

ВИБРОЦЕНТРОБЕЖНАЯ СЕПАРАЦИЯ НА КОНИЧЕСКИХ СИТАХ С МАЛЫМ УГЛОМ КОНУСНОСТИ

Фалько А.Л., к.т.н., доцент

(Донецкий национальный университет имени Михаила Туган-Барановского)

Предлагаются аналитические исследования процесса вибрационной центробежной сепарации сыпучих пищевых продуктов на конических ситах с малым углом конусности.

Широко известные виброцентробежные зерновые сепараторы серии Р8-УЦС-200, которые на сегодняшний день наименее энергоемкими и представляют большой интерес для дальнейшего исследования и совершенствования [1]. Работы многих ученых посвященные изучению возможностей сепарации зерновых смесей с помощью цилиндрических виброцентробежных сит, которые расположены вертикально, горизонтально или под углом к горизонту [2, 3, 4, 5]. Преимущества таких конструкций очевидны, но следует заметить, что соединение вибрационного и центробежного влияния, может давать положительный эффект и в других конструкциях [3].

Использование вибрации в Р8-УЦС-200 дает целый ряд преимуществ, связанных с преодолением засорения сит и сохранением целостности частицы продукта. В вертикальных виброцентробежных цилиндрических сепараторах не проходящие фракции, некоторое время находятся под влиянием центробежной силы, прижимающей их к ситам. Из-за вибрации сита это влияние не жесткое, а рассматривается как «вязкое трение» на ситовой поверхности, что положительно сказывается на интенсификации процесса и не поврежденности частиц продукта. Это подтверждается научными работами Тищенко Л.Н., Пивень М.В., Харченко В.В. [4, 5]. Угол конусности решет барабана позволяет снизить значение центробежной силы, при этом единицы продукта будут скользить по поверхности сита определенное время, достаточное для сепарации. Однако, процесс " вязкого трения" не решает проблему механического истирания продукта окончательно, потому что центробежная сила для удержания продукта на сите довольно значительная, а потому некоторое число механических повреждений

продукта неизбежно [4, 5]. Выход можно поискать в замене «вязкого трения» вибрационным перемещением, направление которого будет задаваться центробежной силой от вращения сита, а угол конусности следует уменьшить.

Целью статьи является обоснование возможности процесса сепарации на вращающемся коническом сите малой конусности при вертикально направленных колебаниях и проведение аналитических исследований.

Под малой конусностью следует понимать угол наклона образующей конуса к горизонту менее 45 градусов. Продукт следует выбрать такой, где частицы имеют размер близкий к высокодисперсному, например: 0,0005...0,002м.

После ручного просеивания на сите получили 1 кг крупы ("ПШЕНО" крупа шлифованная, ГОСТ 572-60) средний диаметр частицы 1,5...2,2 мм. Исходную смесь, подавали через бункер - 1 (рис. 1) на вращающееся и вертикально колеблющееся стальное конусное сито - 2 с диаметром круглых ячеек 1,8 мм. Вращение сита и кинематические параметры вертикальных механических колебаний имеют возможность плавно меняться. Собранный под ситом проход показан на фото справа.



Рис. 1. Процесс сепарации на коническом вращающемся сите под влиянием вертикальной вибрации: 1 – загрузочный бункер; 2 – коническое сито

Объект на вращающейся конической поверхности перемещается по радиусу, а применение вертикальных вибраций, как установлено экспериментально сокращает длину пути скольжением за счет небольших перемещений в полете (при частоте вращения сита не более 100 об/мин).

Перемещение тела под действием центробежной силы и вибрации в пространстве является сложным движением. Для выбора аналитической методики движения продукта надо отследить траекторию его движения по ситу в реальном времени. Для этого

нанесем на конусную поверхность сита белую линию по образующей конуса. На некоторый начальный радиус этого сита, на нанесенную линию положим зерно, размер которого не пройдет через сито. Придадим сити вращение $\omega_с = 4,712$ рад/с, большее $\omega_с$ начнет сдвигать зерно. Резко придадим сити вибрацию ($A=0,0005$ м и $\nu = 25$ Гц). Режим видеозаписи 25 кадров в секунду, в режиме покадрового просмотра (рис. 2) отметим точки положения зерна на сите относительно белой линии.

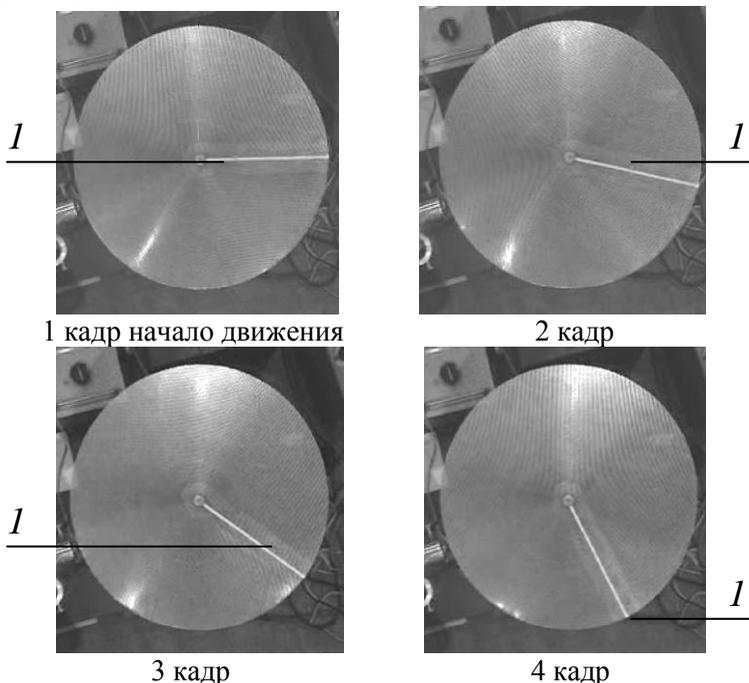


Рис. 2. Виброцентробежное перемещение частицы продукта (зерна гороха) по конусному сити: 1 – частица продукта

Интерес в данном эксперименте представляет влияние на частицу продукта механических колебаний, которые позволяют малому значению центробежной силы – $\vec{P}_ц$, сдвигать частицу продукта и предоставлять ей направленное движение, которое без вибрации невозможно. Фактически, вибрация значительно снижает порог значения $\vec{P}_ц$, достаточной для срыва частицы из состояния покоя на сите и увлечение ее в направленное движение.

Если нанести все точки положения частицы, полученные на 4-х

кадрах на фото сита с частицей на начальном радиусе – \vec{r}_0 , то получим действительную дугу перемещения продукта (рис. 3).

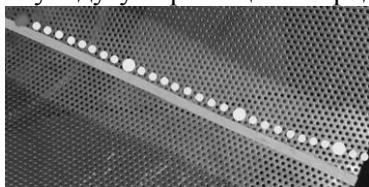


Рис. 3. Действительная траектория перемещения частицы

Таким образом, при исследовании виброцентробежного перемещения зерновых культур, с которыми проводились подобные эксперименты, а также близких к ним по физико-механическим свойствам и размеру частиц материалам, на сите с диаметром не более 0,5 м, можно принять допущение о том, что перемещение тела проходит по прямой, образующей конуса.

Принимаем слой продукта массой m за материальную точку (МТ). На МТ действует сила веса mg (рис. 4), сила инерции $I = mA\omega_K^2 \sin \omega_K t$, (A и ω_K - амплитуда и частота колебаний конического сита, t – текущее время), центробежная сила \vec{P}_u , сила сухого трения F_{mp} , нормальная реакция N .

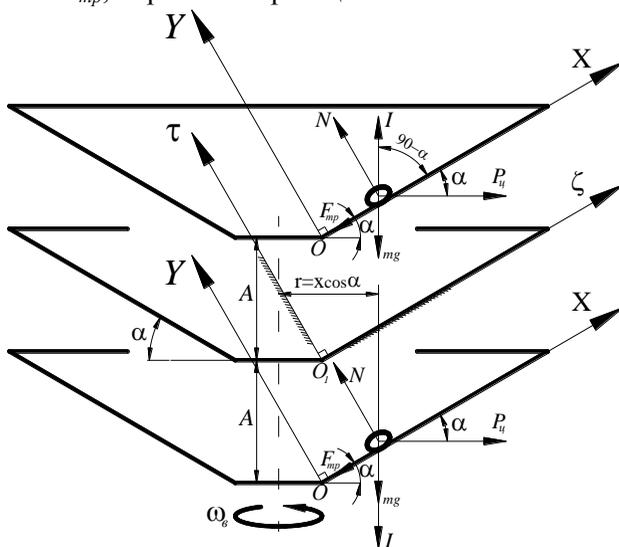


Рис. 4. Схема сил, действующих на частицу

Геометрические параметры вибрирующей конической поверхности определяются углом ее наклона к горизонту α . При этом угол наклона вибрации к сепарирующей плоскости, составит $90^\circ - \alpha$ (вертикальные колебания). Исходя из опытов, приемлемое значение α может находиться в пределах $10^\circ \leq \alpha \leq 35^\circ$ что, в сущности, это предельные условия существования процесса.

Неинерционную систему прямоугольных координатных осей XOY (рис. 4), которую в дальнейшем будем называть подвижной системой отсчета, жестко свяжем с колеблющейся поверхностью.

Перемещение рабочего органа будем рассматривать относительно инерционной системы осей координат $\xi O_i \tau$, она совпадает с нейтральным положением сита. В дальнейшем систему координат $\xi O_i \tau$ будем называть недвижимой системой отсчета.

На рис. 7 конусное сито изображено в верхнем, среднем и нижнем положениях колебательного процесса. В системе координат $\xi O_i \tau$ рабочий орган выполняет прямолинейные гармонические колебания, которые описываются уравнениями:

$$\tilde{\xi} = A \sin \omega_k t \cos(90^\circ - \alpha) = A \sin \omega_k t \sin \alpha \quad (1)$$

$$\tilde{\tau} = A \sin \omega_k t \sin(90^\circ - \alpha) = A \sin \omega_k t \cos \alpha$$

Уравнение относительного движения МТ в проекциях на подвижные координатные оси XOY запишутся в виде:

$$m\ddot{x} = mA\omega_k^2 \sin \omega_k t \sin \alpha - mg \sin \alpha + F_{mp} + \bar{P}_y \cos \alpha \quad (2)$$

$$m\ddot{y} = mA\omega_k^2 \sin \omega_k t \cos \alpha - mg \cos \alpha + N - \bar{P}_y \sin \alpha$$

Величину центробежной силы определим из уравнения:

$$\bar{P}_y = m\omega_g^2 r = m\omega_g^2 x \cos \alpha \quad (3)$$

где ω_g – частота вращения рабочей конической поверхности (рад/с), вокруг собственной вертикальной оси симметрии; $r = x \cos \alpha$ – радиус вращения, расстояние от оси вращения конического сита до центра массы слоя (МТ).

При скольжении МТ по конусной поверхности сила трения определяется соотношениями:

$$F_{mp} = \begin{cases} -\mu N & \text{при } \dot{x} > 0 \\ +\mu N & \text{при } \dot{x} < 0 \end{cases} \quad (4)$$

Нормальная реакция N определяется из второго уравнения системы (2), с учетом значения \bar{P}_y из (3) при $m\ddot{y} = 0$ (когда МТ не выполняет движение вдоль оси Y , то есть все силы уравновешены). Тогда:

$$N = m\omega_g^2 X \cos \alpha \sin \alpha + mg \cos \alpha - mA\omega_k^2 t \sin \omega_k t \cos \alpha \quad (5)$$

МТ остается на сите когда $N > 0$, то есть выполняется неравенство, полученное из равенства (5), если ее правая часть больше нуля:

$$\sin \omega_{\kappa} t < \frac{\omega_g^2 X \sin \alpha + g}{A \omega_{\kappa}^2}. \quad (6)$$

Дифференциальное уравнение перемещения МТ вдоль оси X получим, разделив обе части первого уравнения системы (2) на m :

$$\begin{aligned} \ddot{x} = & A \omega_{\kappa}^2 \sin \omega_{\kappa} t \sin \alpha - g \sin \alpha + \omega_g^2 X \cos^2 \alpha - \\ & - \mu \omega_g^2 X \cos \alpha \sin \alpha - \mu g \cos \alpha + \mu A \omega_{\kappa}^2 \sin \omega_{\kappa} t \cos \alpha. \end{aligned} \quad (7)$$

В дальнейшем, после математических преобразований получим конечное решение для перемещения, скорости и дифференциальное уравнение движения:

$$\begin{aligned} x = & - \frac{A \omega_{\kappa}^3 (\sin \alpha + \mu \cos \alpha) \sin \left[\sqrt{\omega_g^2 \cos \alpha (\mu \sin \alpha - \cos \alpha)} \cdot t \right]}{\sqrt{\omega_g^2 \cos \alpha (\mu \sin \alpha - \cos \alpha)} \left[\omega_g^2 \cos \alpha (\mu \sin \alpha - \cos \alpha) - \omega_{\kappa}^2 \right]} + \\ & + \left[\frac{g (\sin \alpha + \mu \cos \alpha)}{\omega_g^2 \cos \alpha (\mu \sin \alpha - \cos \alpha)} + x_0 \right] \cdot \cos \left[\sqrt{\omega_g^2 \cos \alpha (\mu \sin \alpha - \cos \alpha)} \cdot t \right] - \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \dot{x} = & - \frac{C \omega_{\kappa}}{Q - \omega_{\kappa}^2} \cos(\sqrt{Q}t) - \sqrt{Q} \left(\frac{B}{Q} + x_0 \right) \sin(\sqrt{Q}t) + \frac{C \omega_{\kappa} \cos(\omega_{\kappa} t)}{Q - \omega_{\kappa}^2} = \\ = & - \frac{A \omega_{\kappa}^3 (\sin \alpha + \mu \cos \alpha) \cos \left[\sqrt{\omega_g^2 \cos \alpha (\mu \sin \alpha - \cos \alpha)} \cdot t \right]}{\omega_g^2 \cos \alpha (\mu \sin \alpha - \cos \alpha) - \omega_{\kappa}^2} - \end{aligned} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} & - \sqrt{\omega_g^2 \cos \alpha (\mu \sin \alpha - \cos \alpha)} \cdot \left[\frac{g (\sin \alpha + \mu \cos \alpha)}{\omega_g^2 \cos \alpha (\mu \sin \alpha - \cos \alpha)} + x_0 \right] \cdot \\ & \cdot \sin \left[\sqrt{\omega_g^2 \cos \alpha (\mu \sin \alpha - \cos \alpha)} \cdot t \right] + \frac{A \omega_{\kappa}^3 (\sin \alpha + \mu \cos \alpha) \cos(\omega_{\kappa} t)}{\omega_g^2 \cos \alpha (\mu \sin \alpha - \cos \alpha) - \omega_{\kappa}^2} \cdot \\ \ddot{x} = & \frac{\sqrt{\omega_g^2 \cos \alpha (\mu \sin \alpha - \cos \alpha)} \cdot A \omega_{\kappa}^3 (\sin \alpha + \mu \cos \alpha) \sin \left[\sqrt{\omega_g^2 \cos \alpha (\mu \sin \alpha - \cos \alpha)} \cdot t \right]}{\omega_g^2 \cos \alpha (\mu \sin \alpha - \cos \alpha) - \omega_{\kappa}^2} - \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} & - \omega_g^2 \cos \alpha (\mu \sin \alpha - \cos \alpha) \cdot \left[\frac{g (\sin \alpha + \mu \cos \alpha)}{\omega_g^2 \cos \alpha (\mu \sin \alpha - \cos \alpha)} + x_0 \right] \cdot \\ & \cdot \cos \left[\sqrt{\omega_g^2 \cos \alpha (\mu \sin \alpha - \cos \alpha)} \cdot t \right] - \frac{A \omega_{\kappa}^4 (\sin \alpha + \mu \cos \alpha) \sin(\omega_{\kappa} t)}{\omega_g^2 \cos \alpha (\mu \sin \alpha - \cos \alpha) - \omega_{\kappa}^2}. \end{aligned}$$

Выражения (8), (9) и (10) является результатом изложенных аналитических исследований, которые предоставляют возможность определять влияние значений различных параметров на процесс виброцентробежного перемещения сыпучего продукта.

Выводы. В статье теоретически обоснована возможность осуществления процесса сепарации на коническом сите малой конусности при вертикально направленных колебаниях и

проведенные базовые аналитические исследования.

Перспектива дальнейших исследований состоит в экспериментальной проверке полученных выше уравнений и практическом определении влияния кинематических и других параметров движения конической поверхности на процесс перемещения сыпучего продукта.

Список литературы

1. Богомолов А.В. Научное обоснование энергосберегающих процессов и оборудования для сепарации пищевого сыпучего сырья: дис... д-ра техн. наук: 05.18.12 / А.В.Богомолов: Харьковский национальный технический ун-т сельского хозяйства им. Петра Василенко. — Харків: -2006. — 412с.

2. Заплетніков І.М. Дослідження кута підйому продукту в обертовому циліндричному ситі під впливом вібрації / І.М.Заплетніков, О.Л.Фалько // Обладнання та технології харчових виробництв: Вип. 22, – Донецьк : ДонНУЕТ, 2009. – С.59-66.

3. Першин В.Ф. Машины барабанного типа: основы теории, расчета и конструирования: монография / В.Ф.Першин. – Воронеж: Изд-во ВГУ, 1990. – 168 с. –ISBN 5-7455-0479-х.

4. Тищенко Л.Н. Исследование закономерностей вибровязкости зерновых смесей при сепарировании цилиндрическими виброцентробежными решетками /Л.Н.Тищенко, М.В.Пивень, С.А.Харченко, В.В.Бредихин // Сучасні напрямки технології та механізації процесів переробних і харчових виробництв: Зб. наук. пр. Вип. 88, – Харків: ХНТУСГ им. Петра Василенка. – 2009. С. 34-43.

5. Натансон И.П. Краткий курс высшей математики / И.П.Натансон Из-во: «Физматгиз» –Л.: – 1963. – 748 с.

Анотація

ВІБРОВІДЦЕНТРОВА СЕПАРАЦІЯ НА КОНІЧНИХ СИТАХ З МАЛИМ КУТОМ КОНУСНОСТІ

Пропонуються аналітичні дослідження процесу вібраційної відцентрової сепарації сухих харчових продуктів на конічних ситах з малим кутом конусності.

Abstract

VIBRATING CENTRIFUGAL SEPARATION ON THE CONIC SIEVES WITH SMALL CONE CORNER

Analytical researches of new process of vibrating centrifugal separation of loose foodstuff on the conic sieves with small cone corner are offered.