

УДК 629.4.048.7

## Результаты исследования процесса взаимодействия рабочих плоскостей виброочистительной машины и воздушной среды

В.М.Лукияненко, А.О.Никифоров

*Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства им.П.Василенко, (г. Харьков, Украина)*

Рассмотрены результаты исследования процесса взаимодействия рабочих плоскостей виброочистительной машины и воздушной среды

**Ключевые слова:** сепарация, очистка, рабочая плоскость, вибрация, колебание, движение, фракция, моделирование, семена, частица

**Постановка проблемы.** На сегодня существует много технологий очистки семян сельскохозяйственных культур, которые позволяют получать удовлетворительную степень очистки при относительно быстрой обработке урожая. Степень очистки урожая зависит от того, насколько выбранный способ очистки соответствует физико-механическим свойствам культуры.

Способ очистки зерновых смесей, различных видов семян от мусора и других примесей, который использует принцип разделения посредством использования шероховатых вибрирующих поверхностей, обеспечивает высокие показатели чистоты конечного продукта. Указанный метод, для некоторых культур, является единственным возможным методом эффективной механизированной очистки урожая.

Например, это касается таких культур как, табака, махорки, березы с соответствующими примесями мусора. Но повышенные аэродинамические характеристики семян этих видов культур усложняют процесс очистки и снижают его эффективность. При попытке увеличить производительность работы вибрационных семяочистительных машин за счет использования пакетов синхронно вибрирующих поверхностей, между ними возникает воздушный поток, который сдувает часть очищаемой массы. Это приводит к росту потерь урожая.

**Цель.** С целью повышения эффективности очистки на вибрационных семяочистительных машинах зерновых смесей, чувствительных к действию воздушного потока, необходимо усовершенствовать методику прогнозирования параметров рабочего процесса для данного класса машин в направлении учета процессов их взаимодействия с воздухом и взаимодействия воздушного потока с массой семян, которая очищается.

**Результаты исследований.** Колебания рабочих поверхностей сепаратора сопровождаются явлением их взаимодействия с воздушной средой, в результате которого в зазоре между указанными поверхностями возникает воздушный поток. Он может быть одной из причин искажения процесса вибросепарации. Вследствие этого имеется необходимость учета взаимодействия частицы, движущейся по вибрирующей плоскости, с окружающей ее средой. Области изменения параметров, в которых допустимо пренебрежение влиянием сопротивления воздуха на движение частицы приведены в работе [1, 2]. На рис. 1 приведены области изменения параметров, в которых допустимо пренебрежение сопротивлением воздуха в предположении, что сила его сопротивления не превышает 5 и 10 % силы сухого трения. Сопротивление воздуха следует учитывать при виброперемещении для частиц с эквивалентным диаметром 1,7 мм и меньше для коэффициента трения  $f = 0,3$  и в пятипроцентном отношении силы сопротивления воздуха к силе сухого трения ( $\Delta = 5\%$ ). При десятипроцентном отношении силы сопротивления воздуха к силе сухого трения и том же коэффициенте трения, равным 0,3, сопротивление воздуха, необходимо учитывать для частиц с эквивалентным диаметром 0,9 мм и меньше. С ростом коэффициента трения уменьшается значение эквивалентного диаметра, при котором можно пренебречь сопротивлением воздуха в процессе виброперемещения по плоскости.

В частности, для семени табака, имеющего эквивалентный диаметр не более 0,8 мм, коэффициент трения 0,3 и плотность равную  $1 \text{ г/см}^3$ , а также скорость виброперемещения рабочего органа  $A \times \omega = 240 \text{ см/с}$ , при перемещении по вибрирующей плоскости учет сопротивления воздушной среды является очень важным (см. рис. 1).

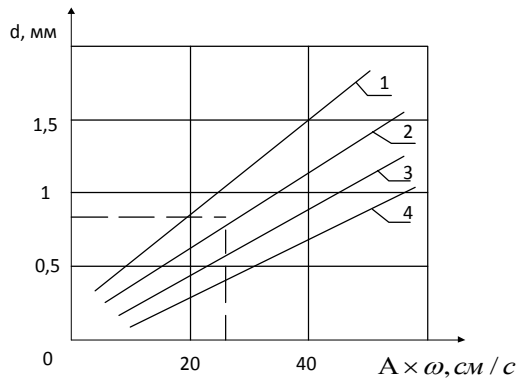


Рис. 1 Области изменения параметров, в которых допустимо пренебрегать влиянием сопротивления воздуха на движение частицы:  
1 -  $f = 0,3$ ;  $\Delta = 5\%$ ; 2 -  $f = 0,4$ ;  $\Delta = 5\%$ ;  
3 -  $f = 0,3$ ;  $\Delta = 10\%$ ; 4 -  $f = 0,4$ ;  $\Delta = 10\%$

В работе [3] получены теоретические зависимости для исследования движения воздуха между плоскостями, возмущенного их колебаниями. Закон колебаний плоскостей применялся, как и в нашем случае, линейным:

$$\dot{X} = a_0 \cdot \cos \omega \cdot t; \dot{Y} = b_0 \cdot \sin \omega \cdot t \quad (1)$$

где  $a_0 = A_0 \cdot \cos \beta \cdot \omega$ ,  $b_0 = B_0 \cdot \cos \beta \cdot \omega$ ;  $A_0$  - амплитуда колебаний;  $\omega$  - частота колебаний плоскостей;  $\beta$  - угол направленности колебаний.

Продольную составляющую скорости  $V = \dot{X}$  в абсолютной системе координат  $XOY$  предложено принимать в виде двух составляющих: стационарной -  $U$  и пульсирующей -  $U^1$ . Для стационарной составляющей получено следующее выражение:

$$U = \frac{k}{\nu} \cdot y + \frac{b_0}{2\nu} (DChn_1 y + EChn_2 y), \quad (2)$$

Здесь:

$$n_{1,2} = \frac{\sqrt{b_0^2 \pm \sqrt{b_0^4 - 16\nu^2 \omega^2}}}{2\nu}$$

$$D = \frac{Ba_0 - \frac{b_0 k}{\nu \omega}}{(B-A)Ch(n_1 \frac{h}{2})}; E = \frac{Aa_0 - \frac{b_0 k}{\nu \omega}}{(A-B)Ch(n_2 \frac{h}{2})} \quad (3)$$

$$A = \frac{n_1 \nu}{\omega} - \frac{b_0^2}{2\omega \nu}; B = \frac{n_2 \nu}{\omega} - \frac{b_0}{2\omega \nu};$$

$$K = \frac{a_0 b_0 k_1}{hn_1 n_2 (A-B) Chn_1 \frac{h}{2} Chn_2 \frac{h}{2} - \frac{b_0^2}{\omega \nu} k_2}$$

$$k_1 = n_2 B Shn_1 \frac{h}{2} Chn_2 \frac{h}{2} - n_1 A Shn_2 \frac{h}{2} Chn_1 \frac{h}{2} \quad (4)$$

$$k_2 = n_1 Chn_1 \frac{h}{2} Shn_2 \frac{h}{2} - n_2 Chn_2 \frac{h}{2} Shn_1 \frac{h}{2}$$

Пульсирующая составляющая определяется в виде тригонометрического ряда:

$$U^1 = \sum_{n \neq 1}^{\infty} (a_n \cos n\omega t + b_n \sin n\omega t) \quad (5)$$

Для определения коэффициентов этого ряда приводится система 2l дифференциальных уравнений ( $n = 1, 2, 3, \dots, l$ ).

Для первого приближения

$$U^1 \cong a_1 \cos 1\omega \cdot t + b_1 \sin 1\omega \cdot t \quad (6)$$

показана возможность получения коэффициентов  $a_1$  и  $b_1$  в замкнутом виде. С учетом значений постоянных интегрирования для дифференциального уравнения четвертого порядка после некоторых преобразований выражение для  $a_1$  можно записать так:

$$a_1 = DChn_1 y + EChn_2 y \quad (7)$$

для определения  $b_1$  имеем уравнение:

$$b_1 \omega + \frac{b_0}{\nu} (k + \frac{b_0 a_1}{2}) + \frac{b_0}{2} \frac{\alpha a_2}{\alpha y} = \nu \frac{d^2 a_1}{dy^2}.$$

Принимая в нем  $a_2 = 0$  в силу допущения о первом приближении и подставляя сюда выражение для коэффициента и его второй производной, получим:

$$b_1 = ADChn_1 y + BEChn_2 y - \frac{b_0 k}{\nu \omega}. \quad (8)$$

Примем далее, что  $y = \frac{h}{2}$ , тогда:

$$b_1 = \frac{\nu}{\omega} (n_1^2 \frac{Ba_0 - \frac{b_0 k}{\nu \omega}}{B-A} + n_2^2 \frac{Aa_0 - \frac{b_0 k}{\nu \omega}}{A-B}) - \frac{b_0^2}{2\nu \omega} (\frac{Ba_0 - \frac{b_0 k}{\nu \omega}}{B-A} + \frac{Aa_0 - \frac{b_0 k}{\nu \omega}}{A-B}) - \frac{b_0 k}{\nu \omega} =$$

$$= \frac{\nu}{\omega(B-A)} (n_1^2 Ba_0 - n_1^2 \frac{b_0 k}{\nu \omega} - n_2^2 Aa_0 + n_2^2 \frac{b_0 k}{\nu \omega}) - (9)$$

$$- \frac{b_0^2 a_0}{2\nu \omega} - \frac{b_0 k}{\nu \omega} = \frac{1}{n_2^2 - n_1^2} (\frac{a_0 b_0^2}{2\nu \omega} (n_2^2 - n_1^2) +$$

$$+ \frac{b_0 k}{\nu \omega} (n_2^2 - n_1^2)) - \frac{b_0^2 a_0}{2\nu \omega} - \frac{b_0 k}{\nu \omega} = 0$$

Для  $a_1$  аналогично найдем:

$$\begin{aligned}
 a_1 &= \frac{Ba_0 - \frac{b_0k}{v\omega}}{(B-A)Chn_1 \frac{h}{2}} + \frac{Aa_0 - \frac{b_0k}{v\omega}}{(A-B)Chn_2 \frac{h}{2}} \\
 &= \frac{Ba_0 - \frac{b_0k}{v\omega}}{B-A} + \frac{Aa_0 - \frac{b_0k}{v\omega}}{A-B} = \\
 &= \frac{-Ba_0 + \frac{b_0k}{v\omega} + Aa_0 - \frac{b_0k}{v\omega}}{A-B} = \frac{a_0(A-B)}{A-B} = a_0
 \end{aligned} \quad (10)$$

Таким образом коэффициенты  $a_1$  и  $b_1$  отвечают граничным условиям [4]:

$$\frac{a_1}{y} = \pm \frac{h}{2} = a_0; \quad \frac{a_1}{y} = \pm \frac{h}{2} = 0 \quad (11)$$

Результаты работы [3] послужили основой для численного анализа стационарной составляющей воздушного потока. На рис. 2 приведен график распределения стационарной составляющей скорости потока воздуха между вибрирующими плоскостями, установленными с зазором  $h$  между ними [4].

Скорость воздуха имеет нулевое значение в середине зазора между плоскостями и увеличивается с противоположным знаком от нулевой линии к плоскостям, на поверхности которых она снова становится равной нулю.

Стационарная составляющая дает представление о движении воздуха между плоскостями "в среднем". Однако представляется особо важным движение потока воздуха в каждый отдельный момент времени.

Во-первых, в средней полосе зазора стационарная составляющая скорости воздушного потока равна или близка к нулю и для частиц, подпрыгивающих на указанную высоту. В отличие от стационарной, пульсирующая составляющая скорости в этой полосе будет иметь существенное значение. В пользу этого можно указать следующее обстоятельство: при свободном падении тело находится в верхней части траектории дольше, чем в нижней. Так, например, падение тела на половину некоторой высоты  $\frac{H}{2}$  и всю высоту  $H$  происходит соответственно за время:

$$t_{\frac{H}{2}} = \sqrt{\frac{H}{g}}; \quad t_H = \sqrt{\frac{2H}{g}} \quad (12)$$

Следовательно:

$$\frac{t_{\frac{H}{2}}}{t_H - t_{\frac{H}{2}}} = 2,41 \quad (13)$$

То есть, в верхней части траектории частица находится почти в два с половиной раза дольше, чем в нижней. Частица при этом быстро проходит участок траектории, где стационарная составляющая скорости воздушного потока принимает наибольшее значение и основное время полета находится на участке, где указанная составляющая близка или равна нулю.

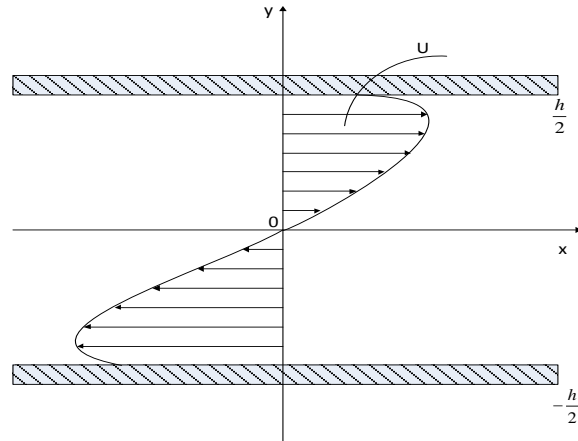


Рис. 2 Распределение стационарной составляющей скорости воздуха в зависимости от  $h$

Во-вторых, частицы с различными физико-механическими свойствами имеют различные фазы удара о плоскость в силу чего траектории их полета имеют сдвиг во времени. За указанное время пульсирующая составляющая может не только уменьшиться (увеличиться) по величине, но и измениться по направлению. Это приводит к тому желательному эффекту, когда воздух оказывает на разделяемые фракции противоположное влияние.

Это влияние, незначительное с первого взгляда за один цикл колебаний, может оказаться существенным за время полного пребывания частицы на рабочей поверхности.

**Выводы.** Таким образом, нельзя оценивать влияние воздушного потока на процесс сепарации только по виду и величине стационарной составляющей. Как следует из изложенного, роль пульсирующей составляющей может оказаться для разделения семенной смеси решающей. Исходя из этого, исследование и математическое моделирование физических процессов течения воздуха в плоском, совершающем гармонические колебания канале, являются актуальными и представляют несомненным практический интерес. По мнению авторов, перспективным научным направлением для прове-

дения такого рода исследований является направление моделирования воздушных течений с использованием теоретических основ механики сплошной среды.

Результаты, изложенные в данной статье, целесообразно использовать для выбора исходных расчётных схем и диапазонов параметров исследуемых процессов при проведении перспективных исследований и моделировании процессов виброочистки с учётом влияния движения воздуха.

#### Литература

1. Азбель Г.Г. Вибрации в технике: – Справочник в шести томах / Г.Г. Азбель, И.И. Блехман, И.И. Быховский. – М.: Машиностроение, 1981, т. 4 – 509 с.

2. Блехман Н.Н. Вибрационное перемещение / Н.Н. Блехман, Г.Ю. Дженалидзе. – М.: Наука, 1964. – 410 с.

3. Гольдин А.В. О влиянии воздушной среды на процесс вибрационного перемещения сыпучего материала / А.В. Гольдин // Динамика, прочность и надёжность тракторов и сельскохозяйственных машин машин. Сб. научн. трудов МИИСП, – М., 1976, – С. 78 - 83.

4. Заика П.М. Определение стационарной составляющей скорости воздушного потока между рабочими поверхностями многодекового вибросепаратора / П.М. Заика, В.Я. Ильин // Применение новейших математических методов и вычислительной техники в решении инженерных задач. Сб. научн. трудов МИИСП, 1978, Т. XV, Вып. 10, – С. 54 - 58.

#### Анотація

### Результати дослідження процесу взаємодії робочих площин віброочистительної машини і повітряного середовища

В.М.Лук'яненко, А.О.Нікіфоров

*Розглянуто результати дослідження процесу взаємодії робочих площин віброочистительної машини і повітряного середовища*

**Ключові слова:** сепарація, очищення, робоча площина, вібрація, коливання, рух, фракція, моделювання, насіння, частинка

#### Abstract

### Results of interaction working plane vibrocleansing machines and air environment

V.M.Lukyanenko, A.O.Nikiforov

*Reviewed results of the study of the interaction between work planes of vibrocleansing machines and air pollution*

**Keywords:** separation, cleaning, working plane, Vibration, movement, faction, modeling, seeds, particle

Представлено: В.И.Мельник / Presented by: V.I.Mel'nik

Рецензент: В.Н.Бакум / Reviewer: V.N.Bakum

Подано до редакції / Received: 06.12.2014