

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВНУТРИСЛОЕВЫХ ПРОЦЕССОВ СЕМЕННОЙ СМЕСИ НА ПЛОСКИХ НЕПЕРФОРИРОВАННЫХ ВИБРИРУЮЩИХ ПОВЕРХНОСТЯХ

Лукьяненко В.М., к.т.н., доц.

*Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства имени Петра Василенко*

*Сделан анализ математического моделирования процесса вибрационного сепарирования семенных смесей на шероховатых неперфорированных плоскостях вибрационных семяочистительных машин на основе использования положений механики сплошной среды. Показано, что для более адекватного отражения процесса целесообразно при разработке математических моделей, с помощью которых описываются процессы вибрационного движения смесей, использовать модель идеальной сжимаемой вязкой жидкости.*

**Постановка проблемы.** Анализ математического моделирования процесса сепарирования семенных смесей на неперфорированных поверхностях вибрационных семяочистительных машин показал, что процесс движения семян, как в безотрывном, так и в режиме с непрерывным подбрасыванием, во всех математических моделях рассматривается как движение изолированных тел.

Разработанные модели рассматривают движение семенной смеси как движение множества изолированных частиц (семян), каждая из которых взаимодействует только с рабочей поверхностью. При условии, что смесь совершает движение при монослое сыпучего континуума, данное положение о фрактальности свойств семенной смеси (кинематические параметры, рассчитанные для одной частицы, повторяются для всех остальных частиц континуума) – справедливо.

Однако подача исходного материала на фрикционные колеблющиеся поверхности вибрационной семяочистительной машины сопровождается образованием зоны рассредоточения семенного материала, которая характеризуется многослойным движением семян.

Поэтому для разработки новых высокопродуктивных конструкций мультиплоскостных вибрационных семяочистительных машин очень важно иметь адекватные математические модели движения семенных смесей по рабочим поверхностям, и анализ предшествующих работ в этом направлении будет очень полезен.

**Результаты исследований.** Многослойная сепарация семенных смесей на фрикционных неперфорированных поверхностях вибрационных семяочистительных машин в зонах подачи состоит из двух процессов, которые между собой тесно взаимосвязаны: это собственно внутрислойной процесс сегрегации (расслоение и самосортирование) и перемещение по фрикционной поверхности.

Математические модели движения семенных смесей на вибрационных рабочих поверхностях, в которых используются положения механики сплошной среды, относятся к широкому классу задач, где исследуется вибрационное движение сыпучих сред.

С конца пятидесятих годов прошлого века многими исследователями, например: Захаровым Н.М. в [1], Косиловым О.Н. в [2], Блехманом И.И. в [3] и др., отмечалось, что при воздействии вибраций сыпучие смеси ведут себя подобно жидкости. Явление «ожигения» сыпучих смесей происходит при достижении значения ускорения вибраций, в вертикальной плоскости, до величины, равной ускорению свободного падения, а в плоскости скольжения – до величины ускорения сил сухого трения покоя.

При этом основным предметом исследований вибрационного движения является вопрос проникновения вибрации в рассматриваемую сыпучую среду, а также, вопрос возникновения вибрационных сил, вызывающих «медленные» или «диффузионные» процессы движения фракций смесей.

В зависимости от физико-механических и геометрических параметров вибрационных поверхностей толщины слоя сыпучей смеси и геометрических размеров частиц, амплитуды, частоты и направленности вибраций различают два больших класса моделей или схемы исследований вибрационного движения. Это модели «вибротранспортирования» смеси по поверхности и «виброперемешивания» или «вибросепарации» фракций смеси в замкнутом объёме.

В первом случае при рассмотрении «вибротранспортирования» смеси наиболее обобщённой моделью является модель вибрационного движения слоя сыпучей смеси переменной высоты по вибрирующей криволинейной поверхности, в каждой точке которой имеют место колебания, отличающиеся по амплитуде и направлению. В зависимости от толщины слоя меняется степень «ожигения» смеси. С ростом толщины слоя степень подвижности частиц уменьшается вплоть до нулевой относительной подвижности. При этом появляется слой, в котором сыпучая смесь ведёт себя как твёрдое тело.

При построении математических моделей данного класса принципиальными моментами, определяющими характер вибродвижения, являются такие вопросы, как:

- определение критической толщины слоя, при котором начинает образовываться область смеси, где частицы прижаты друг к другу и ведут себя как одно твёрдое тело;

- определение коэффициента эффективной вибровязкости смеси в зависимости от параметров колебаний поверхности, толщины слоя смеси и физико-механических свойств частиц смеси.

Названным научным направлениям исследований посвящено множество работ исследователей как в нашей стране, так и за рубежом. Так в [4] представлена методика экспериментального определения коэффициента эффективной вибровязкости.

В [5 – 7] приведены результаты по сведению трёхмерной модели вибродвижения семенной смеси по цилиндрической поверхности вращающихся

и вибрирующих калибровочных решет к плоской двумерной модели. За счёт вводимых допущений о постоянстве толщины слоя для стационарного случая авторами получено решение системы уравнений, которая описывает движение ньютоновской сжимаемой вязкой жидкости в квадратурах.

В [8] установлено, что движение высокодисперсных порошков по вибрирующей поверхности также подобно течению вязкой ньютоновской жидкости.

Теоретическому определению коэффициента эффективной вибровязкости зерновой смеси посвящены работы [9 – 11]. Исследования по теории псевдооживления слоя сыпучего материала систематизированы в работах [12, 13]. В первой из них собраны задачи псевдооживления сыпучей среды воздушным потоком, которые поставлены и решены отечественными и зарубежными авторами. Во второй – изложены теории виброоживления и виброкипения, а также их экспериментальная проверка. Моделирование потоков сыпучей среды по виброповерхностям методами гидродинамики [14, 15] успешно развивается в России [16 – 18] и других странах [19 – 21].

Для второй группы моделей вибрационного движения сыпучих смесей, когда рассматривается конвективное движение фракций смеси в замкнутом объёме, становится необходимым учитывать помимо поверхностных вибрационных сил ещё объёмные вибрационные силы (аналог Архимедовой силы).

Так А.Я. Фидлин, создав трёхмерную модель вибрационного движения фракций сыпучей смеси с учётом действия объёмных вибрационных сил, смог объяснить и описать медленные «конвективные» потоки, возникающие в симметричном и симметрично вибрирующем сосуде [22].

А.Я. Фидлин моделирует сыпучую среду в виде сжимаемой ньютоновской жидкости с плотностью и другими параметрами, зависящими от характеристик вибрации в данной точке среды. При этом предполагается, что поле вибрации в среде может быть описано одним скалярным параметром – «вибротемпературой», которая согласно теории вибропроводности [23, 24] подчиняется уравнению теплопроводности при наличии стока тепла. В таких предположениях роль объёмных вибрационных сил играют входящие через зависимость плотности от вибротемпературы силы типа архимедовых.

Полученные теоретические результаты послужили основой для построения Е.Б.Кремером и АЛ.Фидлиным одномерной континуальной модели поведения сыпучей среды под действием вибрации [25]. Эта модель в известной степени также может быть отнесена к числу виброреологических моделей.

Один из основных фактов, обнаруженных при численном моделировании, состоял в том, что частота столкновения между частицами оказалась значительно превышающей частоту вибрации. Это позволило провести статистическое усреднение уравнений переноса энергии и импульса с использованием центральной предельной теоремы теории вероятностей. Полученную на этой основе сложную нелинейную систему дифференциальных уравнений в частных производных удается аналитически решить в некоторых простейших частных случаях.

В [26] на основе рассмотренных моделей оказалось возможным описать также хаотическое движение слоя сыпучей среды над вибрирующей плоскостью. Такие движения, хорошо известные для жидкостей, действительно удалось наблюдать и в случае сыпучей среды, что служит еще одним подтверждением возможности моделирования медленных движений сыпучей среды при вибрации как движение вязкой идеальной жидкости.

**Выводы.** Проведенный анализ показал, что в качестве базовой математической модели, с помощью которой описываются процессы вибрационного движения смесей, можно использовать модель идеальной сжимаемой вязкой жидкости.

Данная модель позволяет корректно описывать динамику движения частиц сыпучих смесей при многослойном континууме, а также при возникновении «сжатых областей» или поглощении и вовлечении в своё движение частиц малых фракций частицами фракций более массовых.

### Список використаних джерел

1. Захаров Н.М. Об аналогии вибрируемого слоя с вязкой жидкостью / Н.М. Захаров // Доклады МИИСП. – М.: МИИСП, 1966. – Т. 3, Вып. 1. – С. 201-210.
2. Косилов О.Н. Исследование вибровязких свойств сыпучих сельскохозяйственных материалов: Автореф. дис. канд. техн. наук / РИСХМ. – Ростов на Дону, 1966. – 20 с.
3. Блехман И.И. Что может вибрация? О «вибрационной механике» и вибрационной технике. – М.: Наука, 1988. – 208 с.
4. Злочевский В.Л. Исследование процесса сепарирования зернового материала на решётной поверхности со сложным движением / В.Л. Злочевский, С.В. Тарасевич // Материалы VIII Междунар. научн.-практ. конф. "Современные проблемы техники и технологии пищевых производств" – Барнаул: АлтГТУ, 2005. – С. 39 – 43.
5. Тищенко Л.Н. Колебания зерновых потоков: монография / Л.Н. Тищенко, В.П. Ольшанский, С.В. Ольшанский. – Харьков: КП «Міська друкарня», 2012. – 266 с.
6. Блехман И.И. Некоторые вопросы вибротранспортирования и вибробункеризации насыпных грузов // Сборник статей по вибропогрузочным машинам, вибробункеризации и вибровыпуску насыпных грузов. – М.: ЦНИИЕЭИ угля, 1963.
7. Вибрации в технике: Справочник. В 6-ти т. – М.: Машиностроение, 1981. – Т. 4. Вибрационные процессы и машины / Под ред. Э.Э. Лавендела. 1981. – 509 с.
8. Урьев Н.Б. Исследование реологических свойств высокодисперсных порошков в процессе вибраций / Н.Б. Урьев, Н.В. Михайлов, П.А. Ребиндер // Доклады АН СССР, 1969. – Т. 184, №2. – С. 387 – 390.
9. Тищенко Л.Н. Гидродинамические характеристики псевдооживленных сыпучих сред при виброцентробежном сепарировании на

- зерноперерабатывающих предприятиях / Л.Н. Тищенко // Сучасні напрямки технології та механізації процесів переробн. і харч. виробництв: Вісник ХДТУСГ. – Харків: ХДТУСГ, 2001. – Вип. 5. – С. 13 – 33.
10. Тищенко Л.Н. Интенсификация сепарирования зерна / Л.Н. Тищенко. – Харьков: Основа, 2004. – 224 с.
  11. Тищенко Л.Н. Сравнение двух способов вычисления коэффициента вибровязкости псевдоожигенной зерновой смеси при виброцентробежном сепарировании / Л.Н. Тищенко, Ф.М. Абдуева, В.П. Ольшанский // Вибрации в технике и технологиях. – 2008. – № 1(50) – С. 96 – 100.
  12. Протодьяконов И.О. Гидромеханика псевдоожигенного слоя / И.О. Протодьяконов, Ю.Г. Чесноков. – Л.: Химия, 1982. – 264 с.
  13. Членов В.А. Виброкипящий слой / В.А. Членов, Н.В. Михайлов. – М.: Наука, 1972. – 343 с.
  14. Тищенко Л.Н. Гидродинамика сепарирования зерна / Л.Н. Тищенко, В.П. Ольшанский, С.В. Ольшанский. - Харків: "Міськдрук", 2010. – 174 с.
  15. Тищенко Л.Н. Виброрешётная сепарация зерновых смесей / Л.Н. Тищенко, В.П. Ольшанский, С.В. Ольшанский. – Харьков: "Міськдрук", 2011. – 280с.
  16. Злочевский В.Л. Моделирование движения зернового материала на сепараторах со сложным движением рабочих органов / В.Л. Злочевский, А.В. Баранов, С.В. Тарасевич // Материалы XII Международной научно-практической конференции "Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири". – Томск: ТГУ, 2005. – С. 139 – 141.
  17. Тарасевич С.В. Исследование динамики движения сепарируемого зернового материала на виброкачающейся решётной поверхности / С.В. Тарасевич, В.Л. Злочевский, А.В. Баранов // Хранение и переработка зерна. – 2006. – № 6 (84). – С. 32 – 35.
  18. Тарасевич С.В. Обоснование параметров сепаратора с вибрационно-качающейся решётной поверхностью для зерновых материалов: Автореф. дис. кан. техн. наук / Алт ГТУ. – Барнаул, 2006. – 27 с.
  19. Brilliantov N. Hydrodynamics and transport coefficients for Granular Gases / N. Brilliantov, T. Poschel // arXiv: cond-mat\0301152.V.1, 10 Jan., 2003.
  20. Dufty James W. Hydrodynamic Models for Granular Gases / W. Dufty James // arXiv: cond-mat \ 0302170. V.1, 10 Feb., 2003.
  21. Paolotti D. Dynamical properties of vibro fluidized granular mixture / D. Paolotti, C. Cattuto, U. Marini, B. Marconi, A. Puglisi // arXiv: cond-mat\0207601 .V.1 25 JuI., 2002.
  22. Фидлин А.Я. Образование циркуляционных потоков сыпучего материала при вибрационном воздействии // Обогащение руд. – 1991. – № 1.
  23. Беляев А.К. Теория вибропроводности / А.К. Беляев, В.А. Пальмов // Вопросы динамики и прочности. – Рига: Зинатне, 1980. – Вып. 36. – С. 93-102.
  24. Пальмов В.А. Описание высокочастотных вибраций сложных динамических систем методом теории теплопроводности // Избранные проблемы прикладной механики: Сборник, посвящённый 60-летию академика В.Н.Челомея. – М.: ВИНТИ, 1974.
  25. Кремер Е.Б. Одномерная динамическая континуальная модель сыпучей

- среды / Е.Б. Кремер, А.Я. Фидлин // ДАН СССР. – 1988. – Т. 309, №4.
26. Федоренко И.Я. Анализ поведения сыпучей среды при вибрациях на основе теории аттрактора Лоренца // Изв. Сиб. отд. АН СССР, Сер. техн. наук. – 1990. – №3.

### **Анотація**

#### **МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВНУТРІШНЬОШАРОВИХ ПРОЦЕСІВ НАСІННЄВОЇ СУМІШІ НА ПЛОСКИХ НЕПЕРФОРОВАНИХ ВІБРУЮЧИХ ПОВЕРХНЯХ**

Лук'яненко В.М.

*Виконано аналіз математичного моделювання процесу вібраційного сепарування насінневих сумішей на шорстких неперфорованих площинах вібраційних насінняочисних машин на основі використання положень механіки суцільного середовища. Показано, що для більш адекватного відображення процесу доцільно при розробці математичних моделей, за допомогою яких описуються процеси вібраційного руху сумішей, використовувати модель ідеальної в'язкої рідини, що стискається.*

### **Abstract**

#### **A MATHEMATICAL MODELING INSIDE THE LAYERED PROCESSES OF SEED MIXTURE, WHICH IS PERFORATED ON A FLAT VIBRATING SURFACE**

V. Lukyanenko

*The analysis of mathematical modeling of the process of vibratory separation of seed mixtures on a rough non-perforated planes, vibrating seed cleaning machines on the basis of the provisions of continuum mechanics. It is shown that to more adequately reflect the process is useful for developing mathematical models, which describes the processes of vibrational motion of mixtures, using the model of an ideal compressible viscous fluid.*