

УДК 631.362.36; 621.928.9

Л.Н. Тищенко, чл.-кор. НААНУ, проф., д-р техн. наук, М.В. Слипченко, инж.  
Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства  
им. Петра Василенко

## К составлению уравнений динамики зерновой смеси на тарельчатом разбрасывателе виброцентробежного сепаратора

В статье исследовано динамику слоя зерновой смеси на вращающемся тарельчатом разбрасывателе. Составлены уравнения динамики, математически описана геометрия, и получено уравнение кривой вращения тарельчатой поверхности.

**виброцентробежный сепаратор, зерновая смесь, тарельчатый разбрасыватель, уравнение поверхности**

**Постановка проблемы.** Одним из путей повышения качества сепарации и увеличения производительности виброцентробежных сепараторов ОАО "Вибросепаратор" (г. Житомир) является улучшение воздушной очистки зерновых смесей (ЗС) от легких примесей. С этой целью создано веерно-кольцевое конусно-каскадное пневмосепарирующее устройство [1-3]. Один из этапов очистки ЗС от легких примесей осуществляется при ее сходе с тарельчатого разбрасывателя (ТР).

**Формулировка целей статьи.** Составление уравнений динамики слоя ЗС на ТР как двухфазной сплошной среды. Получение уравнения кривой вращения, описывающей внутреннюю поверхность ТР.

**Основная часть.** Рассмотрим движущийся слой зерна  $V$  с примесью по поверхности  $S_2$  вращающегося ТР (рис.1,2). Частицы зерна и примеси участвуют в сложном движении, состоящем из переносного движения вращающегося ТР и относительного движения в системе координат, связанной с ТР. Каждая из компонент смеси (зерно + примеси) движется как сплошная среда, характеризуемая своим полем скоростей:  $\vec{v}_1$  - для зерна и  $\vec{v}_2$  - для примеси.

Обе компоненты испытывают действие внешней силы тяжести и силы взаимодействия их между собой. В силу значительного различия между «истинными» плотностями зерна, примеси  $\rho_1^0, \rho_2^0$  и плотностью воздуха  $\rho_{возд}$  ( $\rho_1, \rho_2 \gg \rho_{возд}$ ) влиянием воздуха на динамику слоя на ТР можно пренебречь. Тогда смесь представляет собой двухфазную среду, где зерно выступает как диспергирующая (несущая) среда, а примесь как дисперсная фаза [4,5]. Для каждой из фаз можно записать уравнение, выражающие закон сохранения массы [6]:

$$\frac{\partial \rho_\alpha}{\partial t} + \text{div}(\rho_\alpha \vec{v}_\alpha) = 0 \quad (1)$$

и уравнение движения:

$$\rho_\alpha \frac{d\vec{v}_\alpha}{dt} = \text{div}\hat{\sigma}_\alpha + \vec{f}_{\alpha\beta} + \rho_\alpha \vec{g}, \quad (2)$$

где  $\alpha, \beta = 1, 2$ ;

$\hat{\sigma}_\alpha$  – тензор напряжений для  $\alpha$ -ой составляющей смеси;

$\vec{f}_{\alpha\beta}$  – сила, с которой действует на  $\alpha$ -ую составляющую  $\beta$ -ая составляющая среды. Для нее выполняется третий закон Ньютона  $\vec{f}_{12} = -\vec{f}_{21}$ .

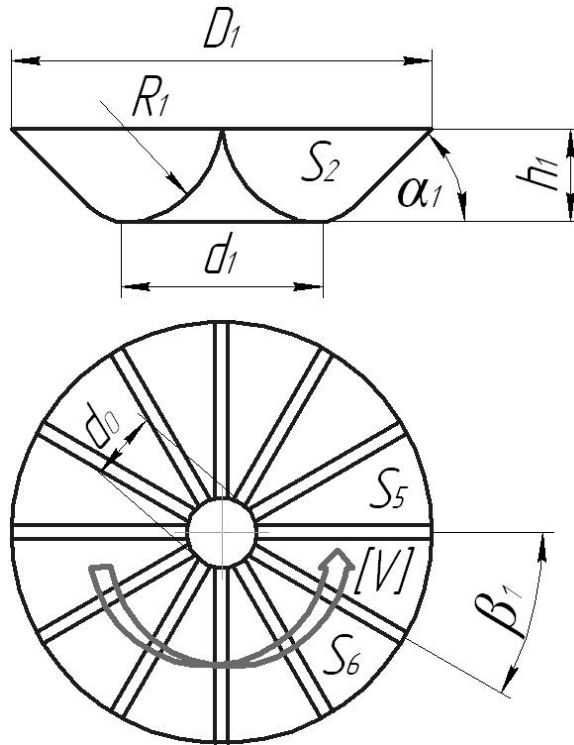


Рисунок 1 – Расчетная схема тарельчатого разбрасывателя

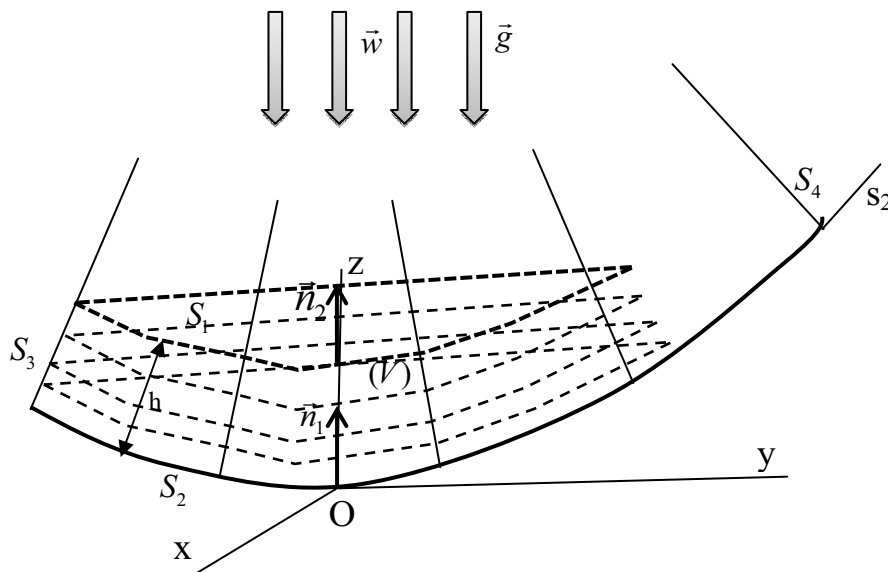


Рисунок 2 – Схема движения слоя зерновой смеси по поверхности тарельчатого разбрасывателя

Будем полагать, что плотность примеси  $\rho_2$  значительно меньше плотности зерна  $\rho_1$  ( $\rho_2 \ll \rho_1$ ) и число частиц примеси  $n_2$  в единице объема меньше числа частиц зерна  $n_1$  в единице объема. Тогда можно считать, что частицы примеси между собой не взаимодействуют, и в этом случае тензор напряжений для примеси тождественно равен нулю  $\hat{\sigma}_2 \equiv 0$ . Сила взаимодействия фаз между собой для потока, движущегося по

твердой поверхности с большим градиентным полем скоростей, представляет собой в основном силу Стокса [5]:

$$\vec{f}_{21} = \vec{f}_C = 6\pi\mu_1 a n_2 (\vec{v}_1 - \vec{v}_2), \quad (3)$$

где  $\mu_1$  представляет собой динамическую вязкость зернового потока;

$a$  – является эквивалентным радиусом частицы зерна (для зерновых культур, имеющих сферическую форму,  $a$  совпадает с радиусом сферы, для культур аппроксимируемых эллипсоидом вращения  $a = \sqrt[3]{a_1 \cdot a_2 \cdot a_3}$ , где  $a_1, a_2, a_3$  – длина, ширина и высота зерновки, соответственно).

Введем понятие объемной плотности для фаз  $\varepsilon_\alpha$ , равной отношению объема частиц  $\alpha$ -ой фазы  $\Delta V_\alpha$ , располагаемых в некотором объеме пространства  $\Delta V$ , к этому объему:

$$\varepsilon_\alpha = \frac{\Delta V_\alpha}{\Delta V}. \quad (4)$$

Имеют место очевидные соотношения:

$$\rho_1 = \varepsilon_1 \rho_1^0, \quad \rho_2 = \varepsilon_2 \rho_2^0, \quad n_2 = \frac{3 \varepsilon_2}{4\pi a^3}. \quad (5)$$

Истинная плотность материала фаз в процессе движения не меняется ( $\rho_\alpha^0 = const$ ). Тогда, с учетом сказанного выше, (1) и (2) можно представить в виде:

$$\frac{\partial \varepsilon_\alpha}{\partial t} + \text{div}(\varepsilon_\alpha \vec{v}_\alpha) = 0, \quad (6)$$

$$\rho_1^0 \left[ \frac{\partial \varepsilon_1 \vec{v}_1}{\partial t} + \text{div}(\varepsilon_1 \vec{v}_1 \vec{v}_1) \right] = \text{div} \hat{\sigma}_1 - \frac{9\mu_1 \varepsilon_2}{2a^2} (\vec{v}_1 - \vec{v}_2) + \rho_1^0 \varepsilon_1 \vec{g}, \quad (7)$$

$$\frac{\partial \varepsilon_2 \vec{v}_2}{\partial t} + \text{div}(\varepsilon_2 \vec{v}_2 \vec{v}_2) = \frac{9\mu_1 \varepsilon_2}{2a^2 \rho_2^0} (\vec{v}_1 - \vec{v}_2) + \varepsilon_2 \vec{g}. \quad (8)$$

Здесь можно принять дополнительные упрощающие предположения о слабом влиянии примеси на движение зерновой фазы. Тогда в (7), в правой части, можно отбросить второе слагаемое, и это уравнение можно записать в виде:

$$\rho_1^0 \varepsilon_1 \frac{d\vec{v}_1}{dt} = \text{div} \hat{\sigma}_1 + \rho_1^0 \varepsilon_1 \vec{g}. \quad (9)$$

Область, в которой движется слой смеси по поверхности  $S_2$ , ограничена поверхностями  $S_1, S_2, S_3, S_4$  и полуплоскостями  $S_5, S_6$ , проходящими через ось ротора и составляющими между собой угол  $\beta_1$  (рис.1,2). Последние полуплоскости представлены в устройстве радиальными ребрами, препятствующими перемещению среды в трансверсальном направлении.

Введем цилиндрическую систему координат  $(r, \varphi, z)$  с началом в т. О и осью Oz, направленной вертикально вниз (рис.3). Поверхность  $S_2$  образована вращением кривой ОАВС вокруг оси Oz на угол  $\beta_1$ . Составим уравнение кривой ОАВС в виде функциональной зависимости между переменными  $r, z$ . Кривая ОАВС состоит из дуги ОАВ окружности радиуса  $R_1$  и отрезка прямой ВС, образующим угол  $\alpha_1$  с отрезком СО. Обозначим координаты точек О(0,0), А( $d_1/2, h_1$ ), В( $r_B, z_B$ ), С( $D_1/2, 0$ ), радиус  $R_1$  дуги окружности ОА,  $O_1(d_1/2, -b)$  – центр данной окружности.



Для описання кривої ОАВС воспользуемся составной формулой, учитывающей соотношения (11)-(16):

$$z = Z(r) = \begin{cases} \frac{-d_1^2 + 4h_1^2 + \sqrt{d_1^4 - 8d_1^2h_1^2 + 16h_1^4 + 64d_1rh_1^2 - 64r^2h_1^2}}{8h_1}, & (0 \leq r \leq r_B), \\ k\left(\frac{D_1}{2} - r\right) & (r_B \leq r \leq D_1/2) \end{cases} \quad (17)$$

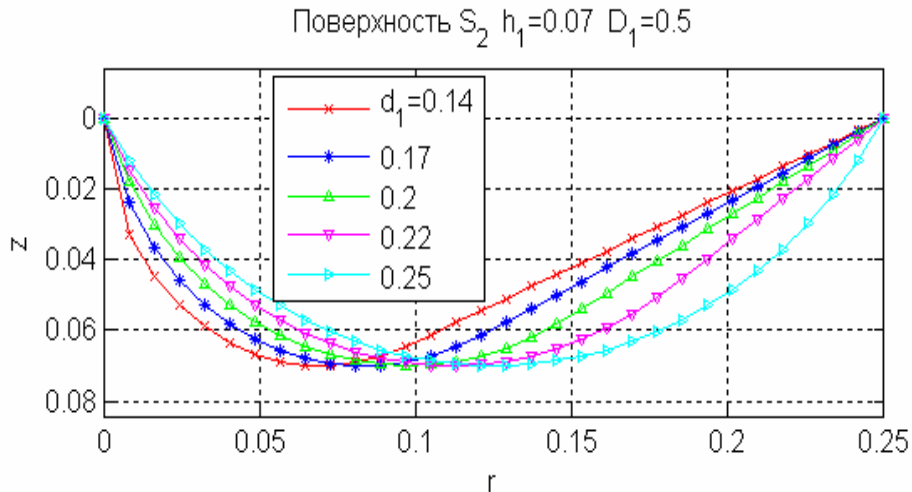


Рисунок 4 – Кривые вращения, описывающие внутреннюю поверхность тарельчатого разбрасывателя

На рис.4 приведены кривые ОАВС в соответствии с формулой (17) для  $D_1 = 0,5 \text{ м}$ ,  $h_1 = 0,07 \text{ м}$  и различных значениях  $d_1$ .

**Выводы.** Составлены уравнения динамики слоя ЗС на ТР как двухфазной сплошной среды, с учетом взаимодействия фаз и предположения о слабом влиянии примесей. Математически описана кривая вращения, отображающая поверхность тарельчатого разбрасывателя. Полученные зависимости позволяют исследовать динамику слоя ЗС с примесями с дальнейшей очисткой воздушным потоком при ее сходе с ТР.

## Список литературы

1. Пат. 50587 Україна, МПК<sup>9</sup> В07В 1/00, В07В 4/00. Вібровідцентровий сепаратор / Тіщенко Л.М., Пастушенко М.Г., Харченко С.О., Сліпченко М.В.; заявник та власник Харківський національний технічний університет сільського господарства ім. Петра Василенка. №и 201000743; заявл. 26.01.10; опубл. 10.06.10, Бюл. №11/2010.
2. Сліпченко М.В. К производственным испытаниям ворохоочистителя СВС-15 с разработанным пневмосепарирующим устройством / М.В. Сліпченко // Сучасні напрямки технології та механізації процесів переробних і харчових виробництв: Вісник ХНТУСХ ім. Петра Василенка. - Харків, 2009. – Вип. 88 – С. 88-95.
3. Сліпченко М.В. Оптимизация конструктивно-технологических параметров разработанного пневмосепарирующего устройства виброцентробежных зерновых сепараторов / М.В. Сліпченко // Механізація сільського господарства: ХНТУСХ ім. Петра Василенка. - Харків, 2010. – Вип. 93 - Т.1 – С. 214-222.
4. Соу С. Гидродинамика многофазных систем. / С. Соу - М.: Мир, 1971.- 536 с.
5. Нигматулин Р.И. Основы механики гетерогенных сред. / Р.И. Нигматулин - М.: Наука, 1978.- 336 с.
6. Тарапов И.Е. Механика сплошной среды. / И.Е. Тарапов - В 3 ч., Ч.2: Общие законы кинематики и динамики. Харьков: Золотые страницы, 2002. - 516 с.

*Л. Тищенко, М. Сліпченко*

**До складання рівнянь динаміки зернової суміші на тарілчастому розкидачі вібровідцентрового сепаратора**

У статті досліджено динаміку шару зернової суміші на тарілчастому розкидачі, що обертається. Складені рівняння динаміки, математично описана геометрія та одержані рівняння кривої обертання тарілчастої поверхні.

*L. Tishchenko, M. Slipchenko*

**To the equation compilation of grain mixtures dynamics on poppet spreader of vibroseparator**

Dynamics of grain mixture layer on rotating poppet spreader are investigated. The equations of motion are obtained, mathematically described geometry, and an equation of the rotation curve of spreader surface are obtained.

Одержано 29.08.11

**УДК 631.356.2**

**В.М. Булгаков, акад. НААНУ, І.В. Головач, д-р техн. наук**

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

**М.О.Свірень, проф., канд. техн. наук**

*Кіровоградський національний технічний університет*

**І.М. Кіров, канд. хім. наук**

*Інженерно-технологічний інститут "Біотехніка" Національної академії аграрних наук України*

## **Основні принципи теорії вібраційного викопування коренеплодів**

Розроблені основні положення теорії вилучення коренеплоду з ґрунту, яке здійснюється під дією вертикальної збуруючої сили та тягового зусилля, що надаються йому від вібраційного викопуючого робочого органу. Отримані системи диференціальних рівнянь, розв'язування яких дало можливість знайти закон руху коренеплоду в процесі його безпосереднього вібраційного вилучення.

**коренеплод, вібраційний викопуючий орган, плоскопаралельний рух, диференційне рівняння**

**Вступ.** Вібраційне викопування коренеплодів з ґрунту має ряд суттєвих переваг в порівнянні з іншими способами. Воно характеризується меншим пошкодженням коренеплодів, зниженням втрат врожаю при збиранні, більш інтенсивним очищенням коренеплодів від налиплого ґрунту, меншим захаращенням робочого русла копача ґрунтом та залишками бур'янів. Тому саме цей технологічний процес потребує докладного аналітичного дослідження та подальшої розробки і широкого впровадження вдосконалених вібраційних викопуючих органів.

**Постановка проблеми.** Теоретичні дослідження технологічного процесу вібраційного викопування коренеплодів цукрового буряку з ґрунту дають можливість науково обґрунтувати конструктивні і кінематичні параметри вібраційних викопуючих робочих органів. Такі дослідження необхідні у першу чергу для теоретичного аналізу роботи вібраційних викопуючих органів у несприятливих умовах, на важких і твердих ґрунтах, де надійність роботи бурякозбиральних машин суттєво знижується. В свою