

## 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 проходovou 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  $\theta$  к горизонту.

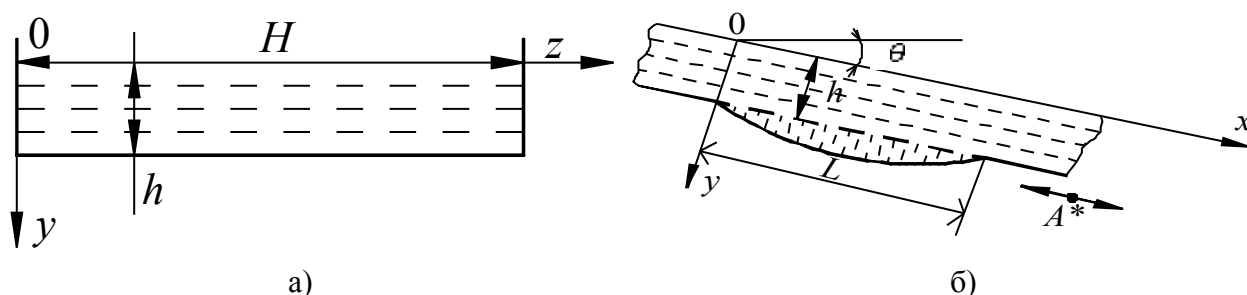


Рис. 1 – Расчетная схема: а) поперечное сечение слоя; б) виброрешето с движущимся зерном

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  $\varepsilon$  – коэффициент «живого сечения» решета;  $v_{\Pi}$  – 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  $\rho$ ;  $f$  – коэффициент внутреннего трения в смеси;  $A^*, \omega$  – 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