

2. Киселева, Е.В. Теоретические предпосылки механической активации технологической жидкости / Е.В. Киселева // Вестник ИГЭУ (Ивановский гос. энерг. ун-т). – 2009 г. – Вып. 4. – С. 1-4.

3. Акулович, Л.М. Создание смазочно-охлаждающих технологических средств для финишной абразивной обработки с использованием отходов масло-жирового производства / Л.М. Акулович, Л.Е. Сергеев, В.В. Шабуня // Междунар. науч.-практ. конф. с участием государств-участников СНГ «Технологические тенденции повышения промышленной экологической безопасности, охраны окружающей среды, рациональной и эффективной жизнедеятельности человека»: тезисы докладов. – Минск: ГУ «БелИАС», 2013. – С. 31-35.

4. Толочко, Н.К. Применение компьютерной микроскопии в научной и учебной деятельности аграрных вузов / Н.К. Толочко, А.А. Андрушевич, П.С. Чукаев, К.Л. Сергеев // Агропанорама. – 2013. – № 6. – С.43-48.

5. Акулович, Л.М. Влияние состава смазочно-охлаждающих технологических средств на производительность магнитно-абразивной обработки и шероховатость поверхности / Л.М. Акулович, Л.Е. Сергеев, Е.В. Сенчуров, В.В. Падаляк // Весці. НАН Беларусі. Сер. фіз.-тэх навук. – 2012. – №1. – С. 64-69.

Abstract

The regularities of magnetic abrasive machining with the use of emulsion oil dispersed by ultrasound were investigated experimentally. It was established that the increase of emulsion oil dispersity leads to the increase of machining efficiency and the decrease of surface roughness.

УДК 631.362:53

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ПСЕВДООЖИЖЕННОЙ ЗЕРНОВОЙ СМЕСИ ПО НАКЛОННОЙ ЧЕШУЙЧАТОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПНЕВМОСЕПАРИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ

С.А. Харченко, к.т.н., доцент, Ю.П. Борщ, инженер

Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства им. П. Василенко, г. Харьков Украина

В статье проведено моделирование динамики псевдоожигенной зерновой смеси по наклонной скатной поверхности с рифами-чешуйками в пневмосепарирующих устройствах зерновых сепараторов

Введение

В результате исследований предложен способ повышения эффективности пневмосепарирования [1], который заключается в предварительном

расслоении зерновых смесей (ЗС) при помощи воздухопроницаемой чешуйчатой поверхности. Проведенным анализом теоретических исследований установлено, что при построении модели динамики зерновой смеси в разработанном пневмосепарирующем устройстве рационально использовать гидродинамические аналогии с движением несжимаемой неньютоновской жидкости [1], описываемой уравнениями:

$$\begin{cases} \rho \frac{\partial u_x}{\partial t} = \rho F_x + \frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{yx}}{\partial y} \\ \rho \frac{\partial u_y}{\partial t} = \rho F_y + \frac{\partial \sigma_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{yy}}{\partial y} \end{cases}, \quad (1)$$

$$\frac{\partial u_x}{\partial x} + \frac{\partial u_y}{\partial y} = 0, \quad (2)$$

где ρ - плотность, $\bar{u}$ - скорость, $\bar{F}$ - вектор внешних объемных сил, а σ_{ij} - компоненты тензора напряжений;

- реологическим законом:

$$\mu \approx \mu_0 + \mu_\infty \left| \frac{\partial u}{\partial y} \right|, \quad (3)$$

где первое слагаемое учитывает вязкую (Ньютоновскую) часть тензора напряжения, а второе – отклонение от него;

- условиями на свободной и на скатной поверхности.

Цель работы: провести математическое моделирование динамики псевдооживленной зерновой смеси на наклонной чешуйчатой поверхности.

Основная часть

ЗС относится к так называемым полидисперсным сыпучим материалам, для которых переход в псевдооживленное состояние происходит постепенно в некотором интервале скоростей. В таких слоях происходит обмен количеством движения между частицами разного размера и массы. Поэтому критическая скорость псевдооживления полидисперсного слоя ниже, чем для монодисперсного, составленного из наиболее крупных и тяжелых частиц. В тоже время она выше скорости псевдооживления слоя, составленного из наиболее мелких и легких частиц [2]. В момент начала псевдооживления нарушается устойчивость слоя. Давление зернистого материала уравнивается силой гидравлического сопротивления слоя и в дальнейшем, вплоть до достижения скорости свободного витания одиночных частиц, перепад давления на слое сохраняет почти постоянное значение. Это объясняется тем, что с ростом скорости псевдооживляющего воздуш-

ного потока контакт между частицами уменьшается и они получают большую возможность хаотического перемешивания по всем направлениям.

На рис.1 показана схема движения продуваемой воздухом псевдооживленной ЗС по скатной поверхности, которая наклонена под углом к горизонту.

Запишем уравнения движения ЗС в прямоугольной системе координат xOy (пренебрегаем изменением параметров смеси из-за ее расслоения и не учитываем эффекты, связанные с неравномерностью движения смеси, которые как показано в [3] незначительны)

$$\begin{cases} \rho F_x + \frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{yx}}{\partial y} = 0 \\ \rho F_y + \frac{\partial \sigma_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{yy}}{\partial y} = 0 \end{cases} \quad (4)$$

Здесь координата X направлена вдоль наклонной скатной плоскости, Y - перпендикулярно к ней, а внешняя сила является суперпозицией гравитационных сил и сил, вызванных прохождением воздуха через зерновой слой.

Таким образом, вектор внешних объемных сил имеет вид

$$F_x = g \sin \theta, \quad F_y = g \cos \theta - \Delta p, \quad (5)$$

где θ - угол наклона поверхности, по которой движется зерновой поток к горизонту, Δp - перепад давления на слое, g - ускорение свободного падения.

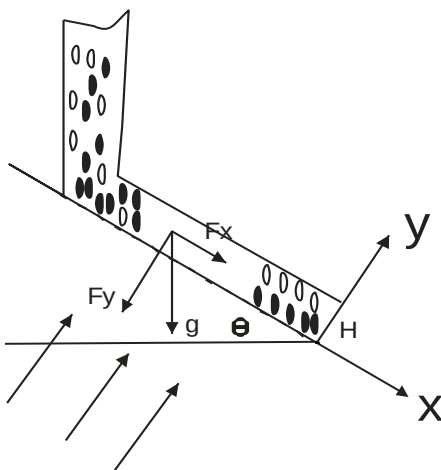


Рисунок 1 - Схема движения псевдооживленной зерновой смеси по скатной поверхности

При этом возрастает среднее расстояние (просветы) между частицами, т.е. увеличивается порозность слоя и, следовательно, его высота. Таким образом, практически сила давления зернового слоя на скатной поверхности, по которой он движется, близка к нулю.

Далее, очевидно, в установившемся движении псевдоожиженной ЗС первом приближении можно считать, что поперечная составляющая скорости равна нулю, а продольная сохраняет постоянное значение вдоль слоя.

Выразим напряжения через проекции скорости с помощью соотношений обобщенного закона Ньютона [4]:

$$\begin{cases} \sigma_{xy} = \sigma_{yx} = \mu \left(\left| \frac{\partial u_x}{\partial y} \right| \right) \frac{\partial u_x}{\partial y}, \\ \sigma_{xx} = \sigma_{yy} \approx -p \end{cases} \quad (6)$$

где $\mu = \mu \left(\left| \frac{\partial u_x}{\partial y} \right| \right)$, Па·с - принятый для описания псевдоожиженной ЗС реологический закон (3) и, подставив в уравнения динамики (1), получим уравнения для определения профиля скорости движущегося слоя

$$\frac{\partial}{\partial y} \left[\mu \left(\left| \frac{\partial u}{\partial y} \right| \right) \frac{\partial u}{\partial y} \right] = -\rho g \sin \theta, \quad (7)$$

где θ – угол наклона скатной поверхности, а $g \approx 9,8 \text{ м/с}^2$ – ускорение свободного падения.

Уравнение (7) при реологическом законе (3) допускает аналитическое решение

$$\frac{\partial u}{\partial y}(y) = \frac{-\mu_0 + \sqrt{\mu_0^2 + 4\mu_\infty \rho g (H - y) \sin \theta}}{2\mu_\infty}. \quad (8)$$

Откуда интегрированием получим профиль скорости

$$u(y) = u_0 - \frac{\mu_0}{2\mu_\infty} y + \frac{2}{3} \sqrt{\frac{\rho g \sin \theta}{\mu_\infty}} \cdot \left[\left(\frac{\mu_0^2}{4\mu_\infty \rho g \sin \theta} + H \right)^{\frac{3}{2}} - \left(\frac{\mu_0^2}{4\mu_\infty \rho g \sin \theta} + (H - y) \right)^{\frac{3}{2}} \right], \quad (9)$$

где $u_0 = \beta \frac{-\mu_0 + \sqrt{\mu_0^2 + 4\mu_\infty \rho g H \sin \theta}}{2\mu_\infty}$ - скорость проскальзывания ЗС по

скатной поверхности, а H – толщина слоя ЗС.

При $\mu_\infty \rightarrow 0$ выражения (9) переходят в обычные выражения для профиля скорости Ньютоновой жидкости

$$u(y) \approx \frac{\rho g H \sin \theta}{\mu_0} \left\{ \beta + \frac{H}{2} \left[1 - \left(1 - \frac{y}{H} \right)^2 \right] \right\}, \quad (10)$$

а при $\mu_0 = 0$ вязкость изменяется по толщине слоя по степенному закону $\mu(y) = \sqrt{\mu_\infty \rho g (H - y) \sin \theta}$ и выражения (9) переходят в выражения, аналогичные полученным в [3]

$$u(y) \approx \sqrt{\frac{\rho g H \sin \theta}{\mu_\infty}} \left\{ \beta + \frac{2H}{3} \left[1 - \left(1 - \frac{y}{H} \right)^{\frac{3}{2}} \right] \right\}. \quad (11)$$

Для моделирования принимали ЗС с насыпной плотностью 750 кг/м^3 и вязкостью потока $\mu_\infty = 0,1 \text{ Па} \cdot \text{с}^2$.

В результате исследований проведен анализ влияния угла наклона скатной поверхности и толщины зернового слоя на удельную производительность, т.е. на количество ЗС, проходящей в единицу времени по единице ширины скатной поверхности (рис.2, 3). Установлено, что основное влияние на повышение производительности имеет толщина зернового слоя. При ее увеличении производительность резко возрастает, в то время как увеличение угла наклона скатной поверхности приводит к незначительному росту производительности. Поэтому следует стремиться, прежде всего, к увеличению толщины слоя ЗС, движущегося по скатной поверхности.

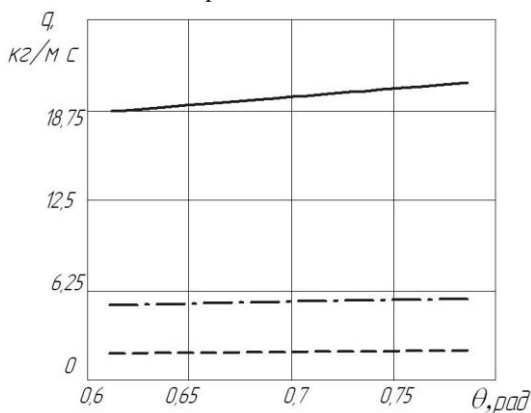


Рисунок 2 - Зависимость удельной производительности от угла наклона скатной поверхности: ————— - $H=5\text{см}$; — · — · — - $H=3\text{см}$; — — — — — - $H=2\text{см}$

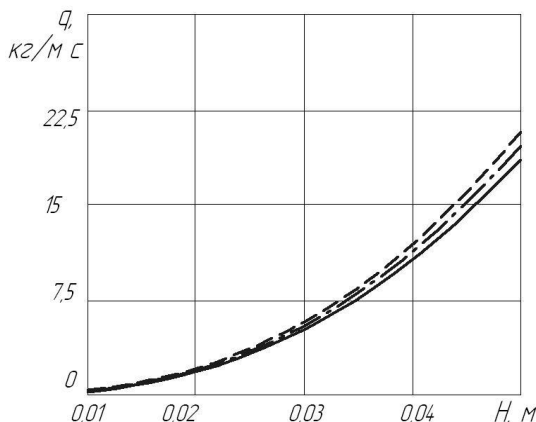


Рисунок 3 - Зависимость удельной производительности от толщины зернового слоя: — $\theta=35^\circ$; — $\theta=40^\circ$; — $\theta=45^\circ$

Однако, увеличение толщины слоя ЗС, как известно, приводит к ухудшению степени очистки в пневмосепарирующем канале. Это происходит из-за того, что легкие примесные частицы не успевают пройти через толстый слой ЗС и увлекаются им.

Поэтому особую важность приобретает предварительное расслоение зернового потока на скатной поверхности, в результате чего легкие примеси перемещаются в верхнюю часть слоя ЗС.

Из уравнений (10), (11), следует, что при равных скоростях на поверхности слоя, отклонение закона движения псевдооживленной ЗС от Ньютонского приводит к тому, что в глубине скорость движения зернового слоя отличается от скорости движения обычной ньютоновой жидкости. Это обстоятельство влияет на процесс разделения слоя на качественное зерно и легкие примеси. Очевидно, это необходимо учитывать при моделировании процессов расслоения ЗС в процессе движения по скатной поверхности.

Для анализа процесса перемещения легких примесей по толщине движущегося псевдооживленного зернового слоя важное значение имеет характер изменения его скорости движения по толщине и величина градиента скорости. В нижней зоне слоя ЗС скорость его движения быстро нарастает, но по мере приближения к верхней зоне рост скорости замедляется (рис.4).

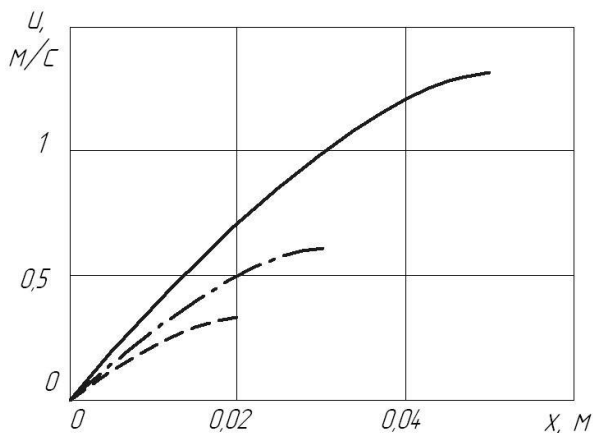


Рисунок 4 - Зависимость профиля скорости зернового слоя от его толщины:
 - $H=5$ см; - $H=3$ см; - $H=2$ см

Поэтому наиболее важными являются процессы расслоения ЗС именно в нижней зоне слоя, где горизонтальные скорости потока еще относительно невелики.

Однако, как видно вертикальный градиент скорости на скатывающей поверхности равен нулю (рис.5). Это означает, что вблизи этой поверхности процесс расслоение ЗС на качественное зерно и легкие примеси затруднен и для его интенсификации, очевидно, необходимо обеспечить дополнительное разрыхление слоя ЗС.

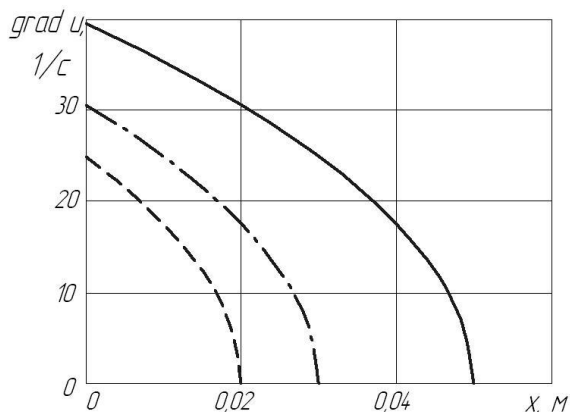


Рисунок 5 - Зависимость градиента скорости зернового слоя от его толщины:
 - $H=5$ см; - $H=3$ см; - $H=2$ см

Это разрыхление обеспечивается “чешуйчатой” структурой примененной скатной поверхности (рис.6).

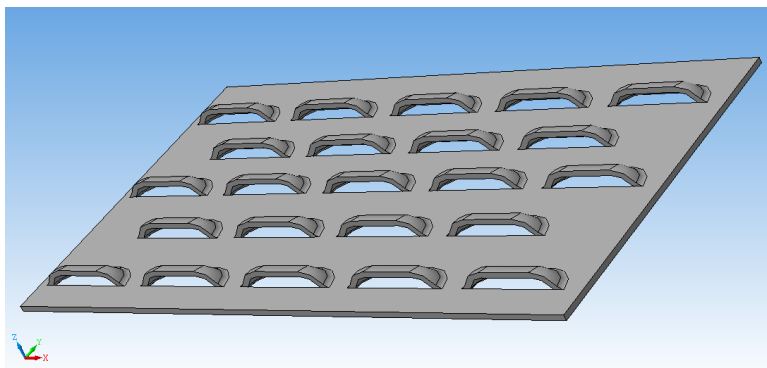


Рисунок 6- Структура скатной поверхности

Заметим, что “чешуйчатая” структура скатной поверхности практически исключает проскальзывание зернового потока, а относительно высокие скорости сдвига позволяют для расчета профиля скорости с достаточной точностью использовать уравнение (11).

Заключение

В результате исследований предложен подход к моделированию динамики псевдооживленных зерновых смесей, который учитывает гидродинамические аналогии с движением несжимаемой неньютоновской жидкости, реологический закон, условия на свободной и на скатной поверхности. Полученные зависимости позволяют изучить возможности расслоения зерновой смеси на скатных чешуйчатых поверхностях.

Дальнейшее добавление в уравнения действия воздушного потока и параметров чешуек позволит получить модель расслаивающего устройства для различных зерновых смесей.

Литература

1. Тищенко Л.Н. Способ повышения эффективности пневмосепарирования зерновых смесей в пневмосепарирующих устройствах / Л.Н. Тищенко, С.А. Харченко, Ю.П.Борщ, М.М. Абдуев // Вісник ХНТУСГ: Механізація сільськогосподарського виробництва. – Харків:ХНТУСГ, 2014.
2. Zenz F.A., Other D.F. Fluidization and Fluid-partical Systems, 1960
Олевский В.А., ЖПХ, 28, в.8, 1955.

3. Тищенко Л. Н. Виброрешетная сепарация зерновых смесей: / Л. Н. Тищенко, В. П. Ольшанский, С. В. Ольшанский. - Х.: Міськдрук, 2011. - 280 с.
4. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа / Л.Г. Лойцянский – М.: Наука, 1973. – 847 с.

Abstract

The article has been conducted simulation of dynamics of the pseudo fluidized grain mixture on a sloping skate plane with reefs-scales in the pneumatic separation devices of grain separators

УДК 631.326:53

РЕЗУЛЬТАТЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДИНАМИКИ ПСЕВДООЖИЖЕННОЙ ЗЕРНОВОЙ СМЕСИ НА ПЛОСКОМ СТРУКТУРНОМ ВИБРОРЕШЕТЕ

С.А. Харченко, к.т.н., доцент

Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства им. П. Василенко, г. Харьков, Украина

В статье приведены поля скоростей псевдоожигженной зерновой смеси с учетом конструктивно-кинематических параметров виброрешет и физико-механических свойств смеси.

Введение

Моделирование процессов динамики зерновой смеси (ЗС) по виброрешету, путем применения аналогии между движением вязкой несжимаемой жидкости и ЗС, показали свою эффективность [1]. Разработанные подходы к постановке и решению такой задачи позволили по-новому подойти к вопросу адекватного математического моделирования процессов сепарации ЗС на виброрешетах. Численный анализ результатов математического моделирования позволит оценить и уточнить предложенный подход к решению подобных задач.

Цель работы: провести анализ результатов математического моделирования динамики псевдоожигженной ЗС на структурных виброрешетах.

Основная часть

Применением методов механики сплошных сред проведено уточненное моделирование динамики ЗС на виброрешетах [2, 3]. Виброрешета рас-