

## Abstract

### Application of the pulsed magnetization to address energy conservation and environmental conservation

Experience in the Republic of Belarus has shown that the method of pulse magnetization of pipes provides a significant saving of energy and extends the service of heat exchange equipment. To clean the boiler model DKVR require 20-30 days mode of operation.

УДК 631.363.01-52

### ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОЦЕССОВ СМЕШИВАНИЯ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ

**Бойко И.Г.**, к.т.н., доцент

*Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства,  
г. Харьков, Украина*

#### Введение

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.

На основании проведенного анализа теоретических исследований процесса смешивания, обзора конструкций смесителей, критической оценки их достоинств и недостатков следует считать, что предложенные способы смешивания сыпучих материалов и конструкции смесителей не отвечают настоящим требованиям.

Недостатком существующих способов смешивания сыпучих материалов является то, что они не обеспечивают прогнозируемого перераспределения смешиваемых компонентов, и процесс смешивания происходит случайным образом.

Недостатком существующих конструкций смесителей является то, что их рабочие органы равнозначно воздействуют на смешиваемые компоненты и силы, приложенные к частицам сыпучего материала, равны по действию и направлению. Перераспределение же компонентов смеси в таких смесителях происходит за счет скольжения слоев или через свежееобразованную границу их раздела, что является весьма нерационально. Поэтому, с целью интенсификации процесса смешивания, необходимо искать новые способы смешивания, которые позволят прогнозировать перераспределение смешиваемых компонентов и на их основе создавать новые конструкции смесителей.

#### Новый способ смешивания сыпучих материалов и устройство для его реализации

Для достижения цели прогнозируемого перераспределения смешиваемых компонентов в предлагаемом нами способе [1] смешиваемые компоненты движутся по пересекающимся траекториям, причем один из компонентов находится в разреженном состоянии (в виде падающего снега). Вводимые же компоненты подаются под прямым углом к направлению движения основного компонента с различной скоростью, чем и обеспечивается равномерное распределение вводимых компонентов (рисунок 1).

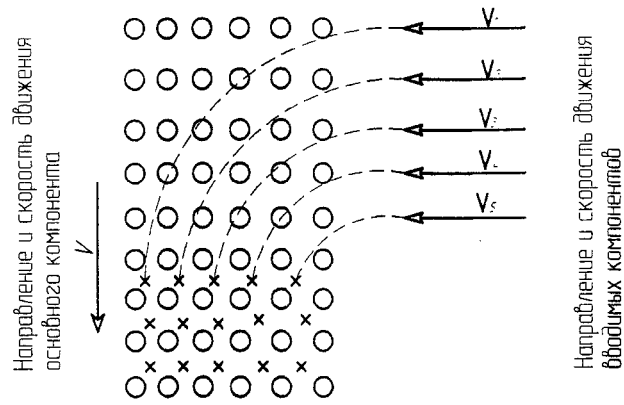


Рисунок 1 – Графическая схема реализации способа смешивания сыпучих материалов

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

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, ограниченного по периметру частью Архимедовой спирали, выгрузного патрубка 6 и электродвигателя 7.

#### Математическое моделирование процесса смешивания

Рассматривается движение материальной частицы вдоль канала рабочего диска смесителя с учетом сил, действующих на частицу (рисунок 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;  $\vec{J}_e = -m(\vec{\varepsilon} \times \vec{r} + \vec{\omega} \times \vec{\omega} \times \vec{r})$  – переносная сила инерции;  $\vec{\varepsilon}$  – вектор мгновенного углового ускорения (в нашем случае он равен нулю);  $\vec{r}$  – радиус-вектор точки С;  $\vec{J}_c = -m2\vec{\omega} \times \vec{v}$  – Кориолисова сила инерции.

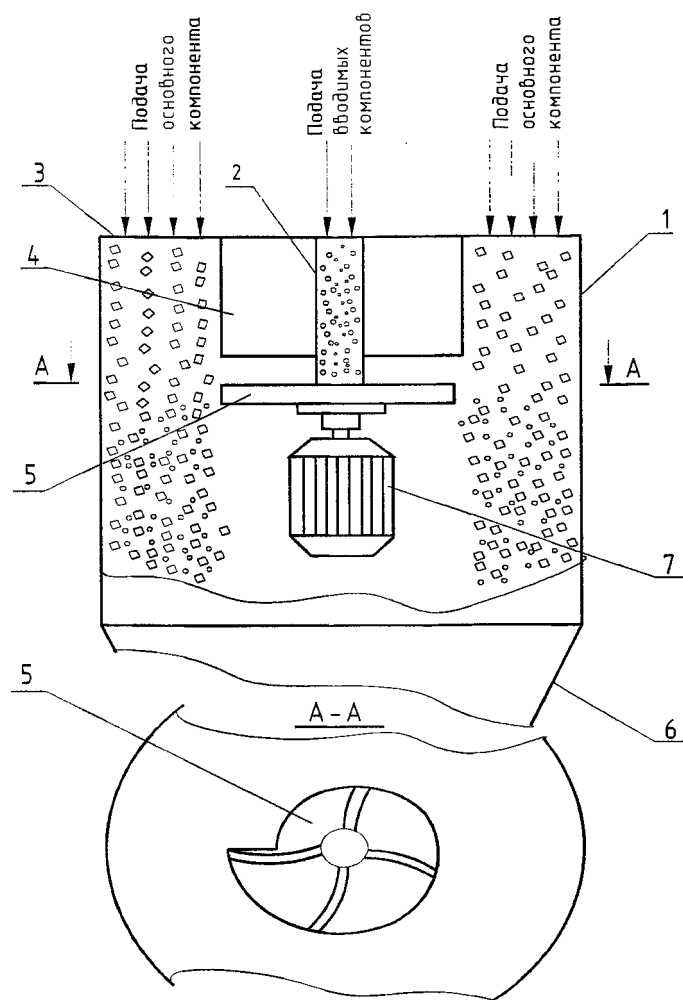


Рисунок 2 – Технологическая схема центробежного смесителя сыпучих материалов

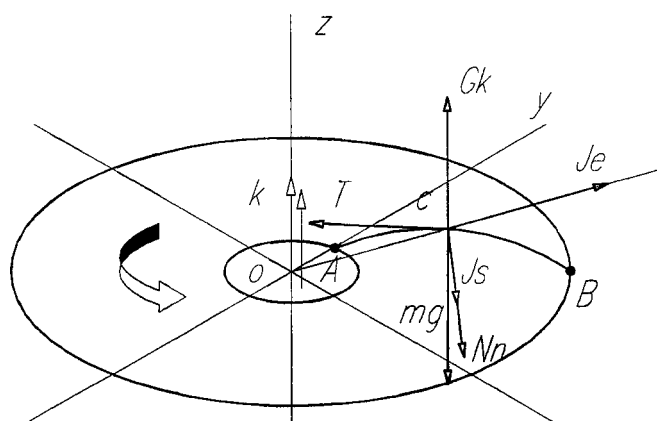


Рисунок 3 – Схема сил, действующих на частицу сыпучего корма при движении ее по лопасти диска

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 (рисунок 4).

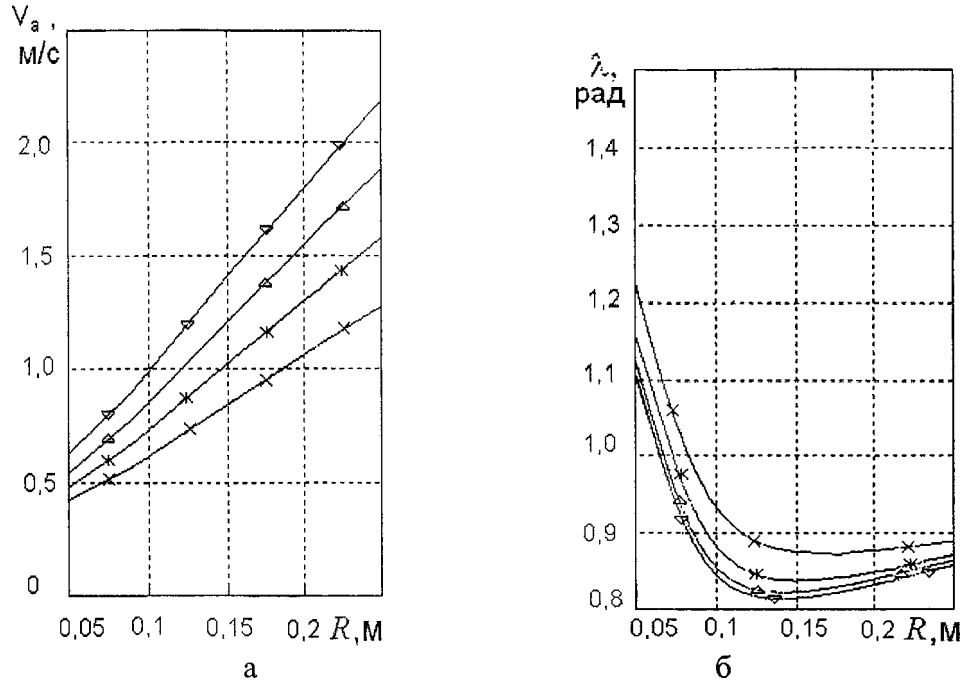


Рисунок 4 – Зависимости абсолютной скорости (а) и угла вылета (б) частиц от радиуса несущего диска при:  $\times$  –  $\omega=20$  рад/с;  $*$  –  $\omega=25$  рад/с;  $\triangle$  –  $\omega=30$  рад/с;  $\nabla$  –  $\omega=35$  рад/с ( $f=0,4$ ;  $m=10^{-3}$  кг;  $\rho_0=300$  кг/м<sup>3</sup>)

Для определения глубины проникновения вводимых частиц в движущийся разреженный 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

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div}(\rho \vec{v}) = 0; \quad \rho \left( \frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + \vec{v} \cdot \nabla \vec{v} \right) = \rho \vec{g}; \quad (3)$$

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

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

$$\rho(z) = \frac{\rho_0}{\sqrt{1 + z/z^*}}; \quad v(z) = 2\sqrt{g(z + z^*)}, \quad (4)$$

где  $z^* = J_c^2 / 2g\rho_0^2$ .

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

$$|\mathbf{F}_{cm}| = K_f C_D \frac{1}{2} S_{mid} \rho w^2, \quad (5)$$

где  $C_D$  - коэффициент сопротивления, согласно теории Ньютона равный  $\approx 0.44$ ;  $S_{mid}$  - 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]

$$\begin{aligned} |\vec{F}_{mp}| &= f_{mp} P \\ P &= S_{mid} p \\ p &= p_0 \psi(\alpha_2) \\ p_0 &= 0.92 (\gamma_2 - 1) \left( \frac{\rho_1^0}{\rho_2^0} \right)^2 \frac{\rho_2^0 v_0^2}{\eta} \\ \psi(\alpha_2) &= \frac{\alpha_2^{1/3} (1 - \alpha_2^{1/3})}{(1 - \alpha_2)} \end{aligned} \quad (6)$$

где  $f_{mp}$  - коэффициент внутреннего трения среды;  $\alpha_2 = \rho_2^0 / \rho_2$  - 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

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

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

$$\ddot{x} = -C_D \frac{1}{2m} \rho |\vec{u} - \vec{v}| \dot{x} - f_{\dot{o}\dot{o}} P \frac{\dot{x}}{|\vec{u} - \vec{v}|}, \quad (8)$$

$$\ddot{y} = -C_D \frac{1}{2m} \rho |\vec{u} - \vec{v}| \dot{y} - f_{\dot{o}\dot{o}} P \frac{\dot{y}}{|\vec{u} - \vec{v}|}, \quad (9)$$

$$\ddot{z} = -C_D \frac{1}{2m} \rho |\vec{u} - \vec{v}| (\dot{z} - v) - f_{\dot{o}\dot{o}} P \frac{(\dot{z} - v)}{|\vec{u} - \vec{v}|} + g, \quad (10)$$

где

$$|\vec{u} - \vec{v}| = \sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2 + (\dot{z} - v)^2}. \quad (11)$$

Выполнив численное решение полученных уравнений, нашли 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 (рисунок 5), которая позволяет, задаваясь



## Abstract

### Intensification of mixing of granular materials

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

УДК 631.22

### РЕЗЕРВЫ ЭКОНОМИИ ЦЕМЕНТА ПРИ РЕМОНТЕ И ВОССТАНОВЛЕНИИ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

**Основин В.Н.**, к.т.н., доцент; **Основина Л.Г.**, к.т.н., доцент; **Садовская К.Д.**

*Белорусский государственный аграрный технический университет,*

*г. Минск, Республика Беларусь*

**Мальцевич Н.В.**, к.э.н., доцент

*Полесский государственный университет, г. Пинск, Республика Беларусь*

В процессе эксплуатации специальных инженерных очистных сооружений животноводческих предприятий под воздействием внешних и внутренних факторов (природных, эксплуатационных и др.) бетонные и железобетонные конструкции ветшают, изнашиваются и разрушаются. Восстановление разрушенных конструктивных элементов и в целом всего инженерного сооружения требует проведения ремонтно-восстановительных работ с применением бетона и железобетона. При этом, несмотря на разнообразие конструктивных элементов сооружений и их эксплуатации, стоимость ремонта и восстановления таких сооружений находится в прямой зависимости от стоимости бетона. А наиболее дорогим материалом в бетонных и железобетонных конструкциях сооружений является цемент, который составляет примерно половину их стоимости. Причем доля затрат увеличивается с повышением марки цемента. Поэтому его экономия – исключительно важная задача технологии изготовления бетона и железобетона. Применяя различные приемы, на которых мы остановимся ниже, можно экономить от 10 до 25 % цемента.

Расчет состава бетона начинается с определения марки цемента, которая назначается в зависимости от проектной и отпускной прочности бетона (таблица 1).

Расход цемента нормируется СНиП 5.01.23—83 «Типовые нормы расхода цемента для приготовления бетонов сборных и монолитных бетонных и железобетонных изделий и конструкций». Они предназначены для оценки прогрессивности и обоснованности производственных норм расхода цемента. Если производственные нормы превышают типовые, необходимо разрабатывать мероприятия по снижению расхода цемента. Изучение этих норм может также подсказать соответствующие мероприятия по экономии цемента, с учетом его вида и качества заполнителей.

Усредненный расход цемента зависит от применяемых марок цемента и принимается по таблице 2.