРНОСУШИЛКИ\*

*П.С. Агеев, аспирант 1-го года обучения  
В.И. Курдюмов, доктор технических наук, профессор  
А.А. Павлушин, доктор технических наук, доцент  
С.А. Сутягин, кандидат технических наук, доцент  
Д.П. Ерохин, магистрант инженерного факультета, 1 курс  
89050359200, andrejpravlu@yandex.ru  
ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ*

**Ключевые слова:** сушка зерна, колебательный рабочий орган, контактный подвод теплоты.

*Работа посвящена определению основных режимных показателей контактной зерносушилки. В основе запатентованной конструкции предлагаемого средства механизации лежит транспортирующий рабочий орган колебательного типа. Выведены дифференциальное уравнение общего случая движения частиц по колеблющейся плоскости, совершающее сложные пространственные движения.*

**\* Работа выполняется в рамках гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых – докторов наук МД-1673.2018.8**

**Введение.** Сушка зерна повышенной влажности является как теплофизическим, так и технологическим процессом, в котором перенос теплоты и влаги связаны друг с другом [1, 2]. При этом такие свойства обрабатываемого материала, как физико-химические, структурно-механические, биохимические и другие меняются. Именно поэтому важно правильно подобрать интенсивность сушки при минимальных затратах теплоты и энергии, чтобы в итоге был получен материал с нужными технологическими свойствами.

**Материалы и методы исследований.** Одним из наиболее широко применяемых в различных отраслях промышленности методов сушки является контактная сушка. Контактной сушкой называется процесс тепловой обработки зернового материала на нагретой металлической поверхности. При этом передача теплоты зерну происходит непосред-

ственно от горячей поверхности, что приводит к нагреву зерна и влаги, находящейся в нем и её дальнейшего испарения [9 - 12].

Однако этому методу присущи и недостатки: большие габариты, что приводит к некачественной и неравномерной обработке высушиваемого материала; большая тепловая аккумулирующая способность, ограничения по толщине сушеного материала и температуре греющей поверхности при сушке неустойчивых к тепловому воздействию продуктов. Эти недостатки до некоторой степени могут быть устранены при дальнейшем изучении процесса [3 - 5].

**Результаты исследований и их обсуждение.** Рассмотрим движение транспортирующего рабочего органа и зерна на нем. Это движение определяется движущимся механизмом (эксцентриком), с которым рабочий орган связан шатуном. Такой рабочий орган можно рассматривать как ползун кривошипно-шатунного механизма.

Благодаря большой длине  $l$  шатуна по сравнению с эксцентриситетом  $e$  эксцентрика и большой длине стоек рабочего органа по сравнению с размахом колебаний, движение рабочего органа можно без особых погрешностей принять за прямолинейное гармоническое колебательное, следующее закону движение проекции кривошипа на ось, проходящую через его мертвые положения [6 - 8].

Скорость  $v$  этого движения выражаются уравнением:

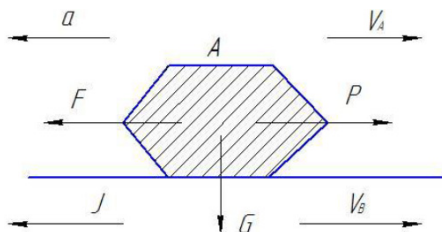
$$v = \omega e \sin \omega t, \text{ м/с} \quad (1)$$

где  $\omega$  - угловая скорость эксцентрика, рад;  $e$  - эксцентриситет, м;  $\omega t$  - угол поворота эксцентрика от линии мертвых точек, рад;  $t$  - время этого поворота, с.

Одновременно с транспортирующим рабочим органом движется и находящееся на нем зерно. Движение материала, которое с рабочим органом жестких связей не имеет, не может быть определенно непосредственно механизмом, приводящим в движение рабочий орган. Оно характеризуется динамическими связями, такими как сила тяжести, трение и инерции.

Чтобы иметь представление о характере движения материала по поверхности рабочего органа, рассмотрим пример движение тела  $A$  весом  $G$ , находящегося на горизонтальной плоскости  $B$ , движущейся горизонтально с ускорением  $j$  (рисунок 1). Сила  $F$  осуществляет связь между телом  $A$  и плоскостью  $B$ , максимальное значение которой

$F_{\text{max}} = fG = fmg$  ( $f$  - коэффициент трения;  $g$  - ускорение свободного падения).



**Рисунок 1 - Действие сил на единичную зерновку, находящуюся на движущейся с ускорением горизонтальной плоскости**

Через связь  $F$  телу  $A$  сообщается ускорение  $a$ , массой  $m$  тела  $A$  разбивается сила инерции  $P$  - та. Силы  $P$  и  $F$  направлены в разные стороны.

Наибольшее ускорение  $a_{\max}$ , которое может быть сообщено зерновке  $A$  плоскостью  $B$  через связь  $F$ , определится из условия  $P = F_{\max}$ , или  $ma_{\max} = fmg$ , откуда:

$$a_{\max} = fg, \text{ м/с}^2 \quad (2)$$

Если ускорение  $j$  плоскости  $B$  меньше  $fg$ , то тело  $A$ , связанное силой трения  $F$  с плоскостью  $B$ , будет увлекаться плоскостью  $B$  и двигаться вместе с нею без относительной скорости. В этом случае  $a = j$  и сила  $P = mj < mfg$  [14].

Если  $j > fg$ , то телу  $A$  будет сообщено ускорение  $a_{\max} = fg < j$ . Тело будет скользить по плоскости с относительным ускорением  $j - a_{\max}$ . Абсолютная скорость тела  $v_A$ , в зависимости от взаимного направления скорости  $v_B$  и ускорения  $j$  плоскости  $B$ , будет либо меньше скорости плоскости (при совпадении направлений скорости - ускоренное движение), либо больше (при противоположно направленных скорости и ускорении плоскости - замедленное движение).

При возвратно-поступательном движении рабочего органа в первой половине каждого хода (направо и налево) рабочий орган движется ускоренно, а во второй - замедленно.

Ускорение называют критическим, если  $j=fg$ . Оно обуславливает начало относительного движения тела на горизонтальной плоскости, движущейся горизонтально [13].

Дифференциальное уравнение общего случая движения частиц по колеблющейся плоскости, совершающее сложные пространственные движения, запишем в проекциях на подвижные оси координат:

$$\begin{aligned}
 ma_x &= -mgc_1 - fN \frac{\dot{x}}{\sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2}}; \\
 ma_y &= -mgc_2 - fN \frac{\dot{y}}{\sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2}}; \dots\dots\dots(2.19) \\
 ma_z &= -mgc_3 - N,
 \end{aligned}$$

где  $N$  - нормальная реакция,  $x, y$  - проекции скорости движущейся частицы на подвижные оси координат  $x$  и  $y$ ;  $f$  - коэффициент трения частиц о поверхность решета;  $a_x, a_y, a_z$  - проекции абсолютного ускорения на подвижные оси координат. Эти проекции находятся следующим образом:

$$\left. \begin{aligned}
 a_x &= a_1 \ddot{X} + b_1 \ddot{Y} + c_1 \ddot{Z}; \\
 a_y &= a_2 \ddot{X} + b_2 \ddot{Y} + c_2 \ddot{Z}; \\
 a_z &= a_3 \ddot{X} + b_3 \ddot{Y} + c_3 \ddot{Z},
 \end{aligned} \right\} \quad (2.20)$$

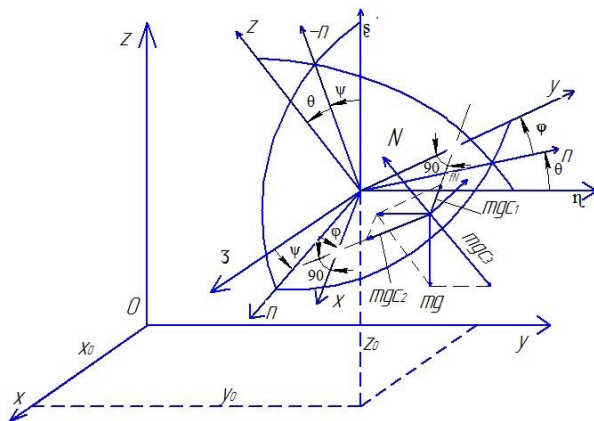
причем  $\ddot{X}, \ddot{Y}, \ddot{Z}$  - значения проекций уравнения на оси неподвижной системы координат:

$$\left. \begin{aligned}
 \ddot{X} &= \ddot{X}_0 + (a_1x)'' + (a_2y)'' + (a_3z)''; \\
 \ddot{Y} &= \ddot{Y}_0 + (b_1x)'' + (b_2y)'' + (b_3z)''; \\
 \ddot{Z} &= \ddot{Z}_0 + (c_1x)'' + (c_2y)'' + (c_3z)'',
 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(2.21)$$

где  $X_0, Y_0, Z_0$  - значение проекций ускорения на оси неподвижной системы координат.

Частица, совершающая пространственное движение по плоскости, представлено на рисунке 2.

**Заключение.** Таким образом, выполнив расчеты транспортирующего рабочего органа и обосновав основные параметры движения на нем зернового материала можно получить оптимальные числовые зна-



**Рисунок 2 - Динамическая схема движения частиц по плоскости, совершающей пространственное движение**

чения режимов работы устройства.

#### *Библиографический список*

1. Курдюмов В.И. Особенности тепловой обработки пищевых продуктов в установках контактного типа / Курдюмов В.И., Карпенко Г.В., Павлушин А.А., Сутягин С.А. // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. М., 2011. – № 4 (322). - С. 90-92.
2. Курдюмов В.И. Теоретическое обоснование динамики сушки зерна при контактом способе теплоподвода / Курдюмов В.И., Павлушин А.А., Карпенко Г.В. // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2015. № 3 (31). С. 125-130.
3. Курдюмов В.И. Обоснование оптимальных режимов работы зерносушилок контактного типа / Курдюмов В.И., Павлушин А.А., Карпенко Г.В. // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2014. № 4 (28). С. 160-165.
4. Курдюмов В.И. Тепловая обработка зерна при производстве кормов / Курдюмов В.И., Павлушин А.А., Зозуля И.Н., Сутягин С.А. // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2011. № 5. С. 17-18.
5. Курдюмов В.И. Влияние параметров зерносушильной установки на качество сушки / Курдюмов В.И., Павлушин А.А., Карпенко Г.В., Сутягин С.А. // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. 2012. № 6. С. 74-76.
6. Курдюмов В.И. Энергосберегающая экологически безопасная технология тепловой обработки сыпучих сельскохозяйственных материалов / Курдюмов

- В.И., Павлушин А.А. // Техника и оборудование для села. 2011. № 4 (166). С. 24-25.
7. Курдюмов В.И. Тепловая обработка зерна в установках контактного типа // В.И. Курдюмов, А.А. Павлушин, Г.В. Карпенко, С.А. Сутягин: монография. – Ульяновск: УГСХА им. П.А. Столыпина, 2013. – 290 с.
  8. Курдюмов В.И. Энергозатраты на процесс сушки зерна / Курдюмов В.И., Павлушин А.А., Сутягин С.А. // Вестник ВИЭСХ. М., 2012. – № 7. - С. 52-54.
  9. Пат. 2465527 Российская Федерация, МПК F26B 17/04. Устройство для сушки зерна / В.И. Курдюмов, А.А. Павлушин, С.А. Сутягин; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВО Ульяновская ГСХА. - Заявл. № 2011119459/06, 13.05.2011; опубл. 27.10.2012 г. Бюл. № 30.
  10. Пат. 119862 Российская Федерация, МПК F26B 11/16. Устройство для сушки зерна / В.И. Курдюмов, А.А. Павлушин; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВО Ульяновская ГСХА. - Заявл. 2012100692/06, 11.01.2012 г. Бюл. № 24.
  11. Пат. 96639 Российская Федерация, МПК F26B 3/00. Устройство для сушки зерна / В.И. Курдюмов, А.А. Павлушин; И.А. Постников; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВО Ульяновская ГСХА. - Заявл. 2010106454/22, 24.02.2010 г. Бюл. № 22.
  12. Пат. 2453123 Российская Федерация, МПК A23B 9/08. Устройство для сушки пищевых продуктов / В.И. Курдюмов, А.А. Павлушин; С.А. Сутягин; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВО Ульяновская ГСХА. - Заявл. 2010145902/13, 10.11.2010 г. Бюл. № 17.
  13. Пронин В.М. Сравнительные испытания сельскохозяйственной техники. Научное издание. - М.: Росинформагротех, 2013. - 416 с.
  14. Стратегия развития сельскохозяйственного машиностроения России на период до 2030 года. – Москва, 2017. – 34 с.

## THEORETICAL SUBSTANTIATION OF REGIME PARAMETERS OF THE VIBRATIONAL TRANSPORT WORKING BODY OF THE CONTACT GRAIN-DRYER

*Ageyev P.S., Kurdyumov V.I., Pavlushin A.A.,  
Sutyagin S.A., Erokhin D.P.*

**Key words:** *grain drying, vibrating working element, contact heat supply.*

*The work is devoted to the determination of the basic regime parameters of a contact grain dryer. At the heart of the patented design of the proposed means of mechanization is a transporting working organ of oscillatory type. A differential equation is derived for the general case of motion of particles along an oscillating plane, performing complex spatial motions.*