

Abstract

USE OF THE WASTE OF THE PROCESSING ENTERPRISES IN ALTERNATIVE POWER

O. Radchuk, M. Mashkin, A. Bogomolov, S. Denisenko, J. Tokolov

In article the considered principal views of a waste of the processing enterprises and technology and the equipment for their processing in alternative fuel. The resulted basic indicators of fuel briquettes also are recommended a way of their use.

УДК 631.362:532

О ДВИЖЕНИИ ВИБРООЖИЖЕННОГО СЕПАРИРУЕМОГО СЛОЯ ЗЕРНА ПО ПЛОСКОМУ РЕШЕТУ КОНЕЧНОЙ ШИРИНЫ

Ольшанский В.П. д-р ф.-м.н., проф., Кучеренко С.И. к.т.н., проф.,
Бурлака В.В. к.т.н. доц., Ольшанский С.В. асп.

*Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства
имени Петра Василенко*

Используя аналогию в течениях вязкой жидкости и сыпучей среды в условиях вибраций, построены точное и приближенное решения краевой задачи гидродинамики для расчета скорости движения зерна по решетку конечной ширины и других характеристик потока в установившемся режиме с учетом разделения смеси на сходовую и проходную фракции.

Постановка проблемы. Для интенсификации сепарирования зерна проводят моделирование движения его по рабочей поверхности решета. Несмотря на существенный прогресс в разработке математических моделей движения смеси по виброрешету, их дальнейшее уточнение остается актуальной задачей. В частности, в расчетной практике используют теории, в которых ширина плоского решета считается бесконечной, т.е. не учитывается влияние на процесс движения рамки решетного стана. В связи с отсутствием оценок погрешности, вносимой этим допущением, возникла необходимость разработать теорию движения смеси по решетку конечной ширины.

Анализ последних исследований и публикаций. Движение виброожиженной среды по направляющей плоскости конечной ширины рассматривалось в [1]. Задача решалась без учета просеивания части зерна через перфорированную поверхность решета. Распределение скорости потока в установившемся режиме движения представлено одинарным тригонометрическим рядом. Решение аналогичной задачи в [2] получено в виде двойного тригонометрического ряда и использовано для определения интегральных характеристик потока: производительности решета и средней скорости движения смеси. Результаты работы [2] опубликованы также в

монографии [3]. В статье [4] показано, что, вместо точных решений в форме рядов, в практических инженерных расчетах удобнее использовать приближенные замкнутые решения, к которым приводит метод Бубнова-Галеркина. Приближенный метод с высокой точностью описывает краевой эффект у рамки решетного стана.

В отличие от указанных выше публикаций в данной работе решается более общая краевая задача с учетом просеивания части смеси через перфорированную рабочую плоскость наклонного решета.

Целью работы является получение формул для расчета скорости потока зерновой смеси по виброрешету конечной ширины с учетом разделения смеси на сходовую и проходovou фракции.

Постановка краевой задачи и построение ее точного аналитического решения. Для уточнения известных моделей движения используем, показанную на рис. 1, декартову систему координат, в которой оси ox и oz лежат в плоскости, совпадающей со свободной поверхностью движущегося слоя смеси, а ось oy перпендикулярна плоскости решета, наклоненного под углом θ к горизонту.

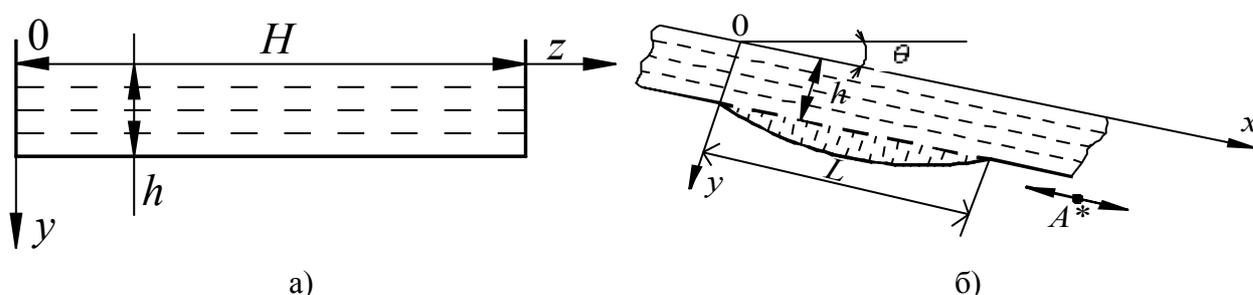


Рис. 1 – Расчетная схема: а) поперечное сечение слоя; б) виброрешето с движущимся зерном

Рассматривая установившийся режим движения, проекцию скорости w на ось oz полагаем равной нулю. Проекцию скорости v на ось oy считаем постоянной и определяем по формуле

$$v = \varepsilon v_{\Pi},$$

в которой ε – коэффициент «живого сечения» решета; v_{Π} – проекция на ось oy скорости просеивания проходовой фракции через отверстия в решете.

Проекцию скорости потока смеси $u = u(y, z)$ на ось ox в установившемся режиме движения считаем независимой от x и находим из решения краевой задачи [5]:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial y^2} - \frac{v}{v} \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} = -\frac{g}{v} \sin \theta. \quad (1)$$

$$u(y, 0) = u(y, H) = u(h, z) = u'_y(0; z) = 0. \quad (2)$$

В выражениях (1), (2) v – кинематический коэффициент вибровязкости смеси; g – ускорение свободного падения; h, H – соответственно толщина и ширина движущегося слоя зерна.

Уравнение (1) получено из системы Навье-Стокса [5], с учетом того, что $w = 0$; $v = const$; $u = u(y, z)$ и эти проекции не зависят от времени t .

Следуя [3], кинематический коэффициент вязкости смеси определяем по формуле

$$v = \frac{bh}{12\omega\rho r_0 \sqrt{(2A^*)^2 - (\delta bh)^2}},$$

где $\delta = \pi(4M\omega^2)^{-1}$; $b = 0,7f(\pi r_0)^2 \rho g \cos \theta$; M, r_0 – эквивалентные масса и радиус условно сферических частиц, образующих смесь плотности ρ ; f – коэффициент внутреннего трения в смеси; A^*, ω – амплитуда и круговая частота продольных вибраций решета.

Таким образом, кинематическая вязкость виброоживленной смеси зависит от ее механико-технологических характеристик и параметров вибраций решета.

Заметим, что вследствие просеивания проходовой фракции толщина слоя h будет зависеть от координаты x . Но в рассматриваемой теории этой зависимостью пренебрегаем, усредняя h по длине решета, что допустимо, когда объем отделяющейся части мал по сравнению с общим объемом смеси на решете.

Учитывая граничные условия (2), решение уравнения (1) ищем в виде ряда

$$u(y, z) = \sum_{n=0}^{\infty} \varphi_n(y) \sin(\beta_n z), \quad (3)$$

где $\beta_n = (2n+1)\pi H^{-1}$; $\varphi_n(y)$ – неизвестные функции.

Подставив (3) в (1), с учетом ортогональности $\sin(\beta_n z)$ на промежутке $z \in [0; H]$, получаем уравнения для определения $\varphi_n(y)$:

$$\frac{d^2 \varphi_n}{dy^2} - \frac{v}{\nu} \frac{d\varphi_n}{dy} - \beta_n^2 \varphi_n = -\frac{4g \sin \theta}{\pi v (2n+1)}. \quad (4)$$

Общим решением (4) является

$$\varphi_n(y) = c_{1n} \exp(k_{1n} y) + c_{2n} \exp(k_{2n} y) + \frac{4gH^2 \sin \theta}{\pi^3 v (2n+1)^3}. \quad (5)$$

Здесь $k_{1n, 2n} = \frac{v}{2\nu} \pm \sqrt{\frac{v^2}{4\nu^2} + \beta_n^2}$; c_{1n}, c_{2n} – произвольные постоянные, которые находим с помощью (2).

Определение постоянных проводим по формулам:

$$c_{1n} = \frac{4gH^2 \sin \theta}{\pi^3 v (2n+1)^3} \frac{k_{2n}}{k_{1n} \exp(k_{2n} h) - k_{2n} \exp(k_{1n} h)}; \quad c_{2n} = -\frac{k_{1n}}{k_{2n}} c_{1n}. \quad (6)$$

Подставляя (5) в (3), с учетом (6), получаем

$$u(y, z) = \frac{4gH^2 \sin \theta}{\pi^3 \nu} \sum_{n=0}^{\infty} \left[1 - \frac{k_{1n} \exp(k_{2n}y) - k_{2n} \exp(k_{1n}y)}{k_{1n} \exp(k_{2n}h) - k_{2n} \exp(k_{1n}h)} \right] \cdot \frac{\sin(\beta_n z)}{(2n+1)^3}.$$

Для убыстрения сходимости полученного решения воспользуемся известной суммой ряда [6]

$$\sum_{n=0}^{\infty} \frac{\sin(\beta_n z)}{(2n+1)^3} = \frac{\pi^3}{8H^2} z(H-z).$$

После убыстрения сходимости имеем

$$u(y, z) = \frac{g \sin \theta}{2\nu} \cdot \left[z(H-z) - \frac{8H^2}{\pi^3} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{\sin(\beta_n z)}{(2n+1)^3} \times \frac{k_{1n} \exp(k_{2n}y) - k_{2n} \exp(k_{1n}y)}{k_{1n} \exp(k_{2n}h) - k_{2n} \exp(k_{1n}h)} \right]. \quad (7)$$

Решение (7) при $y=0$; $z=0,5H$ переходит в ряд, представляющий максимальное значение проекции скорости

$$\max u = \frac{gH^2 \sin \theta}{8\nu} \left[1 - \frac{32}{\pi^3} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n (k_{1n} - k_{2n})}{(2n+1)^3 [k_{1n} \exp(k_{2n}h) - k_{2n} \exp(k_{1n}h)]} \right]. \quad (8)$$

Интегрируя (7) можно получить формулы для расчета производительности решета по сходовой фракции, а также других интегральных характеристик. Однако, определять их проще с помощью приближенного решения краевой задачи, которое построим ниже.

Построение приближенного решения краевой задачи методом Бубнова-Галеркина. Решение уравнения (1), при граничных условиях (2), ищем в виде

$$u(y, z) = f(z) \cdot (h^2 - y^2), \quad (9)$$

где $f(z)$ – неизвестная функция.

Для ее определения указанным методом получаем уравнение

$$\frac{d^2 f}{dz^2} - \frac{5}{2h^2} \cdot \left(1 - \frac{3\nu h}{8\nu} \right) f = -\frac{5g}{4h^2 \nu} \sin \theta.$$

Общее решение уравнения имеет вид

$$f(z) = c_3 \operatorname{sh}(\lambda z) + c_4 \operatorname{ch}(\lambda z) + \frac{g \sin \theta}{2\nu \left(1 - \frac{3\nu h}{8\nu} \right)}. \quad (10)$$

Здесь $\lambda = \frac{1}{h} \sqrt{\frac{5}{2} \left(1 - \frac{3\nu h}{8\nu} \right)}$; c_3 и c_4 – произвольные постоянные.

Граничные условия (2) удовлетворяются, когда

$$c_4 = -\frac{g \sin \theta}{2\nu \left(1 - \frac{3\nu h}{8\nu}\right)}; \quad c_3 = c_4 \frac{1 - ch(\lambda H)}{sh(\lambda H)}. \quad (11)$$

Учитывая (9), (10) и (11), получаем приближенное замкнутое решение задачи

$$u(y, z) = \frac{g \sin \theta}{2\nu - \frac{3}{4}\nu h} \left(1 - \frac{ch\left(\lambda \frac{H}{2} - \lambda z\right)}{ch\left(\frac{\lambda H}{2}\right)} \right) (h^2 - y^2). \quad (12)$$

Из него следует компактная формула для вычисления максимального значения проекции скорости

$$\max u = u\left(0, \frac{H}{2}\right) = \frac{gh^2 \sin \theta}{2\nu - \frac{3}{4}\nu h} \left(1 - \frac{1}{ch\frac{\lambda H}{2}} \right). \quad (13)$$

При $\nu = 0$ она совпадает с формулой, опубликованной в [4].

Интегрируя решение (12), находим производительность решета по сходовой фракции

$$Q_c = \int_0^h \int_0^H u(y, z) dy dz = \frac{2gHh^3 \sin \theta}{3 \cdot \left(2\nu - \frac{3}{4}\nu h\right)} \left(1 - \frac{2}{\lambda H} th \frac{\lambda H}{2} \right). \quad (14)$$

Производительность решета по проходовой фракции зависит от длины решета L и определяется выражением

$$Q_{\Pi} = \varepsilon \nu_{\Pi} HL.$$

Вычислив Q_c , далее не сложно найти среднюю скорость потока смеси $u_c = Q_c (Hh)^{-1}$ и удельную загрузку решета $\bar{q} = \rho h u_{cp} L^{-1}$.

Анализ численных результатов. Расчеты проведены для зерновой смеси пшеницы, у которой [3]: $f = 0,47$; $\rho = 750 \text{ кг/м}^3$; $r_0 = 0,001825 \text{ м}$; $M = 0,00004 \text{ кг}$; $h = 0,007 \text{ м}$. Параметры решета задавали такими: $\theta = 4^\circ$; $\varepsilon = 0,4$; $L = 0,79 \text{ м}$; $H = 0,5 \text{ м}$; $A = 0,0075 \text{ м}$; $\omega = 41,86 \text{ с}^{-1}$.

Вычисленные двумя способами значения $u(y, H/2)$ при различных y указаны в табл. 1. В числителе записаны результаты расчетов по формуле (7), где ряд по n суммировали до $n = 30$. В знаменатели записаны значения проекции скорости, полученные по приближенной формуле (12). Сравнение результатов расчета подтверждает удовлетворительную точность приближенного решения.

Таблица 1 – Значения $u(y, H/2)$ в м/с

y/h	0	0,2	0,4	0,6	0,8
$u(y, H/2)$ при $v_{II} = 0$	<u>0,283</u> 0,283	<u>0,272</u> 0,272	<u>0,238</u> 0,238	<u>0,181</u> 0,181	<u>0,101</u> 0,102
$u(y, H/2)$ при $v_{II} = 10^{-2}$ м/с	<u>0,334</u> 0,344	<u>0,321</u> 0,330	<u>0,285</u> 0,289	<u>0,221</u> 0,220	<u>0,127</u> 0,124
$u(y, H/2)$ при $v_{II} = 2 \cdot 10^{-2}$ м/с	<u>0,398</u> 0,439	<u>0,386</u> 0,421	<u>0,347</u> 0,369	<u>0,274</u> 0,281	<u>0,161</u> 0,158

В числителях в табл. 2 записаны значения $\max u$, вычисленные по формуле (8) суммированием ряда до $n=30$. В знаменателях указаны результаты, полученные по приближенной формуле (13).

Таблица 2 – Значения $\max u$ для разных v_{II}

v_{II} , м/с	0	0,005	0,01	0,015	0,02
$\max u$, м/с	<u>0,283</u> 0,283	<u>0,307</u> 0,311	<u>0,334</u> 0,344	<u>0,364</u> 0,386	<u>0,398</u> 0,439

С увеличением v_{II} возрастает погрешность приближенного решения, которое приводит к несколько завышенным результатам.

Выводы. Изложенная теория обобщает известные модели движения зерновой смеси по виброрешету конечной ширины. Она может быть использована для практических расчетов с учетом разделения смеси на сходовую и проходовую фракции. При этом удобно применять приближенные формулы, полученные методом Бубнова-Галеркина, так как их погрешность небольшая по сравнению с точными решениями в форме рядов, при малых скоростях просеивания смеси на решетке.

Список использованных источников

1. Морозов И.В., Слоновский Н.В. О движении псевдооживленной среды по направляющей поверхности // Сучасні напрямки технології та механізації процесів переробних та харчових виробництв: Вісник ХДТУСГ. – Харків: ХДТУСГ, 2002. – Вип. 9. – С. 134-143.
2. Тищенко Л.Н., Ольшанский В.П., Ольшанский С.В. Расчет усредненных характеристик потока зерновой смеси на виброрешете // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – Мелітополь: ТДАТУ, 2010. – Вип. 10. – Т. 2. – С. 177-182.
3. Тищенко Л.Н., Ольшанский В.П., Ольшанский С.В. Гидродинамика сепарирования зерна. – Харьков: Міськдрук, 2010. – 174 с.
4. Кучеренко С.И., Ольшанский В.П., Бурлака В.В., Ольшанский С.В. К расчету характеристик движения зерновой смеси на виброрешете конечной ширины // Механізація сільськогосподарського виробництва: Вісник ХНТУСГ. – Харків: ХНТУСГ, 2010. – Вип. 93. – Т. 1. – С. 19-24.

5. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. – М.: Наука, 1973. – 847 с.
6. Градштейн И.С., Рыжик И.М. Таблицы интегралов, сумм, рядов и произведений. – М.: Наука, 1962. – 1100 с.

Анотація

ПРО РУХ ВІБРОРОЗРІДЖЕНОГО СЕПАРОВАНОГО ШАРУ ЗЕРНА ПО ПЛОСКОМУ РЕШЕТУ СКІНЧЕНОЇ ШИРИНИ

Ольшанський В.П., Кучеренко С.І., Бурлака В.В., Ольшанський С.В.

Використовуючи аналогію течій в'язкої рідини і сипкого середовища в умовах вібрацій, побудовано точний і наближений розв'язки крайової задачі гідродинаміки для розрахунку швидкості руху зерна по решету скінченної ширини та інших характеристик потоку в усталеному режимі з урахуванням розподілу суміші на сходову та проходову фракції.

Abstract

ABOUT MOTION OF A VIBROLIQUEFACTION SEPARATE LAYER OF A GRAIN ON A FLAT SIEVE WITH FINAL WIDTH

V. Olshanskii, S. Kucherenko, V. Burlaka, S. Olshanskii

Using analogy during a viscous liquid and loose environment in conditions of vibrations, the solutions of a regional problem of hydrodynamics for account velocity of motion of a grain on a sieve with final width and other characteristics of a flow in the established mode are constructed exact and approached in view of division of a mix on a rising and passing fraction.

УДК 631.362

О РАЗДЕЛЯЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ВИБРОСЕПАРАТОРА С МАЛОГАБАРИТНЫМИ ДЕКАМИ

**Завгородний А.И. д.т.н., проф., Романюк Г.С. к.т.н., доц.,
Обыхвост А.В. инж.**

*Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства
имени Петра Василенко*

Исследовано влияние параметров работы вибросепаратора на рассеивание значений размаха колебаний частиц по рабочим поверхностям дек, который служит признаком разделения зерновых смесей на малогабаритных деках.

Постановка проблемы. Разброс значений признака разделения зерновых смесей на фракции в существенной мере определяет качество разделения. Указанный разброс можно оценивать общепринятым в научных исследованиях