



УДК 631.362

В.Н. Невзоров, В.Н. Холопов, В.А. Самойлов, А.И. Ярум

## ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ЗЕРНОШЕЛУШЕНИЯ

Проведен анализ движения зерна по лопастному ротору центробежного шелушителя, предложен двухоперационный метод шелушения с реализацией в устройстве с двумя роторами, имеющими встречное вращение.

**Ключевые слова:** центробежный шелушитель, зерно, ротор, оптимизация.

V.N. Nevzorov, V.N. Kholopov, V.A. Samojlov, A.I. Jarum

## PARAMETER OPTIMIZATION AND TECHNOLOGY IMPROVEMENT OF THE GRAIN-PEELER

The analysis of the grain movement on the centrifugal grain-peelerblade rotor is conducted, two-operational peeling method with the implementation in the two rotor device having a counter-rotation is offered.

**Key words:** centrifugal grain-peeler, grain, rotor, optimization.

В настоящее время существуют различные технологические методы и приемы шелушения крупяных зернокультур. На отечественном рынке активно действуют зарубежные фирмы, не всегда предлагающие новые конструкции машин и аппаратов и в основном использующие для шелушения абразивный инструмент, с разделением зерна по фракциям, что требует дополнительных затрат.

В перспективе развития энергоресурсосберегающих технологий для шелушения зерна необходимо совершенствовать технологическое оборудование на новых принципах его обработки. Исключение операций предварительного разделения зерна на фракции по размерам позволяет снизить энергоемкость технологического процесса [1].

Для обоснования двухоперационного метода шелушения зерна, не требующего разделения зерна по фракциям, рассмотрим движение одиночного зерна по лопастному ротору при следующих допущениях: плоскость вращения ротора параллельна земной поверхности, угловая скорость ротора постоянна, плоскость лопасти прямолинейна, длина лопасти равна радиусу  $R$  ротора, движение зерна вдоль лопасти является равномерно ускоренным без вращения вокруг собственной оси, угол между плоскостью лопасти и радиусом, проведенным через зерно, при движении зерна вдоль лопасти не изменяется.

При постоянной угловой скорости ротора на зерно, движущееся вдоль лопасти, действуют центробежное ускорение и ускорение Кориолиса. Центробежное ускорение направлено по радиусу, проведенному через зерно (рис. 1).

$$a_{uc} = \omega^2 r, \quad (1)$$

где  $a_{uc}$  — центробежное ускорение зерна;

$\omega$  — угловая скорость ротора;

$r$  — радиус вращения зерна.

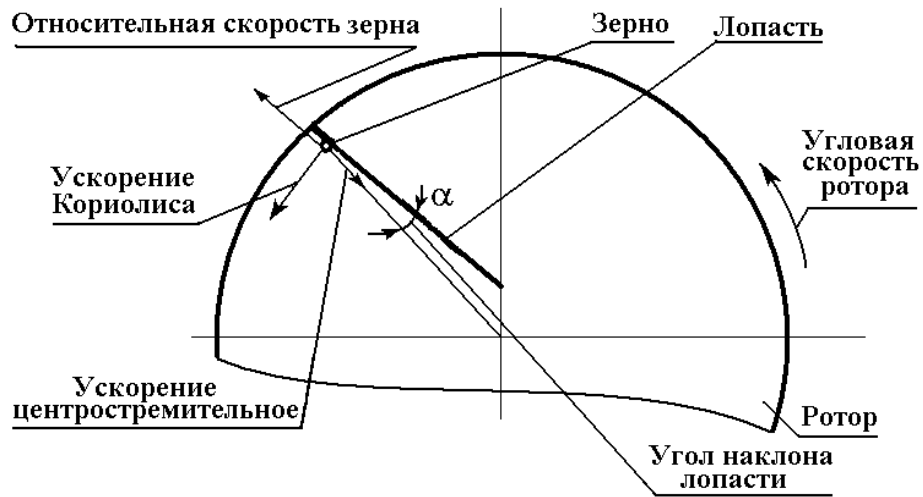


Рис. 1. Ускорение зерна при движении по лопасти

Центростремительное ускорение определяет центробежную силу, которая направлена вдоль радиуса противоположно центростремительному ускорению и равна

$$F_{цб} = m\omega^2 r, \quad (2)$$

где  $m$  — масса зерна.

В общем случае лопасть ротора расположена под углом к радиусу ротора. За положительное направление примем наклон лопасти в сторону вращения ротора.

Разложим центробежную силу на составляющие, одна из которых параллельна плоскости лопасти, а другая – нормальна (рис. 2).

$$F_{цбн} = m\omega^2 r \cos \alpha, \quad (3)$$

$$F_{цбл} = m\omega^2 r \sin \alpha. \quad (4)$$

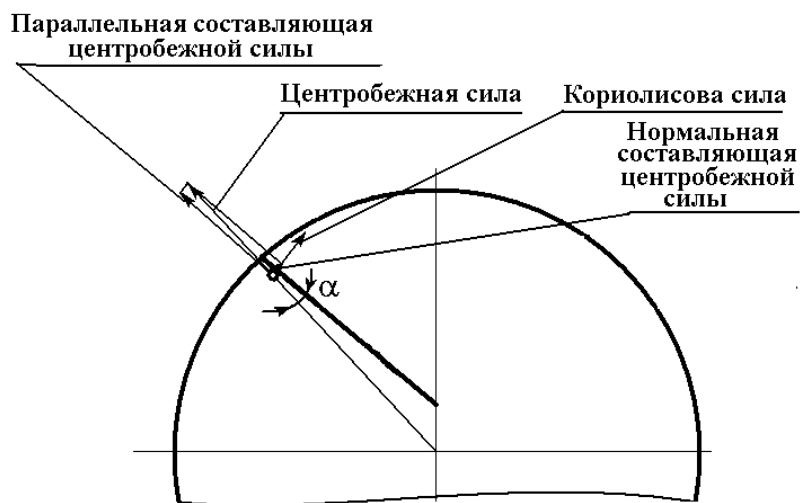


Рис. 2. Инерционные силы, действующие на зерно при его движении по лопасти

Направление ускорения Кориолиса определится по правилу Н. Е. Жуковского. Поскольку зерно движется вдоль лопасти в плоскости вращения ротора со скоростью  $V_{отн}$ , поворот вектора этой скорости на угол  $90^\circ$  в сторону вращения ротора определит направление ускорения Кориолиса (рис. 1). Поскольку угол между векторами скорости движения зерна вдоль лопасти и угловой скорости ротора равен в нашем случае  $90^\circ$ , величина ускорения Кориолиса определится

$$a_K = 2\omega V_{отн}. \quad (5)$$

Кориолисова сила направлена противоположно ускорению Кориолиса и, следовательно, нормальна к поверхности лопасти (рис. 2).

$$F_K = m2\omega V_{отн}. \quad (6)$$

Таким образом, силой, обеспечивающей перемещение зерна вдоль лопасти, является составляющая центробежной силы, параллельная плоскости лопасти. Нормальная составляющая центробежной силы и Кориолисова сила прижимают зерно к лопасти и определяют сопротивление перемещению зерна по лопасти

$$F_f = (F_{цбн} + F_K) f; \quad (7)$$

$$F_f = (m\omega^2 r \sin \alpha + m2\omega V_{отн}) f = m\omega f (\omega r \sin \alpha + 2V_{отн}), \quad (8)$$

где  $f$  — коэффициент трения зерна о поверхность лопасти.

Тогда сила, обеспечивающая движение зерна по лопасти с ускорением, определится

$$\begin{aligned} F_a &= F_{цбн} - F_f = m\omega^2 r \cos \alpha - m\omega f (\omega r \sin \alpha + 2V_{отн}) = \\ &= m\omega (\omega r \cos \alpha - f (\omega r \sin \alpha + 2V_{отн})). \end{aligned} \quad (9)$$

Ускорение зерна при движении по лопасти

$$a_{л} = \frac{F_a}{m} = \omega^2 r (\cos \alpha - f \sin \alpha) - 2\omega f V_{отн}. \quad (10)$$

Из уравнения (10) следует, что при постоянной угловой скорости и равном нулю коэффициенте трения ускорение пропорционально радиусу вращения зерна. В связи с этим в дальнейшем примем допущение, что движение зерна по лопасти будет равноускоренным со средним ускорением, равным

$$a_{л\text{ ср}} = \frac{a_{л\text{ мин}} + a_{л\text{ макс}}}{2}, \quad (11)$$

где  $a_{л\text{ мин}} = 0$ ;  $a_{л\text{ макс}} = \omega^2 r_{\text{ макс}} (\cos \alpha - f \sin \alpha) - 2f\omega V_{отн}$ .

Тогда

$$a_{л\text{ ср}} = 0,5\omega^2 r_{\text{ макс}} (\cos \alpha - f \sin \alpha) - f\omega V_{\text{ отн}}. \quad (12)$$

При равномерно ускоренном движении скорость движения зерна вдоль лопасти определится следующим образом:

$$V_{\text{ отн}} = \sqrt{2r_{\text{ макс}} a_{л\text{ ср}}}. \quad (13)$$

Перепишем уравнение (13) следующим образом:

$$V_{\text{ отн}}^2 = 2r_{\text{ макс}} a_{л\text{ ср}}.$$

Подставим в него значение ускорения из (12)

$$V_{\text{ отн}}^2 = 2r_{\text{ макс}} (0,5\omega^2 r_{\text{ макс}} (\cos \alpha - f \sin \alpha) - f\omega V_{\text{ отн}}). \quad (14)$$

Преобразуем уравнение (14)

$$V_{\text{ отн}}^2 = \omega^2 r_{\text{ макс}}^2 (\cos \alpha - f \sin \alpha) - 2r_{\text{ макс}} f\omega V_{\text{ отн}}.$$

Или

$$V_{\text{ отн}}^2 + 2r_{\text{ макс}} f\omega V_{\text{ отн}} - \omega^2 r_{\text{ макс}}^2 (\cos \alpha - f \sin \alpha) = 0. \quad (15)$$

Решение уравнения (15) приводит к следующему результату:

$$(V_{\text{ отн}})_1 = \frac{-2r_{\text{ макс}} f\omega + \sqrt{4r_{\text{ макс}}^2 f^2 \omega^2 + 4r_{\text{ макс}}^2 \omega^2 (\cos \alpha - f \sin \alpha)}}{2}, \text{ или}$$

$$V_{\text{ отн}} = r_{\text{ макс}} (-f\omega + \sqrt{f^2 \omega^2 + \omega^2 (\cos \alpha - f \sin \alpha)}). \quad (16)$$

Переносная скорость зерна при выходе из ротора, определяемая вращением ротора, находится

$$V_{\text{ пер}} = \omega r_{\text{ макс}}. \quad (17)$$

Угол между векторами относительной и переносной скоростей, как это следует из рисунка 3, составляет  $\beta = 90^\circ - \alpha$ . Противоположный угол вектору абсолютной скорости равен  $90^\circ + \alpha$ . Абсолютная скорость зерна при выходе из ротора определится на основании теоремы косинусов

$$V_{\text{ абс}} = \sqrt{V_{\text{ пер}}^2 + V_{\text{ отн}}^2 - 2V_{\text{ пер}} V_{\text{ отн}} \cos(90^\circ + \alpha)}. \quad (18)$$

Подставим в уравнение (18) значения величин из (16) и (17).

$$V_{\text{ абс}}^2 = \omega^2 r_{\text{ макс}}^2 + r_{\text{ макс}}^2 \left[ -f\omega + \sqrt{f^2 \omega^2 + \omega^2 (\cos \alpha - f \sin \alpha)} \right]^2 - 2\omega r_{\text{ макс}}^2 \left[ -f\omega + \sqrt{f^2 \omega^2 + \omega^2 (\cos \alpha - f \sin \alpha)} \right] \cos(90^\circ + \alpha). \quad (19)$$

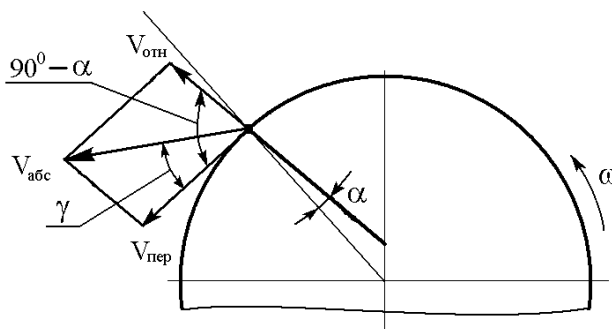


Рис. 3. Векторы скоростей зерна при выходе из ротора

Определим теперь угол  $\gamma$  наклона вектора абсолютной скорости к касательной к ротору (рис. 3), используя теорему косинусов

$$V_{отн}^2 = V_{абс}^2 + V_{пер}^2 - 2V_{абс} V_{пер} \cos \gamma. \quad (20)$$

Из уравнения (20) получаем:

$$\gamma = \arccos \left( \frac{V_{абс}^2 + V_{пер}^2 - V_{отн}^2}{2V_{абс} V_{пер}} \right). \quad (21)$$

Подставив значения величин из предыдущих уравнений в уравнение (21), получим окончательное значение  $\gamma$ . Ввиду громоздкости полученного уравнения его не приводим в этой статье.

Для различной зерновой продукции можно определить оптимальную скорость и угол  $\alpha$ , при котором будет получено максимальное эффективное шелушение. Разрушение пленок зерна на разрыв осуществляют посредством удара в центробежном шелушителе или трения в таких условиях, чтобы появилась деформация сдвига [2].

По результатам выполненных научных исследований и с учетом рассмотренной теории движения зерна по лопасти роторно-центробежного шелушителя была разработана конструкция малогабаритного универсального центробежного двухроторного шелушителя, кинематическая схема которого приведена на рисунке 4.

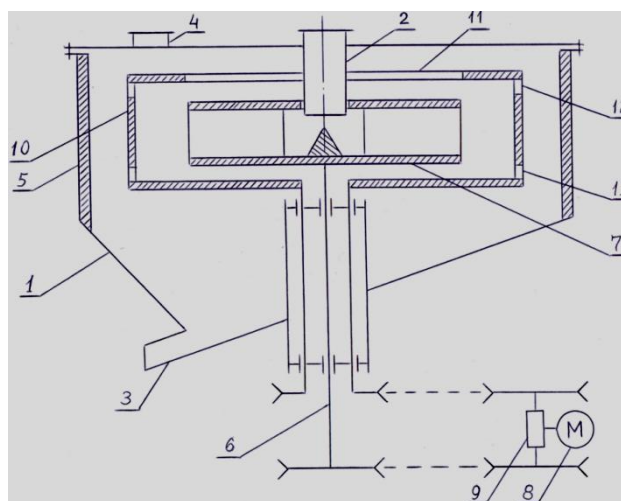


Рис. 4. Устройство для шелушения зерна

Устройство для шелушения зерна содержит: корпус 1 с загрузочным 2, разгрузочным 3 и аспирационным 4 патрубками, установленные в корпусе дополнительную деку 5 и концентрично смонтированный в ней на вертикальном валу 6 лопастной ротор 7, привод 8, реверсивный вариатор 9. Корпус 1 снабжён дополнительной декой 5, внутри которой концентрично расположены лопастной ротор 7 и выполненная с возможностью осевого вращения дека 10, реверсивным вариатором 9 соединенная с источником энергии 8, при этом она снабжена верхней и нижней крышками, причем верхняя крышка снабжена центральным отверстием 11, диаметр которого больше наружного диаметра лопастного ротора, а цилиндр деки 10 снабжен окнами 12 и 13, расположенными вверху и внизу его боковой поверхности, при этом наименьшая точка верхних окон 12 расположена не ниже верхней плоскости лопастного ротора 7, а наивысшая точка нижних окон 13 расположена не выше нижней поверхности лопастного ротора 7.

Устройство для шелушения зерна работает следующим образом. Продукт поступает в корпус 1 через загрузочный патрубок 2, попадая на вращающийся ротор 7, где продукт разгоняется посредством лопастей и выходит из ротора, после отрыва частицы сталкиваются с вращающейся декой 10, шелушатся на поверхности и выбрасываются в верхние 12 и нижние 13 окна на дополнительную деку 5 корпуса 1, где выводятся через разгрузочный патрубок 3. Зерно в деке 10 перемещается по зерну, что способствует улучшению его очистки и уменьшению износа деки, а также уменьшению скорости зерна при попадании его на дополнительную деку 5, при встрече с которой зерно дополнительно очищается, при этом уменьшается износ деки. При изменении скорости и направления вращения деки 10 реверсивным вариатором 9 изменяются скорости встречи зерна как с декой 10, так и с дополнительной декой 5, в результате чего уменьшается дробление зерна различных культур и повышается степень его очистки.

Между дополнительной декой 5 и декой 10 проходит аспирационный воздух, который уносит с собой шелуху через аспирационный патрубок 4. В устройстве аспирационный воздух попадает через загрузочный и разгрузочный патрубки. Расстояние между окнами на поверхности деки 10 минимально равно расстоянию между нижней и верхней плоскостями лопастного ротора 7, что исключает попадание зерна из ротора непосредственно в эти окна без контакта с зерном, находящимся в деке 10. Верхняя и нижняя крышки деки 10 исключают вылет зерна из вращающейся деки при его рикошетировании от находящегося в деке 10 зерна помимо окон 12 и 13.

Выполнение цилиндрической деки с окнами и реверсивно вращающейся относительно внутреннего ротора позволяет интенсифицировать процесс шелушения и увеличить степень очистки зерна.

**Выводы.** Рассмотренное движение зерна в плоскости вращения ротора позволяет оптимизировать параметры ротора и процесса шелушения, а также определить основные направления изменения конструкции шелушителей.

Построены основные уравнения ускорения движения зерна по лопасти и скорости зерна при выходе из ротора, что позволило разработать двухоперационную систему шелушения зерна с использованием двух роторов, вращающихся в противоположные стороны.

На основе патентных исследований и рассмотренного процесса шелушения зерна в двухоперационной системе разработана новая конструкция шелушителя зерна, на которую получен патент РФ № 2446885 «Устройство для шелушения зерна» [3].

### Литература

1. Нуруллин Э.Г. Энергетическое обоснование пневмомеханического шелушителя // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2003. – №4. – С.38–40.
2. Егоров Г.А. Технология муки. Технология крупы. – М.: КолосС, 2005. – 296 с.
3. Пат. 24406885. Российская Федерация, МПК В02В 3/08. Устройство для шелушения зерна / В.Н. Невзоров, В.Н. Холопов, А.И. Ярум, В.С. Клименко, В.А. Самойлов; заявитель и патентообладатель КрасГАУ. – № 2010138212/13; заявл. 09.11.10; опубл.10.04.12.