

К УРАВНЕНИЮ ДВИЖЕНИЯ ЗЕРНОВОЙ СМЕСИ

Бредихин В.В., доц. к.т.н.

*Харьковский национальный технический университет
сельского хозяйства имени Петра Василенко*

В статье рассмотрены некоторые вопросы математического моделирования движения слоя зерновой смеси по плоской поверхности воздухопроницаемой деки.

Введение. В современных экономических условиях развитие народного хозяйства неразрывно связано с научным подходом к решению поставленных задач. Украина является одной из ведущих Европейских аграрных стран. Одним из основных аспектов развития аграрного сектора страны, является наращивание объемов и качества выращиваемого зернового материала. Получение высококачественного зернового и посевного материала возможно только при использовании передовых научных и теоретических разработок. Крайне важно использование современных теоретических методов моделирования процессов, происходящих в зерновых смесях на рабочей поверхности пневмосортировальных столов (ПСС).

Анализ основных исследований и публикаций. Рядом исследователей (Блехман Н.И., Гортинский В.В., Желтухин Б.В., Лейкин Я.И. и др.) созданы основы теории самосортирования частиц зерновых смесей в псевдооживленном слое при воздействии колебаний различного типа [1, 2]. Определены условия начала внутрислоевых перемещений, закономерности протекания процесса самосортирования, связывающие свойства сыпучей смеси с динамическими и кинематическими характеристиками рабочей поверхности. Однако эти теоретические исследования внутрислоевых процессов, как правило, основывались на простейших физических моделях [3, 4]. Слой смеси частиц, различающихся по геометрическим, физико-механическим свойствам и находящейся на воздухопроницаемой поверхности, подвергается воздействию воздушного потока и/или виброколебаниям рабочей поверхности. В результате при определенных значениях скорости воздушного потока и величинах амплитуды и частоты колебаний опорной поверхности слой частиц может находиться в псевдооживленном состоянии, т.е. приобретает свойство текучести. Это приводит к тому, что наблюдается расслаивание смеси частиц: частицы, отличающиеся по своим аэрогравитационным свойствам, могут погружаться или всплывать в псевдооживленном слое. Этот физический механизм и лежит в основе процесса самосортирования [1].

Математические модели, описывающие этот процесс, в основном, основываются на уравнениях движения отдельной частицы [5]. При этом, воздействие псевдооживленного слоя на частицу учитывается введением различного типа сил: сила тяжести, сила сопротивления среды в приближении

Ньютона или Стокса, выталкивающая сила Архимеда и т.п. Такой подход хотя и позволяет определять влияние кинематических, технических и конструктивных параметров на внутрислоевые процессы в псевдооживленном слое частиц, однако, имеет ограниченную область применения. Поскольку, введение в уравнение движения отдельной частицы, указанных выше сил, как правило, делается формально, без увязки с другими членами уравнения. Кроме того, физические модели, основанные на уравнении движения отдельной частицы, не могут описать в полной мере такие важные эффекты как внутреннее взаимодействие между частицами, обусловленное поперечным сдвигом, образование скоплений частиц, приводящее к снижению коэффициента сопротивления и др. Понятно, что эти эффекты оказывают существенное влияние на интенсивность процесса самосортирования слоя частиц и, в конечном счете, на эффективность использования этого процесса в соответствующих технологиях.

Цель исследований. В этой связи актуальной является проблема разработки математических моделей, позволяющих в наиболее общем виде учесть взаимодействие частиц (а не отдельной частицы) с псевдооживленной средой.

Результаты исследований Одним из эффективных подходов к решению возникающих при этом задач, является подход, использующий методы гидродинамики многофазных систем [5, 6].

При построении математических моделей будем предполагать [7], что под воздействием воздушного потока и колебаний рабочей поверхности произошло расслоение псевдооживленного зернового слоя по высоте (вдоль оси перпендикулярной опорной поверхности). В результате образовались N - слоев частиц, обладающих различными аэрогравитационными и гидродинамическими свойствами. Движение каждого слоя частиц будем рассматривать как движение сплошных сред, а взаимодействие этих сред моделируется соответствующими краевыми условиями на границах раздела сред. Таким образом, в соответствии с основными концепциями механики многофазных систем, движение расслоенного по высоте псевдооживленного слоя частиц будем моделировать как движение $N + 1$ - фазной системы, состоящей из N слоев частиц дискретных фаз и одной непрерывной фазы – газообразная среда (воздух).

Пусть x_1, x_2 и x_3 - декартовы координаты. Причем плоскость x_1, x_2 совпадает с плоской рабочей поверхностью, а ось x_3 ей перпендикулярна и направлена вверх. Ось x_1 наклонена под углом α к горизонтальной плоскости, а ось x_2 ей параллельна. В дальнейшем не ограничивая общности, будем рассматривать движение $N + 1$ - фазной системы вдоль оси x_1 и полагать, что все величины, характеризующие это движение на зависят от координаты x_2 .

Введем приведенную плотность частиц n -го слоя ρ_n и среднюю плотность частиц $\overline{\rho_n}$, образующих n -ую дискретную фазу. Тогда:

$$\rho_n = \delta_n \overline{\rho_n}, \quad (1)$$

где: δ_n – объемная доля частиц n -ой дискретной фазы.

Обозначим через ρ – приведенную плотность непрерывной фазы, а $\bar{\rho}$ – среднюю плотность газообразной среды, образующую эту фазу. Тогда, согласно [6], имеем:

$$\rho = \bar{\rho} \left(1 - \sum_{n=1}^N \frac{\rho_n}{\rho_n} \right) = \bar{\rho} \left(1 - \sum_{n=1}^N \delta_n \right). \quad (2)$$

Далее, будем считать, что средняя толщина n -го слоя частиц – h_n , $n = 1, 2, \dots, N$. Значение индекса $n = 1$ соответствует самому нижнему слою, расположенному на рабочей поверхности, а $n = N$ – верхнему. Таким образом, средняя толщина псевдооживленного слоя частиц

$$h = \sum_{n=1}^N h_n. \quad (3)$$

В соответствии с уравнениями [7] уравнение движения частиц n -го слоя, $\bar{h}_{n-1} < x_3 < \bar{h}_n$, $n = 1, 2, \dots, N$, $\bar{h}_n = \sum_{p=1}^n h_p$, $\bar{h}_0 = 0$, можно представить в виде:

$$\rho_n \left(\frac{\partial V_{ni}}{\partial t} + (\nabla, \vec{V}_{ni}) V_{ni} \right) = - \frac{\partial P_n}{\partial x_i} + \mu_n \Delta V_{ni} + 0,5 \frac{\bar{\rho} \rho_n}{\rho_n} \left[\frac{\partial}{\partial t} (V_i - V_{ni}) + (\nabla, \vec{V} - \vec{V}_n) (V_i - V_{ni}) \right] + \frac{9 \bar{\rho} \rho_n \sqrt{v}}{2 \sqrt{\pi} a_n \rho_n} \int_0^t \left[\frac{\partial}{\partial \tau} (V_i - V_{ni}) + (\nabla, \vec{V} - \vec{V}_n) (V_i - V_{ni}) \right] \times (t - \tau)^{-1/2} d\tau + \rho_n F_n (V_i - V_{ni}) + \rho_n f_{ni}, \quad (4)$$

$$\operatorname{div} \vec{V}_n = 0, \quad n = 1, 2, \dots, N, \quad i = 1, 2, 3. \quad (5)$$

Здесь $\vec{V}_n = (V_{n1}, V_{n2}, V_{n3})$ и $\vec{V} = (V_1, V_2, V_3)$ – скорости частиц n -ой дискретной фазы и скорость непрерывной фазы, P_n – давление в n -ом слое, μ_n – эффективный коэффициент динамической вязкости n -ой дискретной фазы, v – эффективный коэффициент кинематической вязкости непрерывной фазы, a_n – эквивалентный средний радиус по объему частиц n -ой дискретной фазы, f_{ni} – i -тая компонента массовой силы, действующая на частицы n -ой дискретной фазы (в качестве которой выбираем силу тяжести), F_n – коэффициент, характеризующий взаимодействие непрерывной фазы с частицами n -ой дискретной фазы, который можно представить в следующем виде:

$$F_n = \frac{\bar{\rho}}{2 \rho_n (1 - \delta_n)^2 a_n} \left(1,75 V_{0n} + \frac{75 v \delta_n}{a_n} \right), \quad (6)$$

где V_{0n} – средняя скорость воздушного потока на верхней границе

$$\left(x_3 = \sum_{p=1}^n h_p \right) n\text{-го слоя.}$$

Вывод. В статье представлено уравнение движения частиц n -го слоя при моделировании сепарации зерновых смесей.

Список использованных источников

1. Дринча В.М. Исследование сепарации семян и разработка машинных технологий их подготовки / В.М. Дринча.- Воронеж: Изд-во НПО “МОДЭК”, 2006. – 384с.
2. Тищенко Л.Н. Моделирование процессов зерновых сепараторов / Л.Н. Тищенко, Д.П. Мазаренко, М.В. Пивень, С.А. Харченко, В.В. Бредихин, А.В. Мануренко.- Харьков: ХНТУСХ, “Місьрук”, 2010.- 360с.
3. Дулаев В.Г. Анализ вибрационного и вибропневматического процессов разрешения зерновок пшеницы различной плотности и стекловидности / В.Г. Дулаев, Г.В. Яцевич, В.В. Гортинский // Труды ВНИИЗ.- М., 1986.- Вып. 107.- С.84-91.
4. Кизильвальтер Б.В. Теоретические основы гравитационных процессов обогащения / Б.В. Кизильвальтер .- М.: Недра, 1979.- 295с.
5. Нигматулин Р.И. Основы механики гетерогенных сред / Р.И. Нигматулин.- М.: Наука, 1978.- 336с.
6. Соус С. Гидродинамика многофазных систем / С. Соус.- М.: Мир, 1871.- 536с.
7. Бредихин В. Определение эффективного коэффициента динамической вязкости зерновой смеси на рабочей поверхности пневмосортировального стола / Бредихин В., Тищенко Л., Пивень М.- Lublin, «Motrol», 2013. – С. 192-199.

Анотація

ДО РІВНЯННЯ РУХУ ЗЕРНОВОЇ СУМІШІ

Бредихін В.

Розглянуто деякі питання математичного моделювання руху шару зернової суміші по пласкій поверхні повітрепроникної деки.

Abstract

TO THE EQUATION OF MOTION CEREAL MIXES

V. Bredykhin

Some questions of mathematical modeling the layers of the grain mixture on a flat surface povitrepronyknoyi deck.