

Тищенко Л. Н.

Ольшанский В. П.

Харьковский
национальный
технический
университет
сельского хозяйства
им. Петра Василенко

Ольшанский С. В.

Национальный
технический
университет
«Харьковский
политехнический
институт»

УДК 631.362:532

КОЛЕБАНИЯ СКОРОСТИ СЕПАРИРУЕМОЙ ЗЕРНОВОЙ СМЕСИ ПРИ ПОПЕРЕЧНЫХ ВИБРАЦИЯХ ПЛОСКОГО РЕШЕТА

Описано усталені коливання швидкості псевдорозрідженого зернового шару, спричинені поперечними вібраціями плоского нахиленого решета у напрямі перпендикулярному до площини найбільшого скату. Побудовано математичну модель коливань з урахуванням поділу суміші на проходову та сходову фракції.

The default rate vibrations of the pseudoliquefaction grain layer caused by the transverse vibrations of a flat sieve angled in the direction perpendicular to the plane of greatest slope were described. The mathematical model of vibrations with the division of a mixture of padding and ladder faction was constructed.

Постановка проблемы. Используя вибрации, интенсифицируют решётное разделение зерновых смесей. Поэтому математическое моделирование вибрационных полей в сепарируемых смесях относится к актуальным задачам. Оно позволяет повысить эффективность использования виброрешет при послеуборочной переработке урожая.

Анализ последних исследований и публикаций. Колебания псевдооживленного слоя зерновой смеси, вызванные продольными вибрациями плоского наклонного решета, рассматривали в [1], [2]. Значительно меньше работ посвящено колебаниям скорости смеси при поперечных вибрациях решета. Из таких отметим [3], [4], [5]. В них методом Бубнова-Галёркина построены приближённые решения задач колебаний, когда вибрации решета ориентированы параллельно плоскости наибольшего ската. Вибрации зерновой смеси и решета в направлении ортогональном плоскости наибольшего ската являются малоизученным вариантом колебаний и заслуживают отдельного исследования. Для одной изолированной частицы (зерновки) их рассматривали в [6], где установлено, что частота колебаний продольной проекции скорости в два раза больше, а амплитуда колебаний в десятки раз меньше, чем соответствующие параметры колебаний

поперечной проекции скорости. Но эти колебания скорости зерновки описаны без учёта взаимодействия её с другими частицами движущейся среды. Поэтому здесь ставится задача анализа колебаний слоя, а не отдельной изолированной частицы, причём, в отличие от [7], учитывается просеивание смеси на решете.

Целью работы является вывод формулы для расчёта колебаний скорости зернового слоя, вызванных поперечными вибрациями решета, ортогонально плоскости наибольшего ската, с учётом разделения смеси на проходовую и сходовую фракции.

Основная часть работы. Проекция скорости на оси ox, oy, oz , показанные на рис. 1, обозначим через u, v, w .

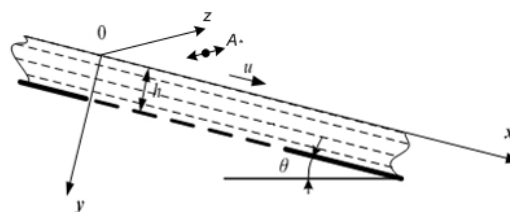
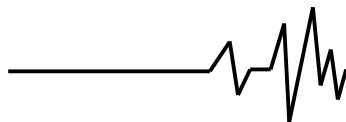


Рис. 1. Расчетная схема виброрешета с зерновым слоем



Рассматривая установившийся режим движения смеси, принимаем:

$$u = u(y), v = \text{const} \geq 0; w = w(y, t). \quad (1)$$

Проекцию скорости смеси на ось oy определяем по формуле

$$v = \frac{Q_{\Pi}}{\varepsilon LH}, \quad (2)$$

в которой Q_{Π} – пропускная способность решета по проходовой фракции; ε – коэффициент “живого сечения” решета; L, H – длина и ширина его рабочей поверхности.

Таким образом, для вычисления v нужно знать (замерить) просеивающую способность решета в выбранном режиме его работы.

Остальные проекции скорости и избыточное давление в смеси определяем из уравнений Стокса [8]

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = F_x - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + v \nabla^2 u;$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = F_y - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + v \nabla^2 v;$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} = F_z - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + v \nabla^2 w; \quad (3)$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0,$$

после соответствующих упрощений системы.

В (3) p – избыточное давление; $F_x = g \sin \theta$; $F_y = g \cos \theta$; $F_z = 0$; v – эффективная кинематическая вибровязкость псевдооживленной зерновой смеси; ρ – плотность (натура) смеси; g – ускорение свободного падения; ∇^2 – трёхмерный дифференциальный оператор Лапласа; t – время.

Для смеси, движущейся в открытом пространстве:

$$\frac{\partial p}{\partial x} = \frac{\partial p}{\partial z} = 0 \Rightarrow p = p(y), \text{ причём } p(0) = 0. \quad (4)$$

Подставив (1) в (3), получаем упрощённые уравнения:

$$\frac{d^2 u}{dy^2} - \frac{v}{\nu} \frac{du}{dy} = -\frac{g}{\nu} \sin \theta; \quad (5)$$

$$\frac{dp}{dy} = \rho g \cos \theta; \quad (6)$$

$$\frac{\partial^2 w}{\partial y^2} - \frac{v}{\nu} \frac{\partial w}{\partial y} - \frac{1}{\nu} \frac{\partial w}{\partial t} = 0. \quad (7)$$

При этом четвёртое уравнение в (3) обращается в тождество.

Учитывая малость h , по сравнению с L и H , далее размеры слоя считаем бесконечными в направлении осей ox и oz . Поэтому уравнения (5) и (7) решаем при граничных условиях:

$$\left. \frac{du}{dy} \right|_{y=0} = 0; \quad u(h) = 0; \quad (8)$$

$$\left. \frac{\partial w}{\partial y} \right|_{y=0} = 0; \quad w(h, t) = A_* \omega_* \sin(\omega_* t). \quad (9)$$

где A_* и ω_* – амплитуда и частота колебаний в направлении оси oz .

Интегрируя (6), с учётом (4), получаем линейную зависимость p от y :

$$p(y) = \rho g \cos \theta y,$$

что согласуется с [1] и [2].

Решение краевой задачи (5), (8) построено в [9] и представлено в виде:

$$u(y) = \frac{g}{\nu} \sin \theta \left\{ y - h + \frac{v}{\nu} \left[\exp\left(\frac{\nu h}{v}\right) - \exp\left(\frac{\nu y}{v}\right) \right] \right\}. \quad (10)$$

Краевая задача (7), (9) решена в [10]. Приводим это решение несколько изменив его форму записи:

$$w(y, t) = A_1(y) \sin(\omega t) + A_2(y) \cos(\omega t). \quad (11)$$

Здесь

$$A_1(y) = \exp(\alpha_1 y) [c_1 \cos(\beta y) - c_2 \sin(\beta y)] + \exp(\alpha_2 y) [c_3 \cos(\beta y) + c_4 \sin(\beta y)];$$

$$A_2(y) = \exp(\alpha_1 y) [c_1 \sin(\beta y) + c_2 \cos(\beta y)] + \exp(\alpha_2 y) [c_4 \cos(\beta y) - c_3 \sin(\beta y)];$$

$$\alpha_{1,2} = \frac{v}{2\nu} \pm \sqrt{\left(\frac{v}{2\nu}\right)^4 + \left(\frac{\omega_*}{\nu}\right)^2 + \left(\frac{v}{2\nu}\right)^2};$$

$$\beta = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{\left(\frac{v}{2\nu}\right)^4 + \left(\frac{\omega_*}{\nu}\right)^2 - \left(\frac{v}{2\nu}\right)^2};$$

$$c_1 = \delta(a_3 b_4 - a_4 b_3); \quad c_2 = -\delta(a_4 b_4 + a_3 b_3);$$

$$c_3 = \delta b_4; \quad c_4 = -\delta b_3;$$

$$\delta = \frac{A_* \omega_*}{b_3^2 + b_4^2} \exp(-\alpha_1 h); \quad a_3 = \frac{\beta^2 - \alpha_1 \alpha_2}{\alpha_1^2 + \beta^2};$$



$$a_4 = -\frac{\beta(\alpha_1 + \alpha_2)}{\alpha_1^2 + \beta^2};$$

$$b_3 = a_3 \sin(\beta h) - a_4 \cos(\beta h) - \sin(\beta h) \exp[(\alpha_2 - \alpha_1)h];$$

$$b_4 = a_4 \sin(\beta h) + a_3 \cos(\beta h) + \cos(\beta h) \exp[(\alpha_2 - \alpha_1)h].$$

И так, проекции вектора скорости потока $\vec{V}(y,t)$ можно вычислить по формулам (2), (10) и (11). При этом величина вектора скорости равна

$$V(y,t) = \sqrt{u^2(y) + v^2 + w^2(y,t)}.$$

Она меняется по времени и глубине слоя. Направления вектора скорости потока также зависит от t и y .

Вследствие просеивания проходовой фракции, по ходу движения уменьшается толщина зернового слоя. Усредняя значение h по длине решета, его приближённо вычисляем по формуле

$$h = \sqrt[3]{h_0^3 - \frac{3v\upsilon L}{2g \sin \theta}},$$

где h_0 – толщина слоя, с которой смесь подаётся на решето.

Для проведения расчётов задаём: $A_* = 0,0075$; $\omega_* = 41,86 \text{ с}^{-1}$; $\theta = 4^\circ$; $L = 0,75$; $\upsilon = 0,0001 \text{ м}^2/\text{с}$; $h_0 = 0,01 \text{ м}$ и три значения $v = 0,001; 0,003; 0,005 \text{ м/с}$.

Вычисленные геометрические образы скорости потока смеси представлены на рис. 2–4.

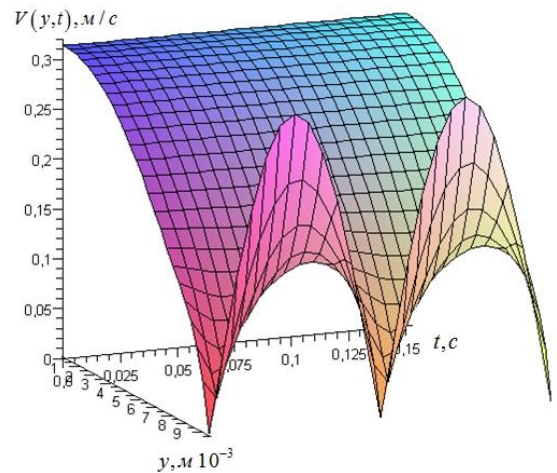


Рис. 2. Поверхность скорости потока $V(y,t)$ при $v = 0,001 \text{ м/с}$

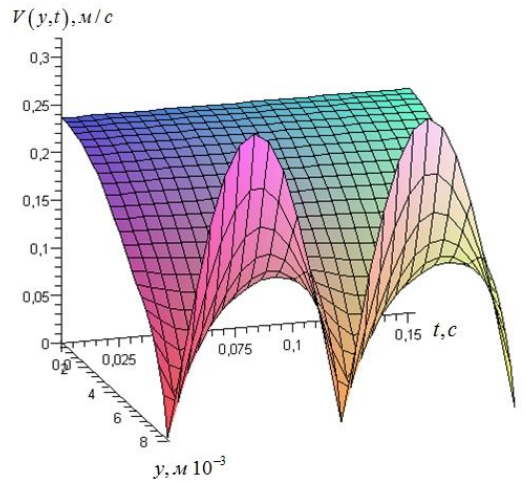


Рис. 3. Поверхность скорости потока $V(y,t)$ при $v = 0,003 \text{ м/с}$

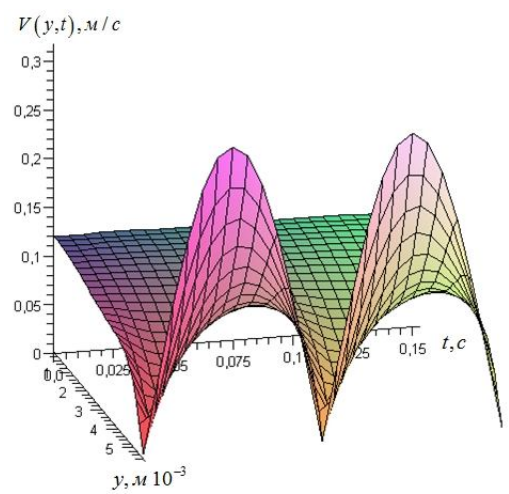


Рис. 4. Поверхность скорости потока $V(y,t)$ при $v = 0,005 \text{ м/с}$

Выводы. Расчёты по изложенной теории показали, что колебания скорости смеси быстро затухают с удалением от рабочей поверхности виброрешета в сторону свободной поверхности слоя, где $V(0,t)$ близко к постоянному значению. Это значение существенно зависит от скорости просеивания проходовой фракции на решете. Чем больше v , тем меньше усреднённая толщина движущегося слоя h и скорость потока смеси у свободной поверхности.

Литература

1. Тищенко Л.Н. Гидродинамика сепарирования зерна / Л.Н. Тищенко, В.П.



Ольшанский, С.В. Ольшанский – Харьков: “Міськдрук”, 2010. – 174 с.

2. Тищенко Л.Н. Виброрешётная сепарация зерновых смесей / Л.Н. Тищенко, В.П. Ольшанский, С.В. Ольшанский – Харьков: “Міськдрук”, 2011. – 280 с.

3. Тищенко Л.Н. Колебания зерновых потоков на виброрешётах / Л.Н. Тищенко, В.П. Ольшанский. – Харьков: “Міськдрук”, 2012. – 267 с.

4. Тищенко Л.Н. О влиянии поперечных колебаний плоского решета на движение по нём слоя зерновой смеси / Л.Н. Тищенко, В.П. Ольшанский // Динамика и прочность машин: Вестник НТУ “ХПИ”. – Харьков: НТУ, 2009. – Вып. 30. – С. 167 – 176.

5. Ольшанский В.П. Колебания сепарируемой зерновой смеси вследствие поперечных вибраций решета / В.П. Ольшанский, С.И. Кучеренко, С.В. Ольшанский, О.Н. Малец // Вісник ХНТУСГ: Механізація сільськогосподарського виробництва – Харків: ХНТУСГ, 2011. – Вип. 107. – С. 153-161.

6. Заика П.М. Вибрационное перемещение твёрдых и сыпучих тел в сельскохозяйственных

машинах / П.М. Заика. – К.: УСХА, 1998. – 625 с.

7. Ольшанский В.П. Движение зерновой смеси на плоском решете при поперечных его колебаниях / В.П. Ольшанский, С.В. Ольшанский // Вісник ХНТУСГ: Технічний сервіс АПК, техніка та технології у сільськогосподарському машинобудуванні. – Харків: ХНТУСГ, 2011. – Вип.118. С. 220-224.

8. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа / Л.Г. Лойцянский – М.: Наука, 1973. – 847 с.

9. Тищенко Л.Н. О гидродинамической модели движения зерновой смеси по наклонному плоскому решету / Л.Н. Тищенко, В.П. Ольшанский, С.В. Ольшанский // Збірник наукових праць (галузеve машинобудування, будівництво). – Полтава: Пол. НТУ, 2009. – Вип. 3 (25). Т.1. – С. 181-193.

10. Тищенко Л.Н., О колебаниях скорости зерновой смеси на виброрешете / Л.Н. Тищенко, В.П. Ольшанский, С.В. Ольшанский // Вібрації в техніці та технологіях. – 2010. – №1(57). – С. 118-123.