

ВЫБОР МОДЕЛИ ДИНАМИКИ СПЛОШНОЙ СРЕДЫ ДЛЯ ОПИСАНИЯ ПРОЦЕССОВ ВИБРОСЕПАРИРОВАНИЯ СЕМЕННЫХ СМЕСЕЙ

Владимир Лукьяненко

*Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства
имени Петра Василенко*

Ул. Артема, 44, Харьков, Украина. E-mail: vl2000@pochta.ru

Vladymyr Lukyanenko

*Kharkov national technical university of agriculture named after Petro Vasilenko
St. Artema, 44, Kharkov, Ukraine. E-mail: vl2000@pochta.ru*

Аннотация. Статья посвящена выбору модели динамики сплошной среды для описания процессов разделения семенных смесей на сепарирующих плоскостях и в наклонных каналах, образованных близкорасположенными пластинами, мехатронных семяочистительных машин.

Разработанная мехатронная семяочистительная машина позволяет получать, в отличие от предыдущих конструкций, не только отрывной и безотрывной режимы движения семенной смеси, а и ударный. При таком режиме движения компоненты семенной смеси соударяются не только с верхней поверхностью сепарирующей плоскости, а и с нижней поверхностью вышерасположенной плоскости. Вследствие того, что при таком режиме движения время свободного полета частиц семенной смеси сокращается, то и производительность машины в таком режиме будет максимальной.

В связи с увеличением в мехатронной семяочистительной машине количества регулировок, стал затруднительным процесс нахождения оптимальных параметров технологического процесса сепарации. Вместо многофакторного эксперимента предлагается производить расчёт параметров на основе построения точных математических моделей.

Проведенный анализ показал, что, несмотря на большое количество работ, посвященных вибрационному перемещению и сепарации, в настоящее время пока нет математической модели разделения семенных смесей, которая бы достаточно точно его отображала и была пригодной для практического использования.

Разработанные модели движения семян по наклонной шероховатой вибрирующей поверхности, основанные на механике твердого тела, когда вычисляются параметры каждого отдельно взятого семени, позволяют получать кинематические параметры движения для каждой частицы семенной смеси. Однако расчет оптимальных параметров процесса сепарации с использованием таких моделей весьма затратный с точки зрения времени расчёта.

Предлагается использовать в качестве рабочей модели для вычисления кинематических параметров движения семенной смеси модель движения идеальной сжимаемой вязкой жидкости.

Ключевые слова: сепарация, вибрационная машина, оптимизация, механика сплошной среды.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Проблема повышения урожайности сельскохозяйственных культур неразрывно связана с созданием новых высокопроизводительных машин для послеуборочной обработки семян. Наряду с сушкой семенного вороха целью послеуборочной обработки является его очистка от всевозможных примесей и семян сорных растений, а также неполноценных семян культуры.

Во многих случаях разделить семенной ворох довольно проблематично из-за наличия в нем трудноотделимых семян сорных растений.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Вибрационные семяочистительные машины, рабочим органом которых являются фрикционные неперфорированные плоскости [1], отличаются высоким качеством разделения. Они хорошо себя зарекомендовали при сепарации многих трудноразделимых семенных смесей культурных растений [2 - 5]. Среди факторов, которые сдерживают их широкое использование, есть их низкая производительность.

Созданная сотрудниками Харьковского национального технического университета сельского хозяйства имени Петра Василенко мехатронная вибрационная семяочистительная машина позволяет производить сепарацию различных трудноразделимых семенных смесей в безотрывном, отрывном и ударном режимах движения семян и обладает достаточной производительностью [6].

Так как, вибрационные семяочистительные машины используются для сепарации большого количества различных семенных смесей [7], то получение оптимальных параметров технологического процесса разделения, имеет очень важное значение.

Для нахождения оптимальных параметров процесса сепарации семян на вибрационных семяочистительных машинах, как правило, используется метод многофакторного эксперимента, например, центрально – композиционный метод планирования [8, 9].

При использовании этого метода сначала определяется критерий оптимизации, составляется план-матрица эксперимента (в большинстве случаев, пятифакторного трехуровневого), проводится серия экспериментов. После реализации экспериментов и получения значений параметров оптимизации про-

ВЫБОР МОДЕЛИ ДИНАМИКИ СПЛОШНОЙ СРЕДЫ ДЛЯ ОПИСАНИЯ ПРОЦЕССОВ ВИБРОСЕПАРИРОВАНИЯ СЕМЕННЫХ СМЕСЕЙ

Большинство работ посвящено изучению виброперемещения частиц как твердых тел, имеющих различную форму поперечного сечения, совпадающего с плоскостью колебаний.

Теорией перемещения частиц, как пространственных фигур, занимались такие ученые как Л. Эйлер [15], Ж. Лагранж [16 - 18], А.Б. Лурье [19], В.Д. Мак-Милан [20], Ю.А. Маньчинский [21].

Проведенный анализ теоретический исследований показал, что хотя процессу вибросепарации было уделено достаточно много внимания, однако до сих пор нет математических моделей, которые бы достаточно точно описывали процесс вибросепарации.

Прежде всего, процесс движения семян во всех математических моделях рассматривается как движение изолированных тел. Однако, в реальности, на движение семян, наряду с формой и их упруго-фрикционными свойствами, не в меньшей мере оказывают влияние соударения между самими компонентами семенной смеси. И это влияние тем значительнее, чем выше интенсивность колебаний.

В рассмотренных выше работах исследуется только безотрывный и отрывный режимы движения семенных смесей. Ударному режиму движения семян, как наиболее производительному, не посвящено ни единой работы.

При таком режиме движения семян влияние их соударений играет еще большую роль и применение существующих математических моделей для описания процесса вибросепарирования семенных смесей в ударном режиме не представляется возможным.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Целью работы было обоснование выбора математической модели процесса сепарации семенных смесей на фрикционных неперфорированных плоскостях и в наклонных каналах, образованных близкорасположенными пластинами, мехатронных семяочистительных машин, которая бы довольно точно отображала реальный процесс и служила основой методики получения оптимальных параметров сепарации различных семенных смесей.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Для реализации поставленной цели вначале были разработаны следующие математические модели:

- пространственного движения изолированной частицы произвольной формы по наклонной шероховатой вибрирующей поверхности в безотрывном и отрывном режимах движения;
- пространственного движения по наклонной шероховатой вибрирующей поверхности нескольких взаимодействующих частиц.

При математическом описании процесса соударения частиц в полёте была использована модель пространственного удара частицы с рабочей поверхностью.

Для кинематической схемы расчёта параметров движения частиц внутри слоя использована матема-

тическая модель безотрывного движения тела во взаимодействии с присоединёнными телами.

Математическая модель движения семян на вибрирующей плоскости, использующая методы механики твёрдого тела, когда вычисляются параметры каждого отдельно взятого зерна, позволяет получать кинематические параметры движения для каждой частицы (элемента) семенного потока. Суперпозиция полученных решений образует общую картину движения зерновой массы. Такой метод относится к группе статистических методов. Он позволяет достаточно адекватно описывать динамику движения широкого класса семенных смесей при практически любых значениях параметров работы виброочистительных машин.

Однако, как видно из выше приведенной постановки задачи по моделированию движения семян, данный метод расчёта весьма затратный с точки зрения времени расчёта и потребной машинной памяти. Причём при увеличении количества семян (элементов семенной смеси), для которых вычисляются параметры их движения, трудоёмкость вычислений возрастает в экспоненциальной зависимости.

То есть, осуществление моделирования движения массы семян, которая по количеству составляющих её семян представляет практический интерес, на современном этапе развития вычислительных средств, практически не представляется возможным. Продолжительность расчётов в данном случае может занять по времени месяцы и годы.

В данном случае, когда важно рассмотреть именно семенную массу с учётом взаимодействия составляющих её семян, целесообразно использовать феноменологический подход [22 - 25]. То есть рассматривать семена как сплошную среду с определёнными свойствами.

С целью выбора математической модели механики сплошной среды [22] для исследования процессов движения семенных смесей по вибрирующим рабочим поверхностям виброочистительной машины сначала определяем свойства исследуемого процесса.

Как известно, движение семенной смеси по вибрирующей поверхности происходит в двух режимах: в режиме с проскальзыванием и перекачиванием семян, а также в режиме отскока семян от рабочей поверхности.

При использовании первого режима (движение семенной смеси без отскока семян от рабочей поверхности), за счёт приобретения импульса движения от вибрирующей рабочей поверхности, происходит ожигание слоёв семенной массы и она начинает растекаться.

За счёт гнёта, который оказывают частицы из верхних слоёв на частицы, находящиеся внизу, последние оказываются прижатыми друг к другу. Амплитуда их колебаний под действием вибраций рабочей поверхности стремится к нулю. При определённой (критической) толщине слоя семенной смеси внутри появляется область, где частицы как бы «слипаются» и данная область проявляет себя как твёрдое тело (рис. 2).

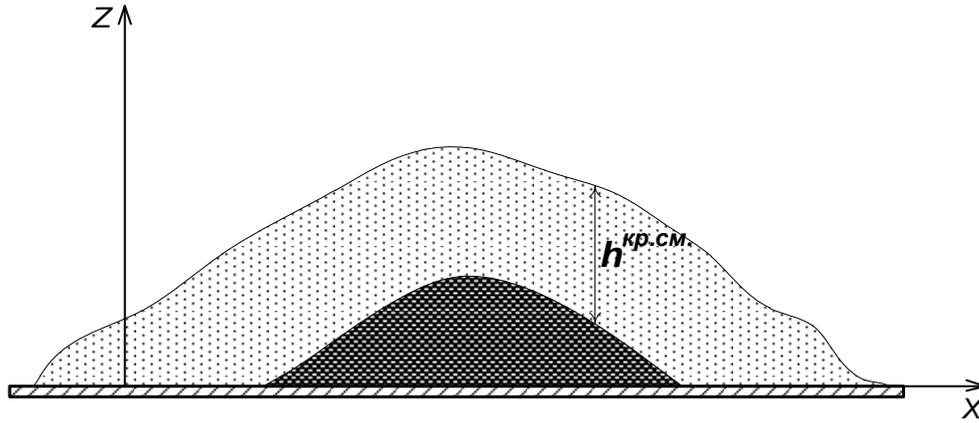


Рис. 2. Область зерновой смеси, в которой частицы континуума ведут себя как единое твёрдое тело
Fig. 2. The field seed mixture in which the particles behave as a continuum single solid

Для выделенной таким способом области, кинематические параметры движения частиц, которые её составляют, следует рассчитывать, используя соотношения механики твёрдого тела.

Для вычисления кинематических параметров движения таких частиц использовались следующие системы координат (рис. 3):

- собственная система координат $CX'YZ'$, связанная с частицей и имеющая начало в ее центре массы. Для удобства принимаем, что оси CX' , CY' и CZ' совпадают с главными осями инерции рассматриваемой частицы;
- система координат K_0XYZ , связанная с рабочей поверхностью и имеющая начало в т. K_0 , которая является точкой подачи частицы на рабочую поверхность;
- инерциальная (неподвижная) система координат $Ox_uY_uZ_u$.

Рабочая поверхность наклонена по отношению к инерциальной системе координат в двух плоскостях. Наклон задаётся двумя углами, α и β . Угол α характеризует наклон продольной оси рабочей поверхности к плоскости горизонта. Угол β характеризует наклон поперечной оси рабочей поверхности к плоскости горизонта.

Положение рабочей поверхности относительно инерциальной системы координат $Ox_uY_uZ_u$ задаётся радиус-вектором $\vec{r}_{e\sigma}$, который определяет местоположение т. K_0 . Производная $\dot{\vec{r}}_{e\sigma}$ характеризует гармонические колебания, которые совершает рабочая поверхность под действием вибровозбудителя.

Радиус-вектор $\vec{r}_{e\sigma}$ задаёт местоположение точки контакта изолированной частицы с рабочей поверхностью относительно начала системы координат K_0XYZ , которая связана с рабочей поверхностью. Производная $\dot{\vec{r}}_{e\sigma}$ характеризует движение проскальзывания частицы относительно рабочей поверхности.

Местоположение точки контакта относительно начала инерциальной системы координат задаёт ра-

диус-вектор \vec{R}_k . Производная радиус-вектора $\dot{\vec{R}}_k$ характеризует движение изолированной частицы относительно инерциальной (неподвижной) системы координат.

Местоположение центра массы частицы относительно точки его контакта с рабочей поверхностью задаёт радиус-вектор \vec{R}_c .

Кинематические параметры движения частицы (вектор скорости перемещения центра тяжести частицы \vec{u}_c и вектор ее угловой скорости вращения $\vec{\omega}$) определяются путём решения системы уравнений:

$$\begin{cases} \frac{d\vec{L}_H}{dt} = \vec{F}, \\ \frac{d\vec{H}_H}{dt} = \vec{M}_H, \end{cases} \quad (1)$$

где: \vec{L}_H – количество движения тела в принятой инерциальной системе координат; \vec{H}_H – момент количества движения тела в инерциальной системе координат; \vec{F} – равнодействующая внешних сил, приложенных к рассматриваемому телу; \vec{M}_H – равнодействующий момент от внешних сил, приложенных к телу, который вычисляется относительно начала инерциальной системы координат.

Для введённых систем координат система уравнений для случая безотрывного движения изолированного тела будет иметь следующий вид.

Количество движения изолированной частицы в инерциальной (неподвижной) системе координат вычисляем с помощью выражения:

$$\vec{L}_u = m(\dot{\vec{r}}_{e\sigma} + \dot{\vec{r}}_{e\kappa} + \vec{\omega} \times \vec{R}_c), \quad (2)$$

где: m – масса частицы.

Кинетический момент частицы относительно инерциальной системы координат имеет вид:

$$\vec{H}_u = (\vec{R}_k + \vec{R}_c) \times m(\dot{\vec{R}}_k + \vec{\omega} \times \vec{R}_c) + \vec{H}_c, \quad (3)$$

где: \vec{H}_c – кинетический момент частицы относительно ее центра массы, который (момент) рассматривается в инерциальной системе координат.

ВЫБОР МОДЕЛИ ДИНАМИКИ СПЛОШНОЙ СРЕДЫ ДЛЯ ОПИСАНИЯ ПРОЦЕССОВ
ВИБРОСЕПАРИРОВАНИЯ СЕМЕННЫХ СМЕСЕЙ

С учётом (2) и (3) система (1) примет вид:

$$m \frac{d\omega_y}{dt} R_{Cz} - m \frac{d\omega_z}{dt} R_{Cy} + m(\vec{\omega} \cdot \vec{R}_C) \omega_x - m\omega^2 R_{Cx} + m\ddot{x}_{ck} + m\ddot{y}_{\sigma b, x} = \quad , \quad (4)$$

$$= G_x - N \cdot f \frac{\dot{x}_{ck}}{\sqrt{\dot{x}_{ck}^2 + \dot{y}_{ck}^2}} + m \frac{d\omega_z}{dt} R_{Cx} - m \frac{d\omega_x}{dt} R_{Cz} + m(\vec{\omega} \cdot \vec{R}_C) \omega_y - m\omega^2 R_{Cy} + m\ddot{y}_{ck} + m\ddot{y}_{\sigma b, y} = \quad , \quad (5)$$

$$= G_y - N \cdot f \frac{\dot{y}_{ck}}{\sqrt{\dot{x}_{ck}^2 + \dot{y}_{ck}^2}} + mR_C^2 \frac{d\omega_x}{dt} - mR_{Cx} \left(\vec{R}_C \cdot \frac{d\vec{\omega}}{dt} \right) + m(\vec{\omega} \cdot \vec{R}_C) (R_{Cy} \omega_z - R_{Cz} \omega_y) + H_x - mR_{Cz} \ddot{y}_{ck} + mR_{Cy} \ddot{r}_{\sigma b, z} - mR_{Cz} \ddot{r}_{\sigma b, y} =$$

$$= R_{Cy} G_z - R_{Cz} G_y + M_{кч, x}$$

$$+ mR_C^2 \frac{d\omega_y}{dt} - mR_{Cy} \left(\vec{R}_C \cdot \frac{d\vec{\omega}}{dt} \right) + m(\vec{\omega} \cdot \vec{R}_C) (R_{Cz} \omega_x - R_{Cx} \omega_z) + H_y + mR_{Cz} \ddot{x}_{ck} + mR_{Cx} \ddot{r}_{\sigma b, x} - mR_{Cx} \ddot{r}_{\sigma b, z} =$$

$$= R_{Cz} G_x - R_{Cx} G_z + M_{кч, y}$$

$$mR_C^2 \frac{d\omega_z}{dt} - mR_{Cz} \left(\vec{R}_C \cdot \frac{d\vec{\omega}}{dt} \right) + m(\vec{\omega} \cdot \vec{R}_C) (R_{Cx} \omega_y - R_{Cy} \omega_x) + H_z + mR_{Cx} \ddot{y}_{ck} - mR_{Cy} \ddot{x}_{ck} + mR_{Cx} \ddot{r}_{\sigma b, y} - mR_{Cy} \ddot{r}_{\sigma b, x} = R_{Cx} G_y - R_{Cy} G_x \quad (8)$$

где: $\omega_x, \omega_y, \omega_z$ – проекции вектора угловой скорости вращения частицы относительно мгновенного центра вращения K на оси системы координат, связанной с рабочей поверхностью. Здесь и далее рассматриваем проекции в системе координат рабочей поверхности; R_{Cx}, R_{Cy}, R_{Cz} – проекции радиус-вектора \vec{R}_C ; $\dot{x}_{ck}, \dot{y}_{ck}$ – проекции скорости проскальзывания изолированной частицы относительно рабочей поверхности; $\ddot{x}_{ck}, \ddot{y}_{ck}$ – проекции ускорения проскальзывания частицы; $\ddot{r}_{\sigma b, x}, \ddot{r}_{\sigma b, y}, \ddot{r}_{\sigma b, z}$ – проекции ускорения рабочей поверхности при совершении гармонических колебаний под воздействием вибро-возбудителя; G_x, G_y, G_z – проекции силы веса, действующего на частицу; N – величина реакции опоры, действующей на частицу; f – коэффициент трения скольжения; $M_{кч, x}, M_{кч, y}$ – проекции вектора момента сопротивления качения при перекачивании частицы по рабочей поверхности; H_x, H_y, H_z – проекции кинетического момента частицы.

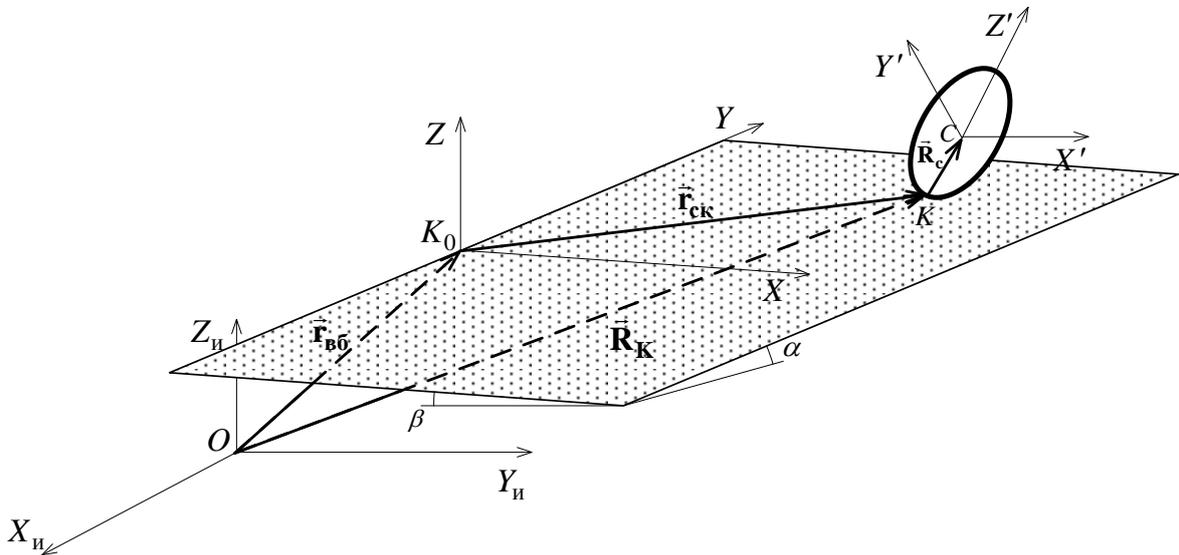


Рис. 3. Принятые системы координат для расчёта кинематических параметров движения изолированного зерна

Fig. 3. Adoption of a system of coordinates for the calculation of kinematic parameters of the motion of an isolated grain

Величины проекций вектора угловой скорости $\bar{\omega}$ рассчитываем с помощью выражений:

$$\omega_x = \dot{\theta} \cos \psi + \dot{\varphi} \sin \theta \sin \psi, \quad (9)$$

$$\omega_y = \dot{\theta} \sin \psi - \dot{\varphi} \sin \theta \cos \psi, \quad (10)$$

$$\omega_z = \dot{\psi} + \dot{\varphi} \cos \theta, \quad (11)$$

где: θ, ψ, φ – углы поворота осей системы координат, связанной с частицей, относительно системы координат, связанной с рабочей поверхностью.

Скалярную величину вектора угловой скорости ω рассчитываем как:

$$\omega = \sqrt{\omega_x^2 + \omega_y^2 + \omega_z^2}. \quad (12)$$

С учётом (9)–(11) проекции производной вектора угловой скорости по времени примут вид:

$$\frac{d\omega_x}{dt} = \ddot{\theta} \cos \psi - \dot{\theta} \dot{\psi} \sin \psi + \ddot{\varphi} \sin \theta \sin \psi + \dot{\varphi} \dot{\theta} \cos \theta \sin \psi + \dot{\varphi} \dot{\psi} \sin \theta \sin \psi, \quad (13)$$

$$\frac{d\omega_y}{dt} = \ddot{\theta} \sin \psi + \dot{\theta} \dot{\psi} \cos \psi - \ddot{\varphi} \sin \theta \cos \psi - \dot{\varphi} \dot{\theta} \cos \theta \cos \psi + \dot{\varphi} \dot{\psi} \sin \theta \sin \psi, \quad (14)$$

$$\frac{d\omega_z}{dt} = \ddot{\psi} + \ddot{\varphi} \cos \theta - \dot{\varphi} \dot{\theta} \sin \theta. \quad (15)$$

Скалярное произведение вектора угловой скорости $\bar{\omega}$ и радиус-вектора \bar{R}_C имеет вид:

$$(\bar{\omega} \cdot \bar{R}_C) = \omega_x R_{Cx} + \omega_y R_{Cy} + \omega_z R_{Cz}. \quad (16)$$

Скалярное произведение радиус-вектора \bar{R}_C и вектора производной угловой скорости по времени $\frac{d\bar{\omega}}{dt}$ имеет вид:

$$\bar{R}_C \cdot \frac{d\bar{\omega}}{dt} = R_{Cx} \frac{d\omega_x}{dt} + R_{Cy} \frac{d\omega_y}{dt} + R_{Cz} \frac{d\omega_z}{dt}. \quad (17)$$

Проекция вектора силы веса \bar{G} на оси системы координат, связанной с рабочей поверхностью, вычисляем с помощью выражений, которые имеют вид:

$$G_x = mg \cdot \sin \beta, \quad (18)$$

$$G_y = mg \cdot \operatorname{tg} \alpha \cdot \cos \beta \cdot \cos \delta, \quad (19)$$

$$G_z = -mg \cdot \cos \delta, \quad (20)$$

$$\cos \delta = \frac{\cos \alpha \cos \beta}{\sqrt{\cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha \cos^2 \beta}}, \quad (21)$$

где: δ – угол наибольшего наклона рабочей поверхности.

Величины проекций кинетического момента частицы \bar{H}_C на оси системы координат рабочей поверхности рассчитываем с помощью выражений:

$$H_x = H'_x l_1 + H'_y l_2 + H'_z l_3, \quad (22)$$

$$H_y = H'_x m_1 + H'_y m_2 + H'_z m_3, \quad (23)$$

$$H_z = H'_x n_1 + H'_y n_2 + H'_z n_3, \quad (24)$$

$$H'_x = J'_x \cdot \frac{d\omega'_x}{dt} + (J'_y - J'_z) \omega'_y \cdot \omega'_z, \quad (25)$$

$$H'_y = J'_y \cdot \frac{d\omega'_y}{dt} + (J'_x - J'_z) \omega'_x \cdot \omega'_z, \quad (26)$$

$$H'_z = J'_z \cdot \frac{d\omega'_z}{dt} + (J'_y - J'_x) \omega'_x \cdot \omega'_y, \quad (27)$$

где: H'_x, H'_y, H'_z – проекции кинетического момента частицы относительно ее главных осей инерции $CX'Y'Z'$; J'_x, J'_y, J'_z – моменты инерции частицы относительно ее главных осей; $\omega'_x, \omega'_y, \omega'_z$ – проекции угловой скорости вращения частицы относительно мгновенного центра на оси собственной системы координат; l_1, l_2, l_3 – направляющие косинусы оси CX' относительно осей системы координат рабочей поверхности; m_1, m_2, m_3 – направляющие косинусы оси CY' ; n_1, n_2, n_3 – направляющие косинусы оси CZ' .

Математическая модель безотрывного движения частицы по наклонной вибрирующей поверхности предполагает движение частицы в двух режимах:

- с качением и проскальзыванием;
- с качением без проскальзывания.

В случае рассмотрения режима движения с качением без проскальзывания, из уравнений (4) – (8) исключаем слагаемые $\ddot{x}_{ck}(t)$ и $\ddot{y}_{ck}(t)$, которые приравниваются к нулю. В результате решения уравнений движения определяем только значения углов поворота осей собственной системы координат тела $\theta(t)$, $\psi(t)$ и $\varphi(t)$.

В случае рассмотрения режима движения с качением и проскальзыванием решаем полную систему уравнений и определяем как характеристики проскальзывания, так и характеристики качения.

В качестве критерия, по которому осуществляем определение, какой именно режим движения частицы имеет место в данный момент времени, используем следующее соотношение.

Проскальзывание в точке контакта происходит в том случае, если величина сдвигающей силы F_{cd} превышает силу трения, удерживающую частицу от сдвига. Удерживающую силу трения определяем с помощью коэффициента трения покоя $f_{нк}$. То есть, условие выбора режима движения частиц с проскальзыванием и качением может быть записано как:

$$F_{cd} > N \cdot f_{нк}. \quad (28)$$

Условие движения частиц без проскальзывания, только с качением примет вид:

$$F_{cd} \leq N \cdot f_{нк}. \quad (29)$$

Величину сдвигающей силы F_{cd} вычисляем с помощью выражений:

$$F_{cd} = \sqrt{F_{cdx}^2 + F_{cdy}^2}, \quad (30)$$

$$F_{cdx} = G_x - m \frac{d\omega_y}{dt} R_{Cz} + m \frac{d\omega_z}{dt} R_{Cy} - m(\bar{\omega} \cdot \bar{R}_C) \omega_x + m\omega^2 R_{Cx} - m\ddot{r}_{\bar{\omega},x}, \quad (31)$$

$$F_{cdy} = G_y - m \frac{d\omega_z}{dt} R_{Cx} + m \frac{d\omega_x}{dt} R_{Cz} - m(\bar{\omega} \cdot \bar{R}_C) \omega_y + m\omega^2 R_{Cy} - m\ddot{r}_{\bar{\omega},y}. \quad (32)$$

При этом величина реакции опоры должна быть больше либо равна нулю: $N \geq 0$. При выполнении данного условия рассматривается режим безотрывного движения частиц.

Если $N < 0$, то тогда необходимо переходить к математической модели, описывающей режим движения с отскакиванием и соударением частиц с рабочей поверхностью.

Основные соотношения и расчётный алгоритм, которые должны при этом использоваться, изложены в работе [26].

Имеющая место картина неравномерного распределения амплитуд относительных колебаний частиц внутри среды позволяет говорить о неравномерном поле плотностей фракций смеси. При движении от нижних слоёв смеси к верхним слоям происходит «вспухание» зернового континуума – возрастает его объём. При движении от свободной границы вглубь, к рабочей поверхности – наоборот, происходит уплотнение смеси, её объём уменьшается. То есть имеет место изменение плотности фракций семенной смеси.

Семена, которые находятся в верхних слоях и имеют амплитуду колебаний, отличную от нуля, приобретают свойства жидкости. Происходит растекание смеси. Частицы, составляющие различные фракции семенной смеси, в зависимости от своих физико-механических свойств, приобретают различные направления движения относительно рабочей поверхности. Образуются течения (струи) континуума семенной смеси. Фракции смеси при своём движении оказывают динамическое давление на окружающие элементы континуума.

Действие сил трения между частицами семенной смеси по своему характеру аналогично действию сил трения между струями движущейся вязкой жидкости. То есть, в данном случае, для описания движения смеси применима модель вязкой жидкости. В силу того, что плотность семенной смеси неодинакова и по высоте зернового слоя (вследствие прижатия), и вдоль рабочей поверхности (вследствие разделения фракций и уменьшения толщины слоя), к учёту вязкости также следует добавить ещё и фактор сжимаемости. То есть для моделирования движения семенной смеси при использовании безотрывного режима движения следует использовать модель вязкой сжимаемой жидкости или газа.

При использовании режима движения с отрывом происходит возрастание импульса количества движения, сообщаемого семенной смеси. Вследствие этого изменяется характер процесса движения смеси. Происходит отскок семян от рабочей поверхности и вся масса семян «вспухает», увеличиваясь в объёме. Уменьшается величина плотности смеси. Силы трения, действующие между частицами движущейся смеси, по мере уменьшения плотности, также уменьшаются. Семенная смесь начинает себя вести как вязкий газ или как вязкая сжимаемая жидкость. То есть и во втором случае (в случае рассмотрения движения семенной массы с отскоком зёрен от рабочей поверхности) также необходимо исполь-

зовать математическую модель движения вязкой сжимаемой жидкости.

ВЫВОДЫ

1. Математическая модель динамики движения семенной смеси, построенная на основе уравнений кинематики движения вязкой сжимаемой жидкости, позволяет учесть оба рассмотренных выше режима работы виброочистительной машины (режим безотрывного движения и движение семенной массы с отскоком семян от рабочей поверхности).
2. Следовательно, в качестве рабочей модели для вычисления кинематических параметров движения семенного потока следует использовать модель движения идеальной сжимаемой вязкой жидкости.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Заика П.М., Мазнев Г.Е. 1978.** Сепарация семян по комплексу физико-механических свойств. М.: Колос, 286.
2. **Заика П.М., Лукьяненко В.М. и др. 1986.** Очистка и сортирование семян рапса и сурепицы. Тр. ВНИИМК. Вып. 4. 43–46.
3. **Гудым В.А., Журавлев С.П. 1979.** Производственные испытания вибрационной машины для очистки семян цветочных культур. Тр. МИИСП. Совершенствование рабочих органов сельскохозяйственных машин. 99 – 101.
4. **Заика П.М., Мазнев Г.Е. и др. 1976.** Исследование процесса очистки семян эспарцета от семян черноголовника игольчатого на фрикционной колеблющейся плоскости. Тр. МИИСП. Совершенствование рабочих органов сельскохозяйственных машин. 14 – 23.
5. **Бакум М., Михайлов А. и др. 2014.** Обоснование рациональных параметров сепарации семян моркови на виброфрикционном сепараторе. Motrol. Motoryzacja i Energetyka Rolnictwa. V. 16, №7. 53 – 59.
6. **Лукьяненко В.М., Галич И.В., Никифоров А.А. 2015.** Мехатронная вибрационная семяочистительная машина. Тр. ХНТУСГ. Механизация сельскохозяйственного производства. Вып. 156. 413 – 419.
7. **Заика П., Бакум Н. и др. 2013.** Вибрационная семяочистительная машина для доочистки и сортирования семян сельскохозяйственных культур. Motrol. Motoryzacja i Energetyka Rolnictwa. V. 15, №7. 86 – 92.
8. **Мельников С.В., Алешкин В.Р., Рощин П.Р. 1980.** Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов. Л.: Колос, 169.
9. **Маркова Е.В., Лисенков А.Н. 1973.** Планирование эксперимента в условиях неоднородности. М.: Наука, 220.
10. **Блехман И.И., Джанелидзе Г.Ю. 1964.** Вибрационное перемещение. М.: Наука, 410.
11. **Василенко П.М. 1960.** Теория движения частиц по шероховатым поверхностям сельскохозяйственных машин. Киев, 284.

12. **Заика П.М. 1977.** Динамика вибрационных зерноочистительных машин. М.: Машиностроение, 276.
13. **Лавендел Э.Э. 1970.** Синтез оптимальных вибромашин. Рига: Зинатне, 253.
14. **Плисс В.А. 1964.** Нелокальные проблемы теории колебаний. М.: Наука, 367.
15. **Лаврентьев М.А. 1958.** Леонард Эйлер. Сборник статей в честь 250 летия со дня рождения. / Под. ред. М.А. Лаврентьева. М.: АН СССР, 611.
16. **Лагранж Ж. 1950.** Аналитическая механика. М.-Л.: ГТТИ, Т. 1. 594.
17. **Крылов А.Н. 1937.** Сборник статей к 200-летию со дня рождения. / Под. ред. А.Н. Крылова. М.: АН СССР, 548.
18. **Лагранж Ж. 1950.** Аналитическая механика. М.-Л.: ГТТИ, Т. 2. 440.
19. **Лурье А.Б. 1981.** Статистическая динамика сельскохозяйственных агрегатов. М.: Колос, 382.
20. **Мак-Миллан В.Д. 1951.** Динамика твердого тела. / Пер. с англ. М.: Иностранная литература, 468.
21. **Манчинский Ю.А. 1997.** Обоснование параметров рабочего органа вибрационной машины для разделения семенных смесей. 127. (Украина).
22. **Седов, Л.И. 1970.** Механика сплошной среды. М.: Наука, Т. 1, 492.
23. **Седов, Л.И. 1970.** Механика сплошной среды. М.: Наука, Т. 2, 568.
24. **Тищенко Л.Н. 2000.** К определению гидродинамических характеристик псевдооживленных сыпучих сред при работе виброцентробежных сепараторов. Тр. СЗНИИМЭСХ. Экология и сельскохозяйственная техника. Т.1. 70 - 73.
25. **Тищенко Л.Н. 2001.** Гидродинамические характеристики псевдооживленных сыпучих сред при виброцентробежном сепарировании. Тр. ХДТУСГ. Современные направления технологии и механизации процессов перерабатывающих и пищевых производств. Вып. 5. 13 - 33.
26. **Лукьяненко В.М. 2012.** Способ численного решения системы уравнений безотрывного движения изолированного тела по вибрирующей поверхности. Вибрации в технике и технологиях. №3, 48-53.

THE CHOICE OF MODEL FOR THE DYNAMICS OF A FLUID FOR THE DESCRIPTION OF PROCESSES OF VIBRATING SEPARATE SEED MIXTURES

Summary. The article is devoted to the choice of model for the dynamics of a fluid for the description of processes of separation seed mixtures on separating planes and inclined in the channels formed by the closely spaced plates, mechatronic seed-cleaning machines.

Developed mechatronic seed cleaning machine can get, unlike previous designs, not only tached and detached modes of motion of the seed mixture, and percussion also. In this mode of movement components seed mixture collides not only with the upper surface of the separating plane, and with the lower surface upstream of the plane also. Due to the fact that under this mode of motion is the time of free flight of the particles of the seed mixture is reduced, and the productivity of the machine in this mode will be maximum.

With the increase in mechatronic seed cleaning machine the number of adjustments, the process of finding the optimal technological parameters of the separation process has become difficult. Instead of multifactorial experiment is proposed to calculate the parameters by constructing precise mathematical models.

The analysis showed that, despite the large number of work devoted to the vibrational displacement and separation that currently don't have a mathematical model of separation of seed mixtures that would accurately it reflected and was suitable for practical use.

The developed model of seed movement on an inclined rough vibrating surface, based on solid mechanics, when the calculated parameters of each individual seed, allow to obtain the kinematic parameters of motion for each particle seed mixture. However, the calculation of optimum parameters of the separation process with the use of such models is very costly from the point of view of the computation time.

It is proposed to use as a working model for the calculation of the kinematic parameters of the movement of seed mixture model of the motion of an ideal compressible viscous fluid.

Key words: separation, vibrating machine, optimization, mechanics of a fluid.