

The purpose of the study is to examine the processes of structure formation of valuable waterproof aggregates, the conditions under which they are formed for further analysis of the energy interaction of the structural components of the discrete soil environment.

From the energy point of view, the physical and mechanical properties of the soil are determined by the nature and magnitude of the forces of cohesion of particles with each other, and also by the number of contacts between particles per unit volume of the system. The primary act of structuring is the emergence of contact between the neighboring particles of the dispersed phase, and the final result is the formation of a spatial structure that encompasses the entire soil profile. The soils, due to the dispersion, have a colossal specific surface and, as a result, a large amount of specific energy, the magnitude of which causes the formation of soil aggregates and their constancy. It should be noted that the mixed effect of many factors is most typical for soils, that is, the aggregate stability of the structure is provided by the action of several factors simultaneously. Thus, the consistency of soil structures is determined by the balance of the energy of attraction and the energy of repulsion of particles.

The method of energy calculation, the interaction of soil particles, makes it possible to carry out a simple calculation of the electrostatic interaction of ground colloids, which are a composite structure of the soil and can be used to model the energy interaction of the structural components of a discrete soil medium.

**interaction of soil particles, waterproof structure, energy calculation, physical and mechanical properties of soil**

Одержано 26.10.17

**УДК 664.161**

**В.В. Бредихин, доц., канд. техн. наук, С.А. Харченко, доц., канд. техн. наук**

*Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства имени Петра Василенко, м.Харків, Україна, E-mail:vadimbr76@ukr.net*

## К уравнению движения частиц при моделировании процесса сепарации зерновых смесей вибропневматическими сепараторами

В статье рассмотрено уравнение движения частиц  $n$ -го слоя при моделировании сепарации зерновых смесей. Определено, что моделирование процессов перераспределения слоев зернового материала путем рассмотрения  $n$ -го слоя, является перспективным подходом.

**движение частиц, процесс сепарации, вибропневматические сепараторы, математическая модель**

**В.В. Бредіхін, доц., канд. техн. наук, С.О. Харченко, доц., канд. техн. наук**

*Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка, м. Харків, Україна*

## До рівняння руху часток при моделюванні процесу сепарації зернових сумішей вібропневматичними сепараторами

У статті розглянуто рівняння руху частинок  $n$ -го шару при моделюванні сепарації зернових сумішей. Визначено, що моделювання процесів перерозподілу шарів зернового матеріалу шляхом розгляду  $n$ -го шару, є перспективним підходом.

**рух часток, процес сепарації, вібропневматичні сепаратори, математична модель**

© В.В. Бредихин, С.А. Харченко, 2017

**Постановка проблемы.** 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.

Наиболее перспективными машинами для фракционирования зернового материала, являются пневмосортировальные столы (ПСС), поскольку получение высококачественного семенного материала возможно при делении частиц смеси по удельной плотности зерен. Использование указанного физико-механического свойства позволяет, с минимальными энергетическими затратами, выделить максимальное число биологически активного семенного материала.

Машины, используемые в настоящее время, не в полной мере удовлетворяют возросшим требованиям к технологическим процессам и оборудованию, реализующему эти процессы. В связи с этим, при проектировании новых машин и модернизации уже существующих, крайне важно использование современных теоретических методов моделирования процессов, происходящих в зерновых смесях на рабочей поверхности ПСС.

**Анализ последних 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 находящийся 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 и образованию

скоплений частиц, приводящее к снижению коэффициента сопротивления и др. Эти эффекты оказывают существенное влияние на интенсивность процесса самосортирования слоя частиц и, в конечном счете, на эффективность использования этого процесса в соответствующих технологиях.

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

**Изложение основного материала.** 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  $\alpha$  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, не зависят от координаты  $x_2$ .

Введем приведенную плотность частиц  $n$ -го слоя  $\rho_n$  и среднюю плотность частиц  $\bar{\rho}_n$ , образующих  $n$ -ю дискретную фазу. Тогда:

$$\rho_n = \delta_n \bar{\rho}_n, \quad (1)$$

где  $\delta_n$  – объемная доля частиц  $n$ -ой дискретной фазы. Обозначим через  $\rho$  – приведенную плотность непрерывной фазы, а  $\bar{\rho}$  – среднюю плотность газообразной среды, образующую эту фазу. Тогда, согласно [6], имеем:

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

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] уравнения движения частиц  $n$ -го слоя,  $\overline{h_{n-1}} < x_3 < \overline{h_n}$ ,  $n = 1, 2, \dots, N$ ,  $\overline{h_n} = \sum_{p=1}^n h_p$ ,  $\overline{h_0} = 0$ , можно представить в виде:

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

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

где  $\vec{V}_n = (V_{n1}, V_{n2}, V_{n3})$  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;

$\mu_n$  – 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;

$f_{ni}$  –  $i$ -я 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:

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

где  $V_{0n}$  – средняя скорость воздушного потока на верхней границе  $\left( x_3 = \sum_{p=1}^n h_p \right)$

$n$ -го слоя.

**Выводы.** В статье рассмотрено уравнение движения частиц  $n$ -го слоя при моделировании сепарации зерновых смесей. Определено, что моделирование процессов перераспределения слоев зернового материала путем рассмотрения  $n$ -го слоя, является перспективным подходом.

## Список литературы

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

**Vadym Bredyhyn, Assos. Prof., PhD tech. sci., Sergey Kharchenko, Assos. Prof., PhD tech. sci.**

*Petro Vasylenko Kharkiv National Technical University of Agriculture, Kharkiv, Ukraine*

### **To the Equation of Motion of Particles While Modelling the Process of Separation of Grain Mixtures by Vibrating Pneumatic Separators**

It is very important to apply modern theoretical methods of modelling processes that take place in grain mixtures on the working surface of the gravity separators when designing new machines and modernizing the existing ones. For this purpose, the method of hydrodynamics of multiphase systems was used.

The equation of motion of the particles of the  $n$  layer is considered in the process modelling of the separation of grain mixtures was considered in the article.

It was determined that modelling of the processes of redistribution of layers of grain material by considering the  $n$  layer is a promising approach.

**particle motion, separation process, vibro-pneumatic separators, mathematical model**

Получено 21.11.17

**УДК 631.33**

**К.В. Васильковська, канд. техн. наук, Г.А. Кулик, доц., канд. с.-г. наук, В.І. Носуленко, проф., д-р техн. наук, Н.М. Трикіна, викл.**

*Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна, E-mail: vasilkovskakv@ukr.net*

## **Технічне забезпечення програмування врожайності**

Проведена серія досліджень нового пневмомеханічного висівного апарата з периферійним розташуванням комірок на висівному диску та інерційним видаленням зайвого насіння для підтвердження гіпотези щодо його універсальності.

Конструкція нового пневмомеханічного висівного апарата дозволяє значно зменшити вакуум у системі, збільшивши колову швидкість комірок висівного диску, наблизивши її до значень швидкості руху посівного агрегату, таким чином забезпечуючи постійну точку скидання насіння з насінневого диска на тій же траєкторії їх польоту до борозни і якісне заповнення комірок. Для визначення раціональних параметрів і режимів роботи висівного апарата на насінні сої, соняшнику і кукурудзи проведена серія досліджень, отримані залежності коефіцієнта заповнення комірок від розрідження у вакуумній камері  $\Delta P$  та колової швидкості комірок висівного диска  $V$  для перерахованих видів насіння.

Таким чином, коефіцієнт заповнення комірок  $K=100\%$  при дозуванні вказаних культур досягається встановленням наступних параметрів: для сої –  $\Delta P=0,4...0,5$  кПа,  $V_k=1,5...2,0$  м/с; для соняшнику –  $\Delta P=0,4...0,5$  кПа,  $V_k=1,5...2,5$  м/с. А висів насіння кукурудзи ускладнений великими розмірами насіння.

**програмування врожаю, універсальність, пневмомеханічний висівний апарат, висівний диск, експеримент**

© К.В. Васильковська, Г.А. Кулик, В.І. Носуленко, Н.М. Трикіна, 2017