

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

способом с помощью дисперсии. Поэтому является актуальным изучение влияния параметров работы сепаратора на дисперсию размаха колебаний частиц на рабочей поверхности, как признака разделения зерновых смесей на малогабаритных деках.

Анализ последних исследований. В работах [1-4] исследовано движение материальной точки и округлой частицы по поверхности малогабаритной деки вибросепаратора. Предложены аналитические зависимости для определения размаха колебаний единичной частицы по поверхности деки. Но влияние на разброс (дисперсию) признака разделения смеси таких параметров работы вибросепаратора, как угол наклона деки, угол направленности колебаний, интенсивность колебаний не изучалось.

Результаты исследований. В работах [1] содержится необходимая информация о технологии разделения зерновых смесей на малогабаритных деках, поэтому ограничимся лишь кратким описанием принципиальной схемы вибросепаратора. Рабочий орган – дека имеет клинообразную плоскую несущую поверхность, одна сторона которой снабжена отражательной пластиной, установленной перпендикулярно несущей поверхности. Дека имеет продольно-поперечный наклон и совершает гармонические прямолинейные колебания в поперечном направлении. Частицы смеси поступают на несущую поверхность деки со стороны верхнего, более широкого, торца и совершают в поперечном направлении циклические движения в соответствии с периодом поперечных колебаний деки. Одновременно с этим, под влиянием сил тяжести, частицы смещаются к нижнему узкому торцу. Частицы, в силу различия их физико-механических свойств, после взаимодействия с отражательной пластиной отскакивают от нее на разные расстояния, поэтому часть из них оказывается в боковых, а часть – в торцевом приемниках.

Исследовалась задача периодического безотрывного качения сферической частицы в поперечном сечении деки без проскальзывания [2-4]. Для этого введена относительная система координат xOy , жестко связанная с декой, причем ось Ox расположена на несущей поверхности, а ось Oy примыкает к вертикальной поверхности отражательной пластины. Учитывалось, что на частицу в относительном движении действуют силы веса, инерции, нормальной реакции, трения. Учитывалось также трение качения.

Уравнения движения частицы в безразмерных координатах $\ddot{x}^* = \ddot{x}/g$, $\dot{x}^* = \dot{x}/A\omega$, $x^* = x/A$ имеют вид:

$$\ddot{x}^* = \frac{1}{1+\mu} \left[K (\cos \beta - \nu \sin \beta) \sin 2\pi\tau - (\sin \alpha + \nu \cos \alpha) \right] \quad (15)$$

$$\dot{x}^* = \frac{\cos \beta - \nu \sin \beta}{1+\mu} \left(\frac{\pi}{K} \cdot \frac{1-R}{1+R} \cdot \frac{\sin \alpha + \nu \cos \alpha}{\cos \beta - \nu \sin \beta} - \cos 2\pi\tau \right) - \frac{2\pi}{K} \cdot \frac{\sin \alpha + \nu \cos \alpha}{1+\mu} \left[\tau - \frac{1}{2\pi} \arccos \left(\frac{\pi}{K} \cdot \frac{1-R}{1+R} \cdot \frac{\sin \alpha + \nu \cos \alpha}{\cos \beta - \nu \sin \beta} \right) - \frac{R}{1+R} \right]; \quad (16)$$

$$x^* = \frac{\cos \beta - \nu \sin \beta}{1 + \mu} \left[\sqrt{1 - \left(\frac{\pi}{K} \cdot \frac{1-R}{1+R} \cdot \frac{\sin \alpha + \nu \cos \alpha}{\cos \beta - \nu \sin \beta} \right)^2} - \sin 2\pi\tau \right] + \frac{2\pi^2}{K} \cdot \frac{\sin \alpha + \nu \cos \alpha}{1 + \mu} \left[\tau - \frac{1}{2\pi} \arccos \left(\frac{\pi}{K} \cdot \frac{1-R}{1+R} \cdot \frac{\sin \alpha + \nu \cos \alpha}{\cos \beta - \nu \sin \beta} \right) \right] \left[1 - \tau + \frac{1}{2\pi} \arccos \left(\frac{\pi}{K} \cdot \frac{1-R}{1+R} \cdot \frac{\sin \alpha + \nu \cos \alpha}{\cos \beta - \nu \sin \beta} \right) \right] \quad (17)$$

Кроме того, в соотношения (15)-(17) введены следующие безразмерные величины: $\tau = t/T$, $\mu = \rho^2/r^2$, $\nu = l/r$, $K = A\omega^2/g$.

Здесь и далее обозначено: α – угол поперечного наклона деки; β – угол направленности колебаний; A, ω, T – соответственно, амплитуда, частота и период колебаний; R – коэффициент восстановления скорости при ударе; f – коэффициент трения; l – коэффициент трения качения; ρ – радиус инерции частицы; r – радиус частицы; t – текущее время; m, g – масса частицы и ускорение свободного падения.

Условия существования указанного периодического режима движения частиц имеются в работе [4].

Очевидно, что при любом технологически приемлемом сочетании параметров работы сепаратора разброс значений x_{\max} будет определяться степенью различия свойств частиц обрабатываемой смеси. Свойства частиц изучались экспериментально на примере проса сорта “Солнечный” урожая 2009 года по выборке объемом 100 семян. Фрагмент таблицы исследований, содержащей 100 столбцов, приведен на рис. 1.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0.412	0.385	0.371	0.371	0.357	0.326	0.291	0.367	0.309
2	0.366	0.458	0.366	0.366	0.275	0.321	0.321	0.275	0.229

Рис.1 – Свойства семян проса. В пронумерованных строках: 1) коэффициент восстановления скорости при ударе; 2) коэффициент трения скольжения

Размах колебаний частицы на поверхности деки соответствует ее максимальному отскоку (x_{\max}) после соударения с отражательной пластиной. В этот момент изменяется направление движения частицы и ее скорость уменьшается до нуля, поэтому момент остановки частицы можно определить из соответствующего условия $\dot{x}^* = 0$. Основное влияние на указанный отскок оказывает коэффициент восстановления скорости при ударе, принимающий различные значения во взятой выборке (рис.1 первая строка). Введем массив значений этого коэффициента с помощью индексированной переменной R_n . Для проведения необходимых расчетов идеально подходит программа “Mathcad”, в

которой упомянутый массив записывается в виде: $n := 1..cols(M)$, $R_n := M_{1,n}$. Тогда для определения скорости движения одной из ста частиц на основании соотношения (16) можно ввести функцию:

$$f(n, \alpha, \beta, K, \mu, \nu, \tau) := \frac{\cos \beta - \nu \sin \beta}{1 + \mu} \left(\frac{\pi}{K} \cdot \frac{1 - R_n}{1 + R_n} \cdot \frac{\sin \alpha + \nu \cos \alpha}{\cos \beta - \nu \sin \beta} - \cos 2\pi\tau \right) - \frac{2\pi}{K} \cdot \frac{\sin \alpha + \nu \cos \alpha}{1 + \mu} \left[\tau - \frac{1}{2\pi} \operatorname{acos} \left(\frac{\pi}{K} \cdot \frac{1 - R_n}{1 + R_n} \cdot \frac{\sin \alpha + \nu \cos \alpha}{\cos \beta - \nu \sin \beta} \right) - \frac{R_n}{1 + R_n} \right] \quad (18)$$

Здесь: «:=» – принятый в “маткаде” знак присваивания значений; $cols(M)$ – число столбцов матрицы M ; «acos» – встроенная функция, соответствующая общепринятому обозначению «arccos».

Поскольку уравнение $f(n, \alpha, \beta, K, \mu, \nu, \tau) = 0$ трансцендентное, для определения времени $\tau_o(n, \alpha, \beta, K, \mu, \nu)$ остановки n -й частицы будем использовать функцию “root” численного решения уравнений:

$$\begin{aligned} \tau &:= 0.7 \\ \tau_o(n, \alpha, \beta, K, \mu, \nu) &:= \operatorname{root}(f(n, \alpha, \beta, K, \mu, \nu, \tau), \tau), \end{aligned} \quad (19)$$

где $\tau := 0.7$ – начальное значение неизвестной, уточняемое численным методом, причем значения параметров $\alpha, \beta, K, \mu, \nu$ передаются в правую часть функции путем их численного задания в скобках левой части соотношения (19).

Для нахождения значения отскока (x_{\max}) n -й частицы перепишем формулу (17) также в виде функции, в правой части которой вместо параметра τ будем использовать выражение $\tau_o(n, \alpha, \beta, K, \mu, \nu)$, соответствующее времени остановки частицы при заданном наборе параметров. Разумеется, такая структура формулы будет работоспособной, если ей будут предшествовать полные записи соотношений (18), (19) (вместе с начальным значением $\tau = 0.7$).

$$\begin{aligned} x_{\max}(n, \alpha, \beta, K, \mu, \nu) &:= \frac{\cos \beta - \nu \sin \beta}{1 + \mu} \left[\sqrt{1 - \left(\frac{\pi}{K} \cdot \frac{1 - R_n}{1 + R_n} \cdot \frac{\sin \alpha + \nu \cos \alpha}{\cos \beta - \nu \sin \beta} \right)^2} - \right. \\ &\quad \left. - \sin(2\pi\tau_o(n, \alpha, \beta, K, \mu, \nu)) \right] + \frac{2\pi^2}{K} \cdot \frac{\sin \alpha + \nu \cos \alpha}{1 + \mu} \left[\tau_o(n, \alpha, \beta, K, \mu, \nu) - \right. \\ &\quad \left. - \frac{1}{2\pi} \operatorname{acos} \left(\frac{\pi}{K} \cdot \frac{1 - R_n}{1 + R_n} \cdot \frac{\sin \alpha + \nu \cos \alpha}{\cos \beta - \nu \sin \beta} \right) \right] \left[1 - \tau_o(n, \alpha, \beta, K, \mu, \nu) + \right. \\ &\quad \left. + \frac{1}{2\pi} \operatorname{acos} \left(\frac{\pi}{K} \cdot \frac{1 - R_n}{1 + R_n} \cdot \frac{\sin \alpha + \nu \cos \alpha}{\cos \beta - \nu \sin \beta} \right) \right] \quad (20) \end{aligned}$$

Теперь для определения среднего значения (X) и дисперсии (D) размаха (x_{\max}) колебаний частиц на поверхности малогабаритной деки можно применить стандартные формулы:

$$X(\alpha, \beta, K) := \frac{1}{\text{cols}(M)} \sum_{n=1}^{\text{cols}(M)} x_{\max}(n, \alpha, \beta, K, \mu_0, \nu_0), \quad (21)$$

$$D(\alpha, \beta, K) := \frac{1}{\text{cols}(M)} \sum_{n=1}^{\text{cols}(M)} (x_{\max}(n, \alpha, \beta, K, \mu_0, \nu_0) - X(\alpha, \beta, K))^2, \quad (22)$$

где μ_0, ν_0 – характерные для данной смеси значения параметров μ, ν (в расчетах принималось $\mu_0 = 0,2, \nu_0 = 0,02$).

В таком виде формулы (21), (22) представляют собой зависимости указанных выше величин (среднего и дисперсии) от параметров работы сепаратора: угла наклона деки – α ; угла направленности колебаний – β ; коэффициента кинематического режима – K .

Расчеты показывают, что зависимости среднего значения (21) показателя x_{\max} от параметров α, β, K для выборки качественно повторяют те же зависимости для единичной частицы [3], что и следовало ожидать.

Наибольший же интерес вызывает изменение дисперсии D (22) от тех же параметров, так как разделяющая способность сепаратора непосредственно связана с дисперсией: чем она больше, тем больше разделяющая способность. Результаты расчета упомянутой дисперсии с использованием формул (21), (22) проиллюстрированы графиками (рис.2).

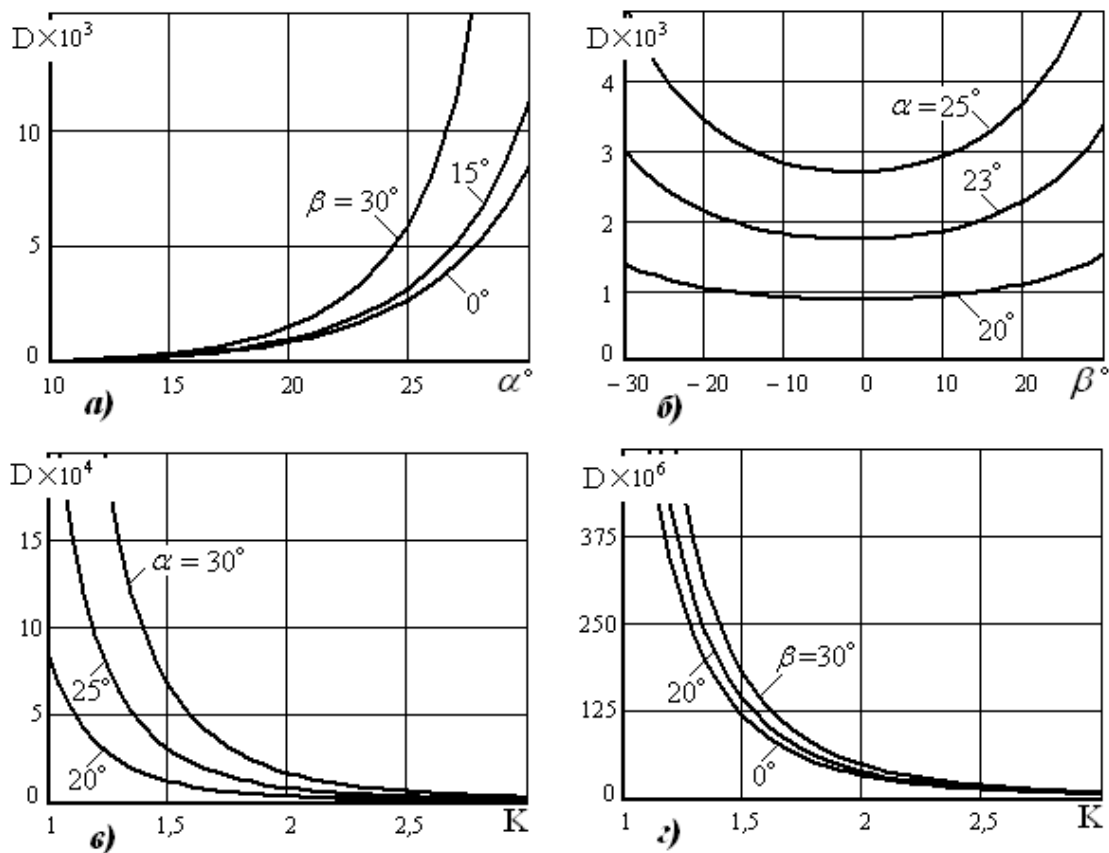


Рис. 2 – Зависимость дисперсии размаха x_{\max} колебаний частицы по деке сепаратора от:
 а) угла наклона деки при $K = 1$; б) угла направленности колебаний при $K = 1$;
 в, г) коэффициента кинематического режима при $\beta = 0^\circ$ (в) и $\alpha = 20^\circ$ (г)

С увеличением угла α наклона деки дисперсия D возрастает (рис.2а). Это объясняется повышением интенсивности ударного взаимодействия частиц с отражателем и, следовательно, повышением роли влияния упругости частиц на их движение. Упругость же отличается для различных частиц, что характеризуется разбросом коэффициента R восстановления скорости при ударе (рис.1, строка 1). Напротив, при уменьшении угла наклона деки до нуля происходит движение частиц по поверхности деки без соударения с отражателем. В этом случае перемещение частиц не зависит от упругости и они совершают движение (при равных значениях показателей μ, ν) по одинаковым траекториям, что устраняет разброс значений размаха колебаний x_{\max} ($D = 0$).

В работах [3, 4] показано, что увеличение интенсивности колебаний деки приводит к уравниванию траекторий движения частиц с различными физико-механическими свойствами так, что с ростом коэффициента кинематического режима K (при $K \rightarrow \infty$) размах колебаний x_{\max} для всех частиц приближается к одному и тому же значению и разделяющая способность сепаратора теряется. Однако проведенные расчеты (рис.2 в, г) позволяют увидеть насколько стремительно падает разброс значений x_{\max} , характеризующий разделяющую способность. Например, легко подсчитать (22), что для рассматриваемой зерновой смеси $D(\pi/6, 0, 1) = 8,421 \times 10^{-3}$, а $D(\pi/6, 0, 1.5) = 6,854 \times 10^{-4}$, то есть, при $\alpha = 30^\circ$ и $\beta = 0$ увеличение коэффициента K всего лишь на 0,5 (от 1 до 1,5) приводит к уменьшению дисперсии критерия x_{\max} более, чем в 12 раз!

Наименьшее влияние на разделяющую способность оказывает отклонение угла направленности колебаний β от нулевого значения: с увеличением указанного отклонения дисперсия D растет (обращаем внимание на трехкратное различие шкал на рис.2а и рис.2б). Это объясняется тем, что составляющая ($A \cos \beta$) амплитуды колебаний деки в плоскости движения частиц уменьшается с ростом абсолютного значения угла β , что равносильно уменьшению интенсивности колебаний и, следовательно, увеличению дисперсии (рис.2 в, г).

Выводы. Наибольшее влияние на разделяющую способность вибросепаратора с малогабаритными деками оказывают угол α поперечного наклона деки и интенсивность ее колебаний. При этом разделяющая способность растет с увеличением угла α и уменьшением коэффициента кинематического режима K .

При малых значениях угла α (близких к нулю) и больших значениях коэффициента K ($K > 2$) разделение смесей становится практически невозможным, так как разделяющая способность сепаратора существенно снижается.

С увеличением отклонения угла β направленности колебаний от нулевого значения разделяющая способность сепаратора повышается незначительно.

Учитывая вышеизложенное, а также то, что для технологически приемлемого режима движения частиц на параметры α, β, K накладываются

ограничения [4], можно предположить, что наилучший результат разделения зерновых смесей будет наблюдаться при значениях коэффициента K , близких к единице и наибольших значениях углов α и β , допускаемых ограничениями.

Список использованных источников

1. Завгородний А.И., Обыхвост А.В. Периодический режим движения частиц по деке вибросепаратора // Вибрации в технике и технологиях: Всеукраинский научно-технический журнал. – Харьков. ХНТУСХ. 17-18 жовтня 2003. – Вып.6. – С.43.
2. Завгородний А.И., Обыхвист А.В., Тарасенко Д.В. Уравнения периодического виброударного движения сферической частицы по деке вибросепаратора. “Сучасні напрямки технології та механізації процесів переробних та харчових виробництв”: Вісник ХНТУСГ імені Петра Василенка, Вип.88.– Харків, 2009.– С.62-70.
3. Завгородний А.И., Обыхвост А.В., Тарасенко Д.В. Анализ периодического движения частиц по деке вибросепаратора. “Технічні, сільськогосподарські та економічні науки”: Вісник ХНАУ імені В.В.Докучаєва, №12(2).– Харків, 2009.– С.3-9.
4. Завгородний А.И., Романюк Г.С., Шептур А.А., Обыхвост А.В. Обеспечение технологического режима движения сферической частицы по деке вибросепаратора. “Механізація сільськогосподарського виробництва”: Вісник ХНТУСГ імені Петра Василенка, Т.1, Вип.93.– Харків, 2010.– С.205-214.

Аннотация

О РОЗПОДІЛЯЮЩЕЙ СПОСІБНОСТІ ВІБРОСЕПАРАТОРА З МАЛОГАБАРИТНИМИ ДЕКАМИ

Завгородній О.І., Романюк Г.С., Обихвіст О.В.

Досліджено вплив параметрів роботи вибросепаратора на розсіювання значень розмаху коливань частинок на робочих поверхнях дек, який є ознакою розподілу зернових сумішей на малогабаритних деках.

Abstract

ABOUT DIVIDING ABILITY OF MACHINES WITH VARYING SMALL-SIZED WORKING BODIES IN

A. Zavgorodniy, G. Romanuk, A. Obihvist

The influence of parameters of work of the machine for processing a grain on dispersion of meanings of scope of fluctuations of particles on working surfaces is investigated which serves an attribute of division of grain mixes on small-sized working bodies.