

УДК 631.365.22

## ОБОСНОВАНИЕ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ТРАНСПОРТИРУЮЩЕГО РАБОЧЕГО ОРГАНА КОНТАКТНОЙ ЗЕРНОСУШИЛКИ\*

*В.И. Долгов, аспирант 2-го года обучения*

*П.С. Агеев, аспирант 1-го года обучения*

*В.И. Курдюмов, доктор технических наук, профессор*

*А.А. Павлушин, доктор технических наук, доцент*

*Г.В. Карпенко, кандидат технических наук, доцент*

*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 зернового материала с повышенной влажностью является как теплофизическим, так и технологическим процессом, в котором перенос теплоты и влаги связаны друг с другом. 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.

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 непосредственно от горячей поверхности, что

приводит к нагреву зерна и влаги, находящейся в нем и её дальнейшего испарения [1 – 6, 14].

**Материалы и методы исследований.** Контактный способ сушки нашел широкое применение в химической, пищевой, текстильной, деревообрабатывающей, фармацевтической и других отраслях производства. Наиболее распространенное применение данный способ нашел в бумажной промышленности. Так, сушка бумаги проводится на быстровращающихся, нагреваемых паром, металлических барабанах. Такими учеными, как И.Л. Любошиц, Е.К. Громцев, Мак-Криди и др. было проведено множество исследований процесса контактной сушки бумаги. Более тщательное исследование в этом направлении провел ученный В.В. Красников [7, 8].

Получивший широкое применение в различных видах производств метод контактной сушки имеет ряд преимуществ перед другими методами тепловой обработки зерна: достаточно высокая интенсивность не требует больших затрат на оборудование и электроэнергию, при требуемых качественных показателях конечного продукта. Основным преимуществом контактной сушки является значительная интенсивность, обусловленная высоким коэффициентом теплопередачи (при конвективной сушки равен 6...35 Вт/м<sup>2</sup>•°С, при контактной сушке 400...600 Вт/м<sup>2</sup>•°С) между горячей поверхностью и материалом, благодаря чему он быстро обезвоживается.

**Результаты исследований и их обсуждение.** В настоящее время отечественными и зарубежными учеными изучены и описаны тепловые процессы при различных способах тепловой обработки влажного материала. Однако более подробно тепловые процессы рассмотрены только для зерносушилок с конвективным способом подвода теплоты. Тепловые процессы при сушке влажного материала другими способами рассматриваются поверхностно. Таким образом, для разработки контактной зерносушилки необходимо уделить большое внимание моделированию тепловых процессов, характерных для этого способа сушки.

Конструктивные параметры устройства влияют на такие факторы, как производительность, равномерность обработки материала и энергопотребление. Правильно рассчитав параметры транспортирующего рабочего органа, а также его привод и режимы работы помогут получить устройство для сушки зерна высокого качества.

Основные расчетные параметры транспортирующего рабочего органа, выполненного в виде короба с зигзагообразной поверхностью

следующие: размеры (ширина и длина), уравновешивание инерционных сил, расчет привода [9 - 12].

Применение эксцентрикового привода с шатуном и валом, установленным на раме зерносушилки (прямолинейные колебания), требует уравновешивания возникающих инерционных сил, так как они через эксцентриковый вал действуют на раму устройства, расшатывая его.

Колебания рабочих органов вызывают силу инерции:

$$mj = m\omega^2 A \cos \varphi, \text{ или } P = m\omega^2 A \cos \varphi$$

где  $m$  - масса рабочего органа, кг;  $j$  - ускорение сил инерции, м/с<sup>2</sup>;  $\omega$  - угловая скорость эксцентрикового вала, рад/с;  $A$  - угол колебания рабочего органа, м;  $\varphi$  - угол поворота эксцентрика от мертвых положений, градус.

Небольшое значение силы  $F$  имеет в мертвых положениях эксцентрика (при  $\varphi = 0$  или  $180^\circ$ ):

$$P_{\max} = \pm m\omega^2 A. \quad (1)$$

Для устранения инерционных сил рабочих органов применяют различные способы их уравновешивания.

Первым способом является приведение в движение двух рабочих органов с противоположным направлением их колебаний. При этом необходимо, чтобы их инерционные силы были равны между собой и противоположны по закону:

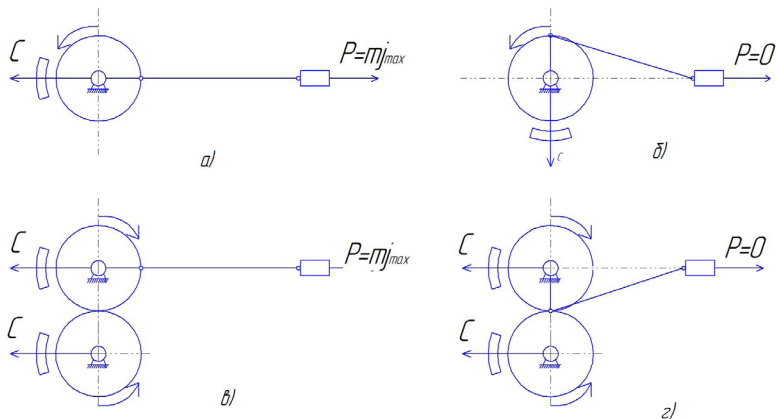
$$m_1 j_1 = - m_2 j_2. \quad (2)$$

При одинаковых величинах ускорения  $j_1 = - j_2$  также должны быть равны массы рабочих органов  $m_1 = - m_2$ .

Ко второму способу относится уравновешивание инерционных сил одного рабочего органа вращающимися грузами (рисунок 1 а, б). Их располагают на эксцентриковом валу противоположно эксцентриситету эксцентрика [13].

Если центробежную силу  $S$  груза принять равной максимальной силе инерции  $P = j m_{\max}$  рабочего органа, то инерционные силы в мертвых положениях будут уравновешены полностью (рисунок 1 а). Однако при повороте вала на  $90^\circ$  от мертвого положения сила  $P$  приобретает значение равное нулю, а сила  $S$  остается неуравновешенной (рисунок 1 б).

Таким образом, уравновешивая инерционные силы в мертвых положениях эксцентрика, вращающиеся грузы создают центробежные силы, которые в других положениях эксцентрика не уравновешиваются. Для уменьшения неуравновешенных сил, действующих на раму устройства, подбирают груз, который будет иметь центробежную силу, равную:



**Рисунок 1 - Уравновешивание рабочего органа вращающимися грузами:**

**а, б - одним грузом; в, г - двумя грузами на параллельных валах**

$$C = \left( \frac{1}{2} \div \frac{2}{3} \right) m j_{\max} \quad (3)$$

Для определения веса груза вышеуказанную формулу приводят к следующему виду:

$$m_{zp} \omega^2 r_{zp} = \left( \frac{1}{2} \div \frac{2}{3} \right) m \omega^2 A, \quad \text{или} \quad G_{zp} \omega^2 r_{zp} = \left( \frac{1}{2} \div \frac{2}{3} \right) G A$$

где  $m_{zp}$  - масса груза, кг;  $G_{zp}$ ,  $G$  - вес груза и рабочего органа, Н;  $r_{zp}$  - радиус вращения центра тяжести грузов, м.

Проявление колеблющихся масс при данном способе уравновешивания центробежные силы возможно уравновесить, если ввести дополнительные вращающиеся грузы, разместив их на еще одном валу, который расположен параллельно эксцентриковому и вращающемся с такой же частотой, но в противоположном направлении (рисунок 1 в, г).

Подбор груза на дополнительном и эксцентриковом валах совершают таким образом, чтобы возникающие центробежные силы  $C$  были равны между собой, а каждая из них была равна половине максимальной силы инерции  $P = j m_{\max}$  рабочего органа:

$$C = \frac{mj_{\max}}{2}. \quad (4)$$

Силы  $C$  и сила  $P$  направлены в противоположные стороны и уравновешены, если рабочий орган находится в мертвом положении (рисунок 1, в). При повороте вала на  $90^\circ$  сила  $P$  принимает значение равное нулю, а силы  $C$  направлены в противоположные стороны и полностью уравновешиваются (рисунок 1, г).

Вес груза рассчитывается по формуле, которая имеет вид:

$$2m_{\text{эп}}\omega^2 r_{\text{эп}} = m\omega^2 A, \text{ или } 2G_{\text{эп}}r_{\text{эп}} = G_c A.$$

Силы инерции рабочего органа, прямолинейные колебания которого возбуждаются эксцентриком, можно уравновесить плоскими пружинящими опорами. Для этого необходимо, чтобы сила упругости изогнутых опор в крайних положениях решетчатого стана была равна силе инерции:

$$jP = \frac{G}{g}\omega^2 A = GK \quad (5)$$

где  $j$  - количество опор;  $P$  - сила упругости одной опоры, Н;  $K$  - показатель кинематического режима рабочего органа.

Для того, чтобы привести в движение транспортирующий рабочий орган, на раму зерносушилки устанавливают трехфазный асинхронный электродвигатель, с помощью которого через клиноременную передачу передают вращательное движение коленчатому валу. В свою очередь, благодаря кривошипно-шатунному механизму (далее КШМ) вращательное движение коленчатого вала преобразуются в возвратно-поступательное движение рабочего органа и уравновешивающего механизма.

Для подбора клиноременной передачи необходимо иметь следующие данные: передаваемая мощность, число оборотов двигателя и рабочего органа, ориентировочные расстояния между шкивами, условия работы передачи.

**Заключение.** Таким образом, используя данную методику расчета можно на практике получить устройство, которое способно просушивать влажный материал качественно и без высоких затрат.

#### *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 контактном 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.

## THE SUBSTANTIATION OF THE KINEMATIC PARAMETERS OF THE TRANSPORTING WORKING BODY OF THE CONTACT GRAIN DRINKER

*Dolgov V.I., Ageyev P.S., Kurdyumov V.I.,  
Pavlushin A.A., Karpenko G.V.*

**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.*