

Abstract

INVESTIGATION OF UNSTABLE MOTION PLOW ON PHYSICAL MODELS

Pastukhov V.I., Skofenko S.N., Fesenko G.V., Burlaka V.V., Malez O.N.

The study of unstable motion plow some variants of the mechanical system "tractor – plow – hitch" with the use of physical modeling.

УДК 631.362:532

КОЛЕБАНИЯ СЕПАРИРУЕМОЙ ЗЕРНОВОЙ СМЕСИ ВСЛЕДСТВИЕ ПОПЕРЕЧНЫХ ВИБРАЦИЙ РЕШЕТА

Ольшанский В.П., д-р ф.-м.н., проф., Кучеренко С.И., к.т.н., проф.,
Ольшанский С.В., асп., Малец О.Н.

*Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства
имени Петра Василенко*

Методом Бубнова-Галеркина построено приближенное аналитическое решение задачи о колебаниях скорости потока виброожигенного зернового слоя при его движении по вибрирующему наклонному плоскому решету. Проведено сравнение численных результатов, к которым приводят построенное и другие известные приближенные решения этой задачи.

Постановка проблемы. Использование вибраций интенсифицирует процесс решетного сепарирования зерновых смесей. Поэтому изучение поля скоростей в слое сыпучей среды, которая движется по вибрирующей направляющей поверхности, представляет научно-прикладной интерес. Одним из возможных способов теоретического описания таких полей является применение уравнений течения вязкой ньютоновской жидкости к моделированию движения виброожигенной сыпучей среды.

Анализ последних публикаций. Различают вибрационные поля в зерновом поле, которые вызваны продольными и поперечными колебаниями плоского решета [1]. К более изученным относится вариант продольных колебаний, когда распределение скоростей удается выразить в замкнутой форме с помощью известных специальных или элементарных функций [2,3,4]. При поперечных колебаниях решета краевая задача усложняется и не удается найти ее точное аналитическое решение. Поэтому в [5,6,7] были построены приближенные решения динамической задачи без учета и с учетом разделения зерновой смеси на проходную и сходовую фракции. Расчетные формулы получены методом Бубнова-Галеркина в одночленном приближении, в связи с чем желательно иметь и другие решения, чтобы судить о точности приближенных теоретических результатов.

С учетом изложенного, целью данной работы является построение

решения задачи о движении виброожиженной зерновой смеси по наклонному решету новым (отличным от применявшихся) способом и сравнение численных результатов, к которым приводят разные приближенные решения.

Изложение основного материала. Как и в работе [5], будем пренебрегать разделением смеси на две фракции. При постановке краевой задачи используем расчетную схему, показанную на рис. 1.

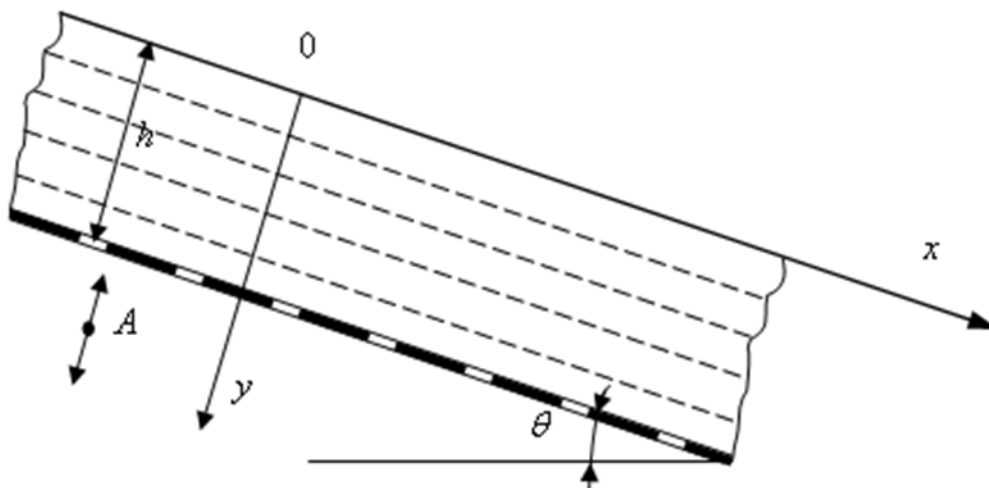


Рис. 1. Расчетная схема решета с поперечными вибрациями и слоем зерновой смеси

Слой смеси считаем однородным, т.е. не учитываем изменение кинематической вибровязкости по его высоте h . Исследуем установившийся режим движения, когда проекция скорости потока смеси и на ось ox не зависит от координаты x , а проекция скорости потока v на ось oy зависит только от времени t . При этих допущениях сохраняется математическая постановка задачи кинетики, которую приближенно решали в [5].

В отличие от указанной публикации, где применялась аппроксимация проекции скорости $u(y,t)$ по координате y , здесь вводим ее аппроксимацию по времени t . Изменение $u(y,t)$ по толщине (высоте) слоя определяем из решения краевой задачи для системы дифференциальных уравнений, к которым приводит усреднение по методу Бубнова-Галеркина.

Согласно [5], проекция скорости потока смеси $u(y,t)$ в установившемся режиме движения является решением граничной задачи:

$$F(y,t) = \nu \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + A\omega \sin(\omega t) \frac{\partial u}{\partial y} - \frac{\partial u}{\partial t} + g \sin \theta = 0; \quad (1)$$

$$u(h,t) = 0; \quad \left. \frac{\partial u}{\partial y} \right|_{y=0} = 0.$$

Здесь ν – эффективная кинематическая вибровязкость смеси; A, ω – амплитуда и частота поперечных вибраций решета; g – ускорение свободного падения; θ – угол наклона решета к горизонту.

Вычисление значения ν можно проводить по формулам, которые опубликованы в [1]. Оно зависит от параметров вибраций решета и механико-технологических характеристик зерновой смеси.

Рассматриваем безотрывный режим движения, когда

$$A\omega^2 < g \cos \theta.$$

Приближенное решение задачи ищем в трехчленном приближении

$$u(y,t) = f_1(y) + f_2(y) \cos(\omega t) + f_3(y) \sin(\omega t), \quad (2)$$

где неизвестные функции $f_j(y)$ удовлетворяют граничным условиям:

$$f_j(h) = 0; \left. \frac{df_j}{dy} \right|_{y=0} = 0, \quad j = \overline{1;3}. \quad (3)$$

Подставив (2) в (1) и приравняв нулю интегралы:

$$\int_0^{2\pi/\omega} F(y,t) dt; \int_0^{2\pi/\omega} F(y,t) \sin(\omega t) dt; \int_0^{2\pi/\omega} F(y,t) \cos(\omega t) dt,$$

получаем систему трех обыкновенных дифференциальных уравнений:

$$\frac{d^2 f_1}{dy^2} = -\frac{g \sin \theta}{\nu} - \frac{A\omega}{2\nu} \frac{df_3}{dy}, \quad (4)$$

$$\frac{d^2 f_3}{dy^2} = -\frac{A\omega}{\nu} \frac{df_1}{dy} - \frac{\omega}{\nu} f_2; \quad f_3 = \frac{\nu}{\omega} \frac{d^2 f_2}{dy^2}.$$

Интегрированием первого из них, с точностью до произвольной постоянной c , находим, что

$$\begin{aligned} \frac{df_1}{dy} &= -\frac{g \sin \theta}{\nu} y - \frac{A\omega}{2\nu} f_3 + c = \\ &= -\frac{g \sin \theta}{\nu} y - \frac{A}{2} \frac{d^2 f_2}{dy^2} + c. \end{aligned} \quad (5)$$

Граничное условие в (3) будет выполнено, когда

$$c = \left. \frac{A}{2} \frac{d^2 f_2}{dy^2} \right|_{y=0}. \quad (6)$$

Методом исключения, с учетом (5), из системы (4) получаем разрешающее уравнение четвертого порядка:

$$\frac{d^4 f_2}{dy^4} - 2a \frac{d^2 f_2}{dy^2} + \frac{\omega^2}{\nu^2} f_2 =$$

$$= \frac{A\omega^2}{\nu^2} \left(\frac{g \sin \theta}{\nu} y - c \right). \quad (7)$$

$$\text{В нем } a = \left(\frac{A\omega}{2\nu} \right)^2.$$

Далее рассмотрим режим невысоких частот колебаний, когда $\omega\nu^{-1} > a$ или $A^2\omega < 4\nu$. В этом случае характеристическое уравнение

$$K^4 - 2aK^2 + \frac{\omega^2}{\nu^2} = 0,$$

соответствующее (7), имеет комплексные корни:

$$K_{1,2,3,4} = \pm(\lambda \pm i\gamma),$$

$$\text{причем } i = \sqrt{-1}; \quad \lambda = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{\frac{\omega}{\nu} + a}; \quad \gamma = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{\frac{\omega}{\nu} - a}.$$

Поэтому общим решением (7) является:

$$\begin{aligned} f_2(y) = & c_1 sh \lambda y \cdot \sin \gamma y + c_2 ch \lambda y \cdot \cos \gamma y + \\ & + c_3 sh \lambda y \cdot \cos \gamma y + c_4 ch \lambda y \cdot \sin \gamma y + g_1 y - Ac. \end{aligned} \quad (8)$$

Здесь $g_1 = \frac{Ag \sin \theta}{\nu}$; $c_j, j = \overline{1;4}$ – произвольные постоянные.

Согласно (6) и (8), константа c выражается через c_1 и c_2 по формуле:

$$c = \frac{1}{2} A(ac_2 + bc_1), \quad (9)$$

где $b = 2\lambda\gamma$.

В силу (4) и (8) функция f_3 представляется выражением:

$$\begin{aligned} f_3(y) = & \frac{\nu}{\omega} [af_2(y) - ag_1 y + aAc + b \times \\ & \times (c_1 ch \lambda y \cdot \cos \gamma y - c_2 sh \lambda y \cdot \sin \gamma y - c_3 \times \\ & \times ch \lambda y \cdot \sin \gamma y + c_4 sh \lambda y \cdot \cos \gamma y)]. \end{aligned} \quad (10)$$

Поскольку,

$$\left. \frac{df_2}{dy} \right|_{y=0} = c_3 \lambda + c_4 \gamma + \frac{Ag \sin \theta}{\nu} = 0;$$

$$\left. \frac{df_3}{dy} \right|_{y=0} = c_3(a\lambda - b\gamma) + c_4(a\gamma + b\lambda) = 0,$$

то

$$c_3 = -\frac{Ag \sin \theta}{2\lambda\omega} (a + 2\lambda^2); \quad c_4 = \frac{Ag \sin \theta}{2\gamma\omega} (a - 2\gamma^2).$$

Используя выражения (3), (8), (9) и (10), вычисление констант c_1 и c_2 сводим к итерациям по формулам:

$$c_1 = \delta_1 / \delta; \quad c_2 = \delta_2 / \delta,$$

в которых $\delta = sh^2\eta + \cos^2 \zeta$;

$$\delta_1 = (g_1 h - Ac) \left(\frac{a}{b} ch\eta \cdot \cos \zeta - sh\eta \cdot \sin \zeta \right) + \\ + c_3 \cos \zeta \cdot \sin \zeta - c_4 ch\eta \cdot sh\eta;$$

$$\delta_2 = -[(g_1 h - Ac) \left(\frac{a}{b} sh\eta \cdot \sin \zeta + ch\eta \cdot \cos \zeta \right) + \\ + c_3 ch\eta \cdot sh\eta + c_4 \cos \zeta \cdot \sin \zeta]; \quad \eta = \lambda h; \quad \zeta = \gamma h.$$

Интегрируя (5), с точностью до константы b_1 находим функцию

$$f_1(y) = b_1 - \frac{g \sin \theta}{2\nu} y^2 - \frac{A}{2} \frac{df_2}{dy} + cy. \quad (11)$$

Для определения постоянной b_1 в (11) используем (3) и (8). В итоге получаем:

$$f(y)_1 = \frac{g \sin \theta}{2\nu} (h^2 - y^2) + \frac{A}{2} [S(h) - S(y)] + c(y - h).$$

Здесь

$$S(y) = (c_1 \lambda - c_2 \gamma) ch \lambda y \cdot \sin \gamma y + (c_1 y + c_2 \lambda) \times \\ sh \lambda y \cdot \cos \gamma y + (c_3 \lambda + c_4 \gamma) ch \lambda y \cdot \cos \gamma y + \\ + (c_4 \lambda - c_3 \gamma) sh \lambda y \cdot \sin \gamma y,$$

выражение $S(h)$ следует из $S(y)$ при замене y на h .

Таким образом, определены функции $f_j(y)$, $j = \overline{1;3}$ и по формуле (2) можно проводить приближенный расчет колебаний скорости потока зерновой смеси, вызванных поперечными вибрациями решета.

Анализ результатов расчета и выводы. Для проведения расчетов задавали: $\rho = 750$ кг/м³, $\mu = 0,25$ Па·с, $h = 0,01$ м, $\omega = 41,86$ с⁻¹, $\theta = 8^\circ$. Рассматривали вибрации решета с амплитудами: $A = 10^{-3}$ и $2 \cdot 10^{-3}$ м. Результаты вычислений скорости по формуле (2) для трех значений y при $A = 2 \cdot 10^{-3}$ м графически представлены на рис. 2.

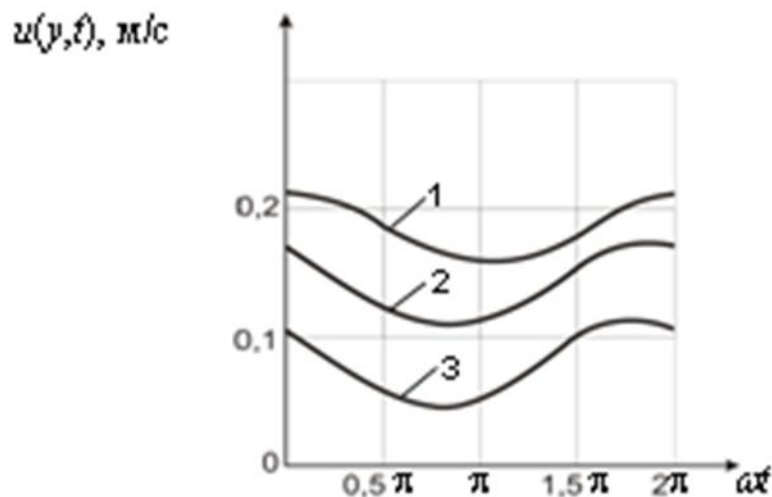


Рис. 2. Зависимости скорости от времени для разных y :

1 – $y = 0$; 2 – $y = 0,5h$; 3 – $y = 0,75h$

От значения y зависят фазы колебаний, а также средние значения скорости, относительно которых происходят эти колебания. С увеличением y уменьшается среднее значение скорости. Оно наибольшее на свободной поверхности слоя, когда $y = 0$.

Чтобы выяснить согласованность изложенной теории с теорией, которая применялась в [1], на рис. 3 представлены графики $u(0,t)$, полученные при $A = 10^{-3}$ м.

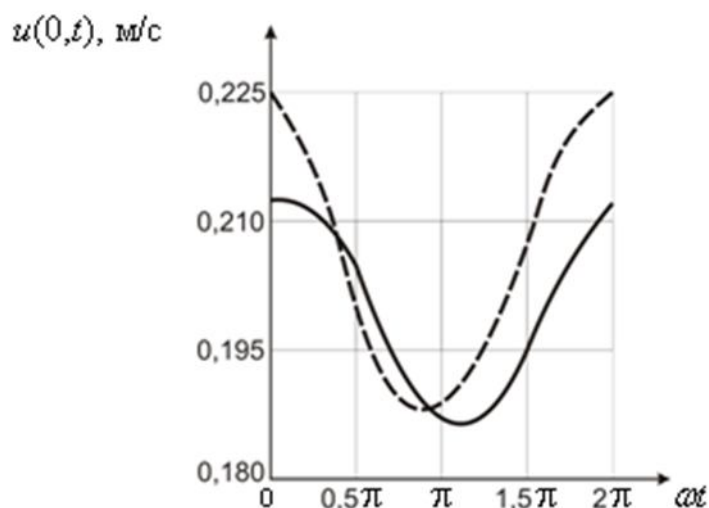


Рис. 3. Графики колебаний скорости, согласно двум решениям, при $y = 0$

Пунктирной линией нарисован график, к которому приводят формулы (5.56) и (5.61) из [1], а сплошной линией – результат расчета по формуле (2). В целом на рис. 3 нет существенных количественных расхождений по колебаниям скорости потока на свободной поверхности слоя.

Удовлетворительное согласование приближенных результатов подтверждается и на рис. 4, где представлены распределения (профили) скорости по толщине слоя зерновой смеси при $A = 2 \cdot 10^{-3}$ м для двух значений t .

Сплошные линии получены по формуле (2), а пунктирные – по формулам работы [1]. В обоих методах расчета профиль скорости меняется с течением времени, причем распределение скорости по y удовлетворительно аппроксимируется отрезком квадратной параболы, что положено в основу приближенного метода в [1].

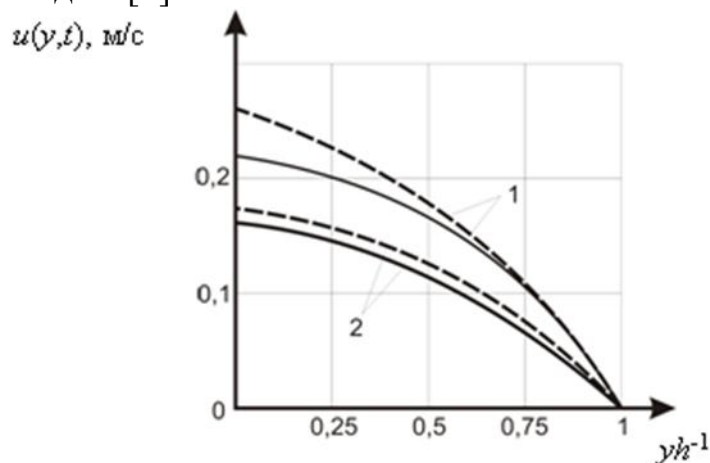


Рис. 4. Профили скорости: 1 – $t = 0$; 2 – $t = \pi\omega^{-1}$

Проведенные сопоставления численных результатов, полученных по двум приближенным решениям, подтвердили их удовлетворительное согласование. Поэтому оба решения можно использовать в инженерных расчетах потока зерновой смеси по наклонному плоскому виброрешету. Но расчетные зависимости в [1] более компактны и удобны для практических расчетов.

Список использованных источников

1. Тищенко Л.Н., Ольшанский В.П., Ольшанский С.В. Виброрешётная сепарация зерновых смесей. – Харьков: Міськдрук, 2011. – 280 с.
2. Тищенко Л.Н., Ольшанский В.П., Ольшанский С.В. К расчету движения зерновой смеси на вибрирующем плоском наклонном решете // Вібрації в техніці та технологіях. – 2009. – № 1. – С. 109-113.
3. Тищенко Л.Н., Ольшанский В.П., Ольшанский С.В. О колебаниях скорости зерновой смеси на виброрешете // Вібрації в техніці та технологіях. – 2010. – № 1. – С. 118-123.
4. Тищенко Л.Н., Ольшанский В.П., Ольшанский С.В. О колебаниях скорости неоднородного слоя зерновой смеси на плоском виброрешете // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – Мелітополь: ТДАТУ, 2010. – Вип. 10. – Т. 7. – С. 32-42.
5. Тищенко Л.Н., Ольшанский В.П., Ольшанский С.В. О влиянии поперечных колебаний плоского наклонного решета на движение

- сепарируемой зерновой смеси // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – Мелітополь: ТДАТУ, 2009. – Вип. 9. – Т. 2. – С. 131-139.
6. Тищенко Л.Н., Ольшанский В.П., Ольшанский С.В. О влиянии поперечных колебаний плоского решета на движение по нем слоя зерновой смеси // Динамика и прочность машин. Вестник НТУ «ХПИ». – Харьков: НТУ, 2009. – Вып. 30. – С. 167-176.
7. Ольшанский В.П., Ольшанский С.В., Дидур В.А. Колебания скорости неоднородного слоя зерновой смеси, вызванные поперечными вибрациями решета // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – Мелітополь: ТДАТУ, 2010. – Вип. 10. – Т. 7. – С. 173-180.

Анотація

КОЛИВАННЯ СЕПАРОВАНОЇ ЗЕРНОВОЇ СУМІШІ ВНАСЛІДОК ПОПЕРЕЧНИХ ВІБРАЦІЙ РЕШЕТА

Ольшанський В.П., Кучеренко С.І., Ольшанський С.В., Малець О.М.

Методом Бубнова-Гальоркіна побудовано наближений аналітичний розв'язок задачі про коливання швидкості потоку вібророзрідженого зернового шару при його русі по нахиленому плоскому решету, що здійснює поперечні коливання. Проведено порівняння чисельних результатів, до яких приводять побудований та інші відомі наближені розв'язки цієї задачі.

Abstract

VIBRATIONS SEPARATE OF A GRAIN MIX OWING TO CROSS VIBRATIONS OF THE SIEVE

Olshanskii S.V., Kucherenko S.I., Olshanskii S.V., Malec O.M.

The Bubnov-Galorkin method constructs the approximated analytical solution of a problem on vibrations of velocity of a flow vibroliquefaction of a grain layer at its movement on vibrating inclined of a flat sieve. The comparison of numerical results is carried out, in which result constructed and other known approached decisions of this problem.

УДК 631.365.22

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ НАСІННЯ ЛЬОНУ ОЛІЙНОГО З РОЗРОБКОЮ КОНСТРУКЦІЇ СУШАРКИ

Яшук А. А., аспірант., Кірчук Р.В., к.т.н. доцент., Голій О.В. к.т.н.

Луцький національний технічний університет

В статті наведено результати дослідження процесу сушіння насіння льону олійного при різних режимах. Проведено дослідження впливу параметрів