



УДК 621.929.7

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ОБОГАЩЕНИЯ КОМБИКОРМОВ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫМИ КОРМОВЫМИ ДОБАВКАМИ

Бойко И.Г., к.т.н.,

Семенцов В.И., к.т.н.

*Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства им. Петра Василенко*

Тел. 050-303-20-45

**Аннотация** - предложен новый способ смешивания сыпучих кормов, на основании которого разработана конструкция центробежного смесителя, позволяющая управлять процессом перераспределения смешиваемых компонентов. В результате проведенных теоретических исследований определены кинематические и конструктивные параметры смесителя.

**Ключевые слова** – смешивание, сыпучие корма, смеситель.

*Постановка проблемы.* Приготовление однородных по составу смесей из сыпучих материалов, путем их смешивания является широко используемым процессом во многих областях промышленности, в том числе и в комбикормовой промышленности при производстве комбикормов.

Процесс смешивания сыпучих материалов является сложным механическим процессом, механизм действия которого зависит главным образом от конструкции смесителя и способа выполнения технологического процесса, что вызывает трудности в математическом истолковании этого явления в существующих конструкциях смесителей.

Смесительное оборудование, для смешивания сыпучих материалов, отличается большим конструктивным разнообразием, которое обуславливается большим различием физико-механических свойств сыпучих материалов, режимов работы смесителей и требованиями, предъявляемыми к однородности получаемой смеси.

На основании проведенного анализа теоретических исследований процесса смешивания, обзора конструкций смесителей, критического анализа их достоинств и недостатков следует считать, что предложенные способы смешивания сыпучих материалов и

конструкції смесителів не відповідають реальним вимогам.

Недостатком існуючих способів змішування сыпучих матеріалів є те, що вони не забезпечують управління перерозподілом змішуваних компонентів і процес змішування відбувається випадковим чином.

Недостатком конструкцій смесителів є те, що їх робочі органи рівнозначно впливають на змішувані компоненти і сили, прикладені до частинок сыпучого матеріалу рівні.

Перерозподіл компонентів суміші в таких смесителях відбувається за рахунок ковзання шарів або через свіжоутворену межу їх розділу, що є дуже не раціонально. Тому, з метою інтенсифікації процесу змішування, необхідно шукати нові способи змішування, які дозволять керувати перерозподілом змішуваних компонентів і на їх основі створювати нові конструкції смесителів.

*Основна частина.* Для досягнення мети управління процесом перерозподілу частинок змішуваних компонентів в запропонованому способі [1], змішувані компоненти рухаються по перетинаючихся траєкторіях, причому один з компонентів знаходиться в псевдооживленому стані, а вводимі компоненти подаються під прямим кутом до напрямку руху основного компонента з різною швидкістю, чим і забезпечується рівномірне розподілення вводимих компонентів. Графічна схема реалізації запропонованого способу представлена на рис. 1.

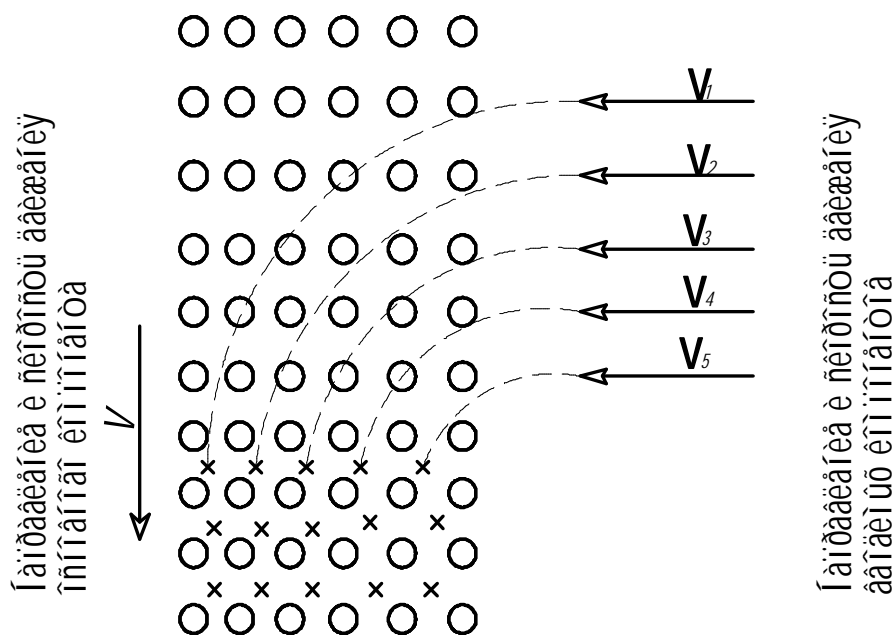


Рис. 1. Графічна схема реалізації способу змішування сыпучих матеріалів.

Предлагаемый способ смешивания сыпучих материалов может быть реализован [2] в вертикальной цилиндрической камере, внутри которой движется основной псевдооживленный компонент в виде полого цилиндра, а подача вводимых компонентов осуществляется с помощью вращающегося диска ограниченного по периметру частью Архимедовой спирали.

На рис. 2 изображена технологическая схема смесителя сыпучих материалов.

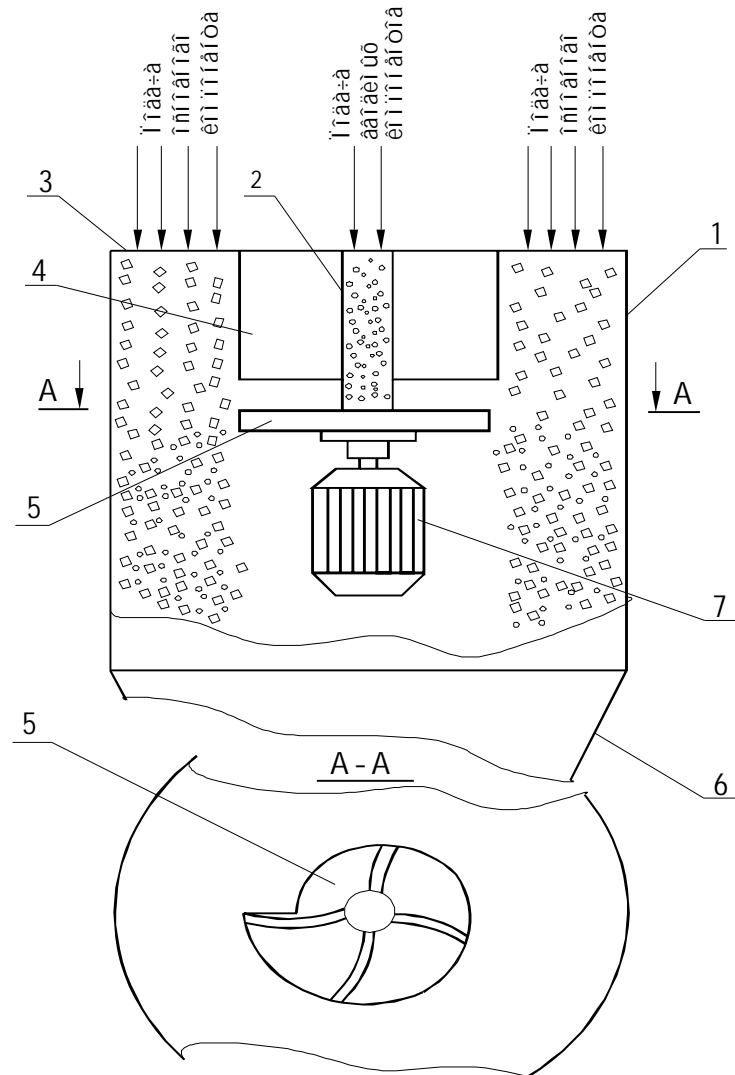


Рис. 2. Технологическая схема центробежного смесителя сыпучих материалов.

Устройство для смешивания сыпучих материалов состоит из цилиндрического корпуса 1, патрубка 2 для подачи вводимых компонентов, патрубка 3 для подачи основного компонента, направляющей 4, ротора 5, выполненного в виде диска с рабочими каналами 6 и ограниченного по периметру частью Архимедовой спирали, выгрузного патрубка 7 и электродвигателя 8.

Рассматривается движение материальной частицы вдоль канала рабочего диска смесителя с учетом сил, действующих на частицу (рис.3), векторная форма уравнения относительного движения частицы имеет следующий вид [3]:

$$m\vec{w} = m\vec{g} + \vec{T} + \vec{M} + \vec{J}_e + \vec{J}_c, \quad (1)$$

где  $\vec{g}$  – ускорение свободного падения;  $\vec{M} = N\vec{n} + G\vec{k}$  – сила нормального к АВ давления;  $N\vec{n}$  – составляющая, направленная вдоль главной нормали  $\vec{n}$ ;  $G\vec{k}$  – составляющая, направленная вдоль оси вращения диска;  $\vec{T} = -\vec{\tau} \text{sign}(v) f \sqrt{N^2 + G^2}$  – сила сухого трения Кулона, направленная противоположно направлению скорости точки;  $f$  – коэффициент трения;  $\vec{\tau}$  – единичный вектор, касательный к АВ в точке С;  $\vec{J}_e = -m(\vec{\varepsilon} \times \mathbf{r} + \vec{\omega} \times \vec{\omega} \times \mathbf{r})$  – переносная сила инерции;  $\vec{\varepsilon}$  – вектор мгновенного углового ускорения (в нашем случае он равен нулю);  $\mathbf{r}$  – радиус-вектор точки С;  $\vec{J}_c = -m2\vec{\omega} \times \vec{v}$  – Кориолисова сила инерции.

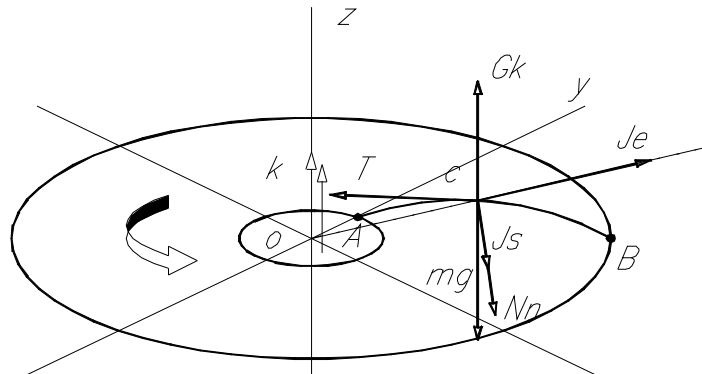


Рис. 3. Схема сил, действующих на частицу сыпучего корма при движении ее по лопасти диска.

Выполнив математические преобразования уравнения (1) получили окончательное уравнение, определяющее закон относительного движения материальной частицы

$$\ddot{s} = \omega^2 (xx' + yy') - \text{sign}(\dot{s}) f \sqrt{(N/m)^2 + g^2}, \quad (2)$$

где  $x, y$  – декартовы координаты материальной частицы находящейся в рабочем канале.

В результате численного решения [4] уравнения (2) получены зависимости абсолютной скорости частицы и угла отклонения ее траектории от радиального направления для различных значений радиуса диска (рис. 4).

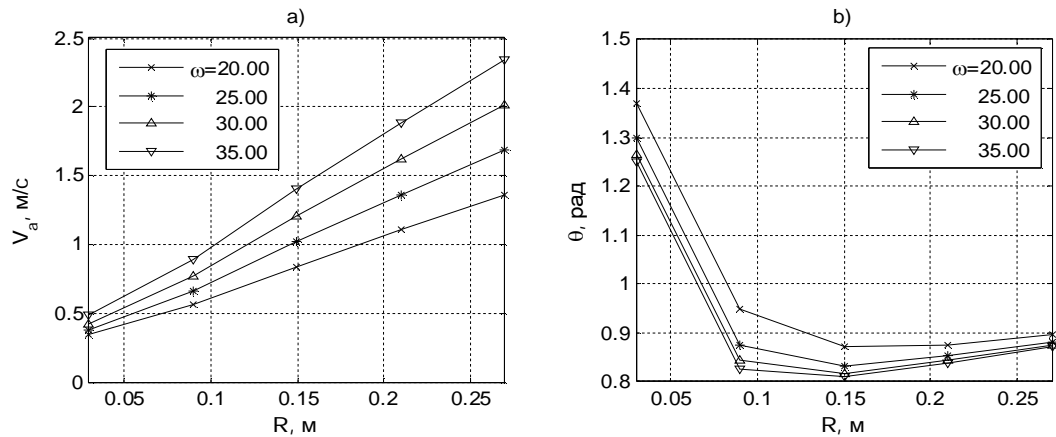


Рис. 4. Зависимости  $v_a$  и  $\theta$  от радиуса диска  $R$  при различных значениях угловой скорости.

Для определения глубины проникновения вводимой частицы в движущийся псевдооживленный слой основного компонента определим его динамику. Для описания динамики слоя достаточно привлечь два закона механики сплошных сред: закон сохранения массы и закон изменения импульсов. Эти два закона приводят к двум уравнениям в частных производных

$$\begin{aligned} \frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div}(\rho \mathbf{v}) &= 0, \\ \rho \left( \frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} + \mathbf{v} \cdot \nabla \mathbf{v} \right) &= \rho \mathbf{g}, \end{aligned} \tag{3}$$

где  $\rho$  – плотность слоя;  $\mathbf{v}$  – скорость среды;  $\mathbf{g}$  – ускорение свободного падения.

В результате математических преобразований уравнений (3) и их интегрирования получены выражения для определения плотности и скорости частиц в следующем виде

$$\begin{aligned} \rho(z) &= \frac{\rho_0}{\sqrt{1 + z/z^*}}, \\ \mathbf{v}(z) &= 2\sqrt{g(z + z^*)}, \end{aligned} \tag{4}$$

где  $z^* = \frac{J_c^2}{2g\rho_0^2}$  - "приведенная" длина.

Динамика внедряемой частицы в случае двухфазной среды может быть представлена силой сопротивления Стокса [5], которая имеет следующий вид

$$|F_{CT}| = K_f C_D \frac{1}{2} S_{мид} \rho w^2, \quad (5)$$

где  $C_D$  - коэффициент сопротивления, согласно теории Ньютона равный  $\approx 0.44$ ;

$S_{мид}$  - миделево сечение частицы;  $K_f$  - коэффициент, учитывающий отличие формы частицы от сферической ( $K_f \approx 1$ );  $w$  - относительная скорость частицы.

Кроме силы Стокса на внедряемую частицу действует дополнительная сила сопротивления, аналогичная силе сухого трения Кулона, которая учитывает взаимодействие частиц. Соответствующие соотношения носят эмпирический характер и могут быть записаны следующим образом [5]

$$\begin{aligned} |\vec{F}_{TP}| &= f_{mp} P, \\ P &= S_{мид} p, \\ p &= p_0 \psi(\alpha_2), \end{aligned} \quad (6)$$

$$p_0 = 0,92(\gamma_2 - 1) \left( \frac{\rho_1^0}{\rho_2^0} \right)^2 \frac{\rho_2^0 v_0^2}{\eta},$$

$$\psi(\alpha_2) = \frac{\alpha_2^{1/3} (1 - \alpha_2^{1/3})}{(1 - \alpha_2)},$$

где  $f_{mp}$  - коэффициент внутреннего трения среды;  $\alpha_2 = \frac{\rho_2^0}{\rho_1^0}$  - объемная доля частиц слоя;  $\rho_1^0$  - плотность воздуха;  $\rho_2^0$  - истинная плотность вещества частиц слоя;  $\gamma_2$  - параметр среды, приблизительно равный 1.4;  $v_0^2$  - относительная скорость газа по отношению к частицам;  $\eta$  - экспериментальная характеристика материала частиц слоя, учитывающая потери кинетической энергии при неупругом соударении частиц.

С учетом вышеуказанных предположений уравнение динамики внедряемой частицы можно записать в векторной форме

$$m \frac{d^2 \vec{r}}{dt^2} = \vec{F}_{CT} + \vec{F}_{TP} + m \vec{g}. \quad (7)$$

или в проекциях на оси координат с учетом (5),(6) в скалярной форме

$$\begin{aligned} \ddot{x} &= -C_D \frac{1}{2m} \rho |\vec{u} - \vec{v}| \dot{x} - f_{mp} P \frac{\dot{x}}{|\vec{u} - \vec{v}|}, \\ \ddot{y} &= -C_D \frac{1}{2m} \rho |\vec{u} - \vec{v}| \dot{y} - f_{mp} P \frac{\dot{y}}{|\vec{u} - \vec{v}|}, \\ \ddot{z} &= -C_D \frac{1}{2m} \rho |\vec{u} - \vec{v}| (\dot{z} - v) f_{mp} P \frac{(\dot{z} - v)}{|\vec{u} - \vec{v}|} + g, \end{aligned} \quad (8)$$

где  $|\vec{u} - \vec{v}| = \sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2 + (\dot{z} - v)^2}$ .

Выполнив численное решение полученных уравнения, были найдены зависимости глубины проникновения внедряемых частиц вводимого сыпучего материала в основной компонент от геометрических и кинематических параметров рабочих органов смесителя. Найденные зависимости представлены в виде номограммы (рис. 5), которая позволяет, задаваясь необходимой глубиной проникновения частицы найти соответствующие значения угловой скорости вращения ротора смесителя и его радиус.

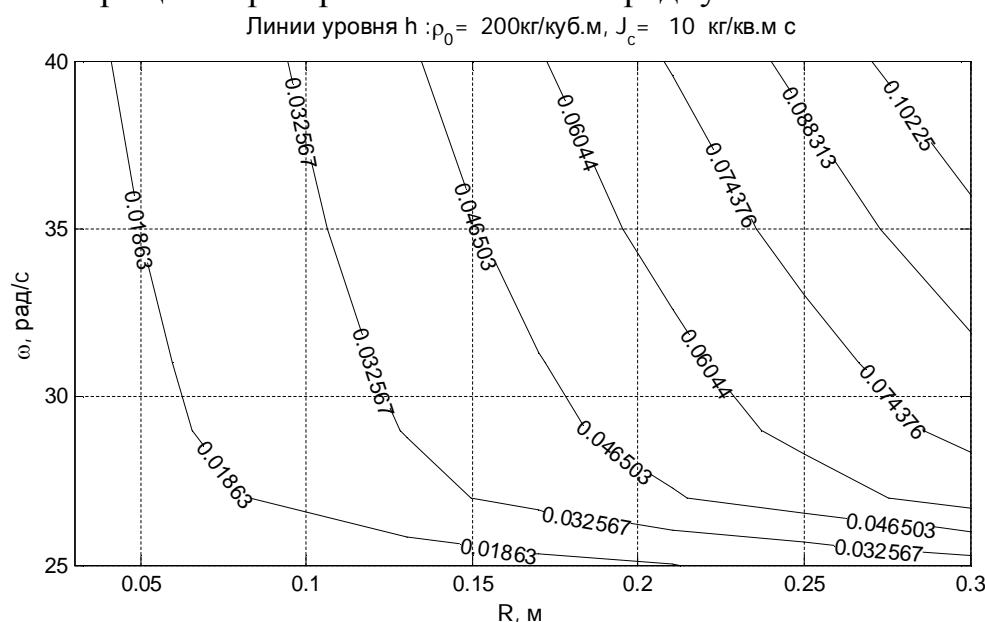


Рис. 5. Номограмма для определения геометрических и кинематических параметров смесителя.

**Выводы.** В результате проведенных поисковых работ и конструкторских разработок предложен новый способ смешивания сыпучих материалов и разработана новая конструкция центробежного смесителя, позволяющие управлять процессом перераспределения смешиваемых материалов. В результате выполнения теоретических исследований определены зависимости для определения конструктивных и кинематических параметров центробежного смесителя.

## Литература

1. Центробежный смеситель сыпучих материалов: Патент №64665 А. Украина, МКІ А 23N17/00 /И.Г. Бойко, В.И. Семенцов. – Оpubл. 16.02.2004, Бюл. №2. – 2 с.
2. Способ смешивания сыпучих материалов и устройство для его осуществления: Решение о выдачи патента на изобретение. Заявка №2005135536/15(039705). – Роспатент. 15.11.2005.
3. *Кильчевский Н.А.* Курс теоретической механики. / *Н.А.Кильчевский* /Т.1. М.: Наука.-1972, 395 с.
4. *Березин И.С.* Методы вычислений./ *И.С.Березин, Н.П. Жидков* /. Т.1, Т.2. Т.1.- М.: Наука,-1966; Т.2.- Физматгиз,-1962, 384 с.
5. *Низматулин Р.И.* Основы механики гетерогенных сред. М.: Наука, 1978. – 336 с.

**ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ЗБАГАЧЕННЯ  
КОМБІКОРМІВ БІОЛОГІЧНО АКТИВНИМИ  
КОРМОВИМИ ДОБАВКАМИ**

Бойко І.Г., Семенцов В.І.

*Анотація*

Запропонований новий спосіб змішування сипучих кормів, на підставі якого розроблена конструкція відцентрового змішувача, що дозволяє управляти процесом перерозподілу змішуваних компонентів. В результаті проведених теоретичних досліджень визначені конструктивно кінематичні параметри змішувача.

**PERFECTION OF HARDWARES OF ENRICHING OF THE  
MIXED FODDERS BIOLOGICALLY ACTIVE BY FORAGE  
ADDITIONS**

I. Boyko, V. Semencov

*Summary*

The new method of mixing of friable forages, which the construction of centrifugal mixer is developed on the basis of, is offered, that allows to manage the process of redistribution of the mixed up components. As a result of the conducted theoretical researches the kinematics and structural parameters of mixer are certain.