walk-behind and hand- routed it imposes specific requirements for this trail guns. Disk plow compared to other tillage implements has a much smaller draft resistance and this makes it promising for use in a motor-block. An additional advantage is still in the fact that due to the possibility of adjusting the angle to the vertical disk staging and direction, can be adjusted within a wide range and quality of loosening conclusion clipped layer. Thus, the use of disk plow may be promising. The main changes proposed by us are to rationalize the design of the cutting edge of the disc. The essence of the improvement consists in that the blade disc shaped profiles with different cutting angles.

The proposed design provides disk loosening the soil, as well as a regular disk and additionally has a high cropping ability. The latter ensures the reliable operation of the unit as a whole in oversaturated areas root system.
plow disc, the root system , scoring spromozhnost

Одержано 10.10.13

УДК 631.362:53

С.А. Харченко, доц., канд. техн. наук
Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства имени Петра Василенко, Украина

Построение решения уравнений динамики зерновых смесей на плоских виброрешетах

В статье приведено решение уравнений динамики зерновых смесей на виброрешетах. Получены математические выражения для определения поля скоростей зерновой смеси, учитывающие конструктивно-кинематические параметры виброрешет.
сепарация, решето, эффективность

С.О. Харченко
Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка, Україна
Побудова розв'язку рівнянь динаміки зернових сумішей на плоских віброрешетах

В статті наведено розв’язок рівнянь динаміки зернових сумішей на віброрешетах. Одержані математичні вирази для визначення поля швидкостей зернової суміші, які ураховують конструктивно-кінематичні параметри віброрешіт.
сепарація, решето, ефективність

Постановка проблемы. Повышение эффективности работы зерновых сепараторов напрямую связано с научными исследованиями процессов сепарации зерновых смесей на виброрешетах. Моделирование процессов динамики зерновой смеси по виброрешету представляет сложную теоретическую задачу, и как правило предназначается для определения скорости движения смеси, производительности и полноты разделения.

Применение аналогии между движением вязкой несжимаемой жидкости и зерновой смеси, которая находится в псевдоожиженном состоянии под воздействием вибрационных колебаний решета показали свою эффективность [1-7].

Цель работы: исследования динамики зерновой смеси по виброрешету, получение математических выражений с учетом конструктивно-кинематических параметров решета.

Основной материал. Возможность применения методов механики сплошных сред позволили определить направление по уточненному моделированию динамики зерновой смеси (ЗС) на виброрешетах [8]. Виброрешета рассмотрены как периодическая структура с периодом, определяемым расположением отверстий. Заданы краевые условия: нормальные компоненты скорости на поверхности расположения отверстий, а касательные - на поверхности их поперечных перемычек. Решение нелинейных уравнений Навье – Стокса, удовлетворяющее указанным выше краевым условиям, строим методом последовательных приближений.

Пусть слой ЗС толщиной h движется по плоскому решету. Введем декартовую систему координат x_1, x_2, x_3 таким образом, чтобы Поверхность решета совпадает с плоскостью x_1, x_3, наклонено к горизонту под углом θ, совершает колебания с амплитудой A и круговой частотой ω. Под воздействием этих колебаний зерновой слой находится в псевдоожиженном состоянии - как течение несжимаемой вязкой псевдожидкости [1].

Получив для первого и второго приближения следующие уравнения [8]:

$$\frac{\partial \vec{U}_1}{\partial t} = -\frac{1}{\rho}\nabla P_1 + \nu\,\Delta \vec{U}_1, \quad div \vec{U}_1 = 0, \tag{1}$$

$$\frac{\partial \vec{U}_2}{\partial t} + \left(\vec{U}_1, \nabla\right)\vec{U}_1 = -\frac{1}{\rho}\nabla P_2 + \nu\,\Delta \vec{U}_2, \quad div \vec{U}_2 = 0, \tag{2}$$

где ρ - усредненное значения плотности псевдоожиженного зернового слоя;

$\nu = \mu / \rho$ - кинематический коэффициент вязкости псевдожидкости;

U_1 и U_2 - соответственно, компоненты поля скорости вдоль осей x_1 и x_2 (x_1 – направлена вдоль направления движения ЗС, x_2 – по высоте слоя), учитываем начальные условия по давлению и скорости псевдоожиженного зернового слоя:

$$P_1\Big|_{t<0} = 0, \quad \vec{U}_1\Big|_{t<0} = 0. \tag{3}$$

Тогда применив к (1), (2) преобразование Лапласа по времени, получаем:

$$\begin{aligned} q\overline{U_{11}} &= -\frac{1}{\rho}\frac{\partial \overline{P_1}}{\partial x_1} + \nu\,\Delta\overline{U_{11}}, \\ q\overline{U_{12}} &= -\frac{1}{\rho}\frac{\partial \overline{P_1}}{\partial x_2} + \nu\,\Delta\overline{U_{12}}, \\ \frac{\partial \overline{U_{11}}}{\partial x_1} &+ \frac{\partial \overline{U_{12}}}{\partial x_2} = 0. \end{aligned} \tag{4}$$

Здесь $\overline{U_{1n}}, n = 1,2$ и $\overline{P_1}$ - соответственно преобразование Лапласа компонент скорости $\vec{U}_1$ и давления P_1:

$$\overline{U_{1n}} = \int_0^\infty U_{1n}(x_1, x_2, t)e^{-qt}dt,$$
$$\overline{P_1} = \int_0^\infty P_1(x_1, x_2, t)e^{-qt}dt. \qquad (5)$$

Поскольку решето вдоль оси x_1 является периодической структурой с периодом l, то решение уравнений (4) будем искать в виде рядов Фурье:

$$\overline{U_{1m}} = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} U_n^m(x_2)e^{i\frac{2\pi n}{l}x_1}, \quad n = 1,2,$$
$$\overline{P_1} = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} q_n(x_2)e^{i\frac{2\pi n}{l}x_1}. \qquad (6)$$

Подставляя (6) в (4) и учитывая граничные условия на свободной поверхности при $x_2 = h$ избыточное давление и тензор напряжений обращается в нуль:

$$P\Big|_{x_2=h} = 0, \quad \frac{\partial U_1}{\partial x_1} = \frac{\partial U_2}{\partial x_2}\Big|_{x_2=h} = 0, \quad \left(\frac{\partial U_1}{\partial x_2} + \frac{\partial U_2}{\partial x_1}\right)\Big|_{x_2=h} = 0 .$$

после ряда преобразований имеем:

$$U_n^1(x_2) = \begin{cases} A_0\left(e^{-\sqrt{\frac{q}{\nu}}(h-x_2)} + e^{\sqrt{\frac{q}{\nu}}(h-x_2)}\right), & n = 0, \\ A_n\left[e^{ia_n(2h-x_2)} - e^{ia_n x_2} - \dfrac{i(b_n^2+1)}{2b_n^2}e^{-\frac{2\pi|n|}{l}h(b_n-1)}\left(e^{-\frac{2\pi|n|}{l}(2h-x_2)} - e^{-\frac{2\pi|n|}{l}x_2}\right)\right], & n \neq 0, \end{cases} \qquad (7)$$

$$U_n^2(x_2) = \begin{cases} 0, \quad n = 0, \\ -i\dfrac{|n|}{n}\dfrac{A_n}{b_n}\left[\begin{array}{l} e^{ia_n(2h-x_2)} + e^{ia_n x_2} - i\dfrac{(b_n^2+1)}{2}e^{-\frac{2\pi|n|}{l}h(b_n-1)} \times \\ \times\left(e^{-\frac{2\pi|n|}{l}(2h-x_2)} + e^{-\frac{2\pi|n|}{l}x_2}\right)\end{array}\right], & n \neq 0, \end{cases} \qquad (8)$$

$$q_n(x_2) = \begin{cases} 0, \quad n = 0 \\ \dfrac{(1+b_n^2)l\rho q}{4\pi n b_n}e^{-\frac{2\pi|n|}{l}h}A_n\left(e^{-\frac{2\pi|n|}{l}(2h-x_2)} - e^{-\frac{2\pi|n|}{l}x_2}\right), & n \neq 0. \end{cases} \qquad (9)$$

Здесь A_n - неизвестные коэффициенты,

$$a_n = i\sqrt{\frac{q}{\nu} + \left(\frac{2\pi n}{l}\right)^2}, \; b_n = \sqrt{1 + \frac{ql^2}{\nu 4\pi^2 n^2}} .$$

Для определения коэффициентов A_n, воспользуемся граничными условиями на поверхности решета:

- на отверстиях нормальная к плоскости решета компонента скорости:

$$U_2\Big|_{x_2=0} = V_0 , \qquad (10)$$

- на неперфорированной части решета касательная компонента скорости:

$$U_1\Big|_{x_2=0} = A\omega\sin\omega t . \qquad (11)$$

Подставляя (6) в (10) и (11) и учитывая (7), (8), получаем систему парных сумматорных уравнений:

$$\begin{aligned} &\sum_{n=-\infty}^{+\infty} y_n e^{i\frac{2\pi n}{l}x_1} = 0, \quad |x_1| > \frac{d}{2}, \\ &\sum_{n\neq 0} y_n \frac{|n|}{n}(i+\delta_n)e^{i\frac{2\pi n}{l}x_1} = \frac{V_0}{q}, \quad |x_1| < \frac{d}{2}, \end{aligned} \tag{12}$$

где d - усредненный диаметр (длина) отверстий решета,

$$\delta_n = -i\left[1 - \frac{1 - \frac{i}{2}\left(b_n^2+1\right)e^{-\frac{2\pi|n|}{l}h(b_n-1)}}{1 - \frac{i\left(b_n^2+1\right)}{2b_n}e^{-\frac{2\pi|n|}{l}h(b_n-1)}}\right],$$

и неизвестные коэффициенты y_n связаны с A_n по формулам:

$$y_n = \begin{cases} A_0\left(1+e^{-\sqrt{\frac{q}{\nu}}h}\right) - \dfrac{A\omega^2}{q^2+\omega^2}, & n=0, \\ A_n\left[-1 + i\dfrac{b_n^2+1}{2b_n}e^{-\frac{2\pi|n|}{l}(b_n-1)}\right], & n\neq 0 \end{cases}. \tag{13}$$

Система уравнений (12) с помощью метода задачи Римана – Гильберта [9] сводится к бесконечной системе линейных алгебраических уравнений II<u>го</u> рода:

$$y_m = V_m^0\left(y_0 - \frac{iV_0}{q}\right) + i\sum_{n\neq 0}\frac{|n|}{n}\delta_n V_m^n x_n, \quad m = 0, \pm 1, \pm 2, \cdots . \tag{14}$$

Здесь коэффициенты V_m^n выражаются через полиномы Лежандра и вычислены в [9]:

$$V_m^n = \frac{1}{2}\begin{cases} \sum\limits_{P=0}^{n+1} P_{n+1-P}(U)\rho_{m-P}(U), & n \geq 0, \\ \rho_m(U) - \rho_{m+1}(U), & n=-1, \\ -\sum\limits_{P=0}^{-n-1} P_{-n-1-P}(U)\rho_{P+m-1}(U), & n<-1 \end{cases}, \tag{15}$$

где $U = \cos\frac{\pi d}{l}$, $P_n(U)$ - полином Лежандра, причем $P_{-n}(U) = P_{n-1}(U)$, а величины $\rho_n(U)$ удовлетворяют рекуррентной формуле

$$\rho_0(U) = 1,\ \rho(U) = -U,\ \rho_n(U) = P_n(U) - 2UP_{n-1}(U) + P_{n-2}(U),\ n \geq 2,\ \rho_{-n}(U) = \rho_{n+1}(U).$$

Можно показать, что коэффициент δ_n при $|n| \to \infty$ достаточно быстро стремится к нулю. Это позволяет для построения решения системы уравнений (14) применить метод последовательных приближений [10].

Тогда, учитывая (13), окончательно получаем:

$$A_n = \begin{cases} \left(1+e^{-\sqrt{\frac{q}{\nu}}h}\right)^{-1}\left[\dfrac{A\omega^2}{q^2+\omega^2} + i\dfrac{V_0}{q}\dfrac{(U-1)^2-2}{(U-1)^2+2}\right], & n=0, \\ \left(1 - i\dfrac{b_n^2+1}{2b_n}e^{\frac{-2\pi|n|}{l}h(b_n-1)}\right)^{-1}\dfrac{i2V_0\left(U\rho_n(U)+\rho_{n-1}(U)\right)}{q\left(2+(1-U)^2\right)}, & n\neq 0 \end{cases}. \tag{16}$$

Итак, формулы (6)-(9) и (16) дают решение уравнений (4). Теперь достаточно обратить преобразование Лапласа и тем самым получить решение уравнений первого приближения (1). С этой целью воспользуемся тем, что коэффициенты A_n как функции параметра q имеют в комплексной плоскости особенности типа полюса в точках $q = \pm i\omega$ и $q = 0$. Тогда применяя метод вычетов [11], получаем следующее представление для поля скорости:

$$U_{11} = 2A\omega \operatorname{Im}\left[e^{i\omega t}\left(1 + e^{-\sqrt{\frac{i\omega}{\nu}}h}\right)^{-1} ch\left(\sqrt{\frac{i\omega}{\nu}}\left(h - x_2\right)\right)\right] -$$

$$- \frac{4V_0}{2 + \left(1 - U\right)^2}\sum_{n=1}^{\infty} b_n\left(U\right)e^{-\frac{2\pi nh}{l}} ch\left(\frac{2\pi n}{l}x_2\right)\sin\frac{2\pi n}{l}x_1, \qquad (17)$$

$$U_{12} = \frac{4V_0}{2 + \left(1 - U\right)^2}\sum_{n=1}^{\infty} b_n\left(U\right)e^{-\frac{2\pi nh}{l}} ch\left(\frac{2\pi n}{l}x_2\right)\cos\frac{2\pi n}{l}x_1.$$

Здесь

$$B_n\left(U\right) = U\left(\rho_n\left(U\right) - \rho_{n-1}\left(U\right)\right) + \rho_{n-1}\left(U\right) - \rho_{n+2}\left(U\right),$$

$$U = \cos\frac{\pi d}{l}.$$

Im - обозначает мнимую часть.

При получении формулы (17) экспоненциально затухающие во времени члены были опущены.

Выводы. Таким образом, в работе на основе метода последовательных приближений исследуется задача о движении псевдоожиженного зернового слоя на плоском решете, совершающем гармонические колебания. Получены расчетные формулы для поля скоростей, учитывающие как характеристики колебаний решета (амплитуда и частота колебаний), так и его конструктивные параметры – размеры отверстий и период их повторения. Показано, что поле скорости зависит не только от координаты вдоль толщины слоя, но периодически изменяется вдоль поверхности решета с периодом, определяемым взаимным расположением его отверстий.

Список литературы

1. Тищенко Л.Н. Гидродинамика сепарирования зерна / Л.Н. Тищенко, В.П. Ольшанский, С.В. Ольшанский. - Харьков: “Міськдрук”, 2010. - 174 с.
2. Brilliantov N. Hydrodynamics and transport coefficients for Granlat Gases/ N. Brilliantov, T. Proschel // arxiv: cond-mat 0301152.V. 1.10 Jan., 2003.
3. Dufty James W. Hydrodynamics Models for Granular Gases / arxiv: cond-mat 0302170, V.1, 10 Feb. 2003.
4. Paolotti D., Cattuto C., Marini V., Marconi D., Puglisi A. / arxiv: cond-mat 0207601. V.1. 25 Jul., 2002.
5. Тищенко Л.Н. Виброрешетная сепарация зерновых смесей / Л.Н. Тищенко, В.П. Ольшанский, С.В. Ольшанский. - Харьков: “Міськдрук”, 2011. - 280 с.
6. Тищенко Л.Н. Колебания зерновых потоков на виброрешетках / Л.Н. Тищенко, В.П. Ольшанский, С.В. Ольшанский.- Харьков: “Міськдрук”, 2012. - 267 с.
7. Тищенко Л.Н. Моделирование потока зернового слоя на решете с учетом просеивания // MOTROL «Motorization and power industry in agriculture». – Poland: Lublin, 2012. – Vol. 14 D. – P. 39-48.
8. Тищенко Л.Н., Харченко С.О. К применению методов механики сплошных сред для описания движения зерновых смесей на виброрешетах // MOTROL «Motorization and power industry in agriculture». – Poland: Lublin, 2013. – Vol. 15 D. – №7. – P. 94-99.
9. Шестопалов В.П. Метод задачи Римана – Гильберта в теории дифракции и распространении электромагнитных волн / В.П. Шестопалов. - Харьков: Изд-во Харьков Университет, 1971. - 400 с.
10. Кантарович Л.В., Акилов Г.П. Функциональный анализ. - М.: Наука, 1977. – 741 с.

11. Лаврентьев М.Л., Шабат Б.В. Методы теории функций комплексного переменного. - М.: ГИФМЛ, 1958. – 675 с.

Sergey Kharchenko
Petro Vasylenko Kharkiv National Technical University of Agriculture
Constructing a solution of dynamics of grain mixtures for flat vibrating sieves

To study the dynamics of the grain mixture on a vibrating sieve, obtaining mathematical expressions, taking into account structural and kinematic parameters of the sieve.

The paper presents the solution of dynamics of grain mixtures vibrating sieves. The mathematical expressions for the velocity field of the grain mixture, taking into account the structural and kinematic parameters of vibrating sieves.

Conclusions. Calculation formulas for velocity, taking into account the characteristics of the oscillations as a sieve (amplitude and frequency), and its design parameters - the size of the holes and the period of their recurrence.
separation, sieve, efficiency

Одержано 08.10.13

УДК 631.3:621:695:553:973

С.М Хомич, ас.
Луцький національний технічний університет

Дослідження закономірності зміни об'ємного газовмісту за висотою забірного пристрою засобу для добування органічного сапропелю

У статті наведено теоретичні закономірності зміни об'ємного газовмісту за висотою забірного пристрою засобу для добування органічного сапропелю. На основі розв'язку отриманої залежності числовим методом, побудовані графічні залежності даного параметра.
повітряно-сапропелева суміш, об'ємний газовміст, забірний пристрій, режим руху, сапропель, висота, січення

С.М Хомич
Луганский национальный технический университет
Исследование закономерности изменения объемного газосодержания за высотой заборного устройства средства для добычи органического сапропеля

В статье приведены теоретические закономерности изменения объемного газосодержание по высоте заборного устройства средства для добычи органического сапропеля. На основе решения полученной зависимости численным методом построены графические зависимости данного параметра.
воздушно-сапропелевая смесь, объемный газосодержатель, заборное устройство, режим движения, сапропель, высота, сечение

Постановка проблеми. Для забезпечення сільського господарства якісною сировиною з метою створення органічних добрив та компостів для підвищення родючості ґрунту слід використовувати донні відклади прісноводних озер – сапропелі. Органічні сапропелі являються екологічним альтернативним джерелом підтримання родючості ґрунтів. Для добування сапропелів різного типу, з підводних озерних родовищ використовують різного роду конструкції засобів, установок, машин, модулів