

ПНЕВМАТИЧЕСКИЙ СЕПАРАТОР ДЛЯ ОЧИСТКИ И СОРТИРОВАНИЯ СЕМЯН ОВОЩНЫХ КУЛЬТУР

Николай Бакум, Николай Крекот, Василий Ольшанский, Николай Винокуров
Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства
имени Петра Василенко

Ул. Артема 44, Харьков, Украина. E-mail: khstua@lin.com.ua

Nickolay Bakum, Nickolay Krekot, Vasily Olshansky, Nickolay Vinokurov
Kharkov national technical university of agriculture of the named after Petr Vasilenko
St. Artem 44, Kharkiv, Ukraine. E-mail: khstua@lin.com.ua

Аннотация. Получено аналитическое решение упрощенных нелинейных дифференциальных уравнений движения материальной точки в плоском наклонном канале пневматического сепаратора. Приведены результаты лабораторных и производственных испытаний пневматического сепаратора с наклонным воздушным каналом.

Ключевые слова: движение частицы, дифференциальные уравнения, пневматический сепаратор, наклонный воздушный канал, семена, семенная смесь, очистка, сортирование.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Одним из основных факторов получения сельскохозяйственной продукции низкой себестоимости является использование высококачественного посевного материала. При механизированном обмолоте семенников в основную фракцию выделяется как полноценные так и незрелые семена основной культуры, а также значительное количество коробочек соцветий, долек стеблей, минеральных примесей различного фракционного состава и семян сорняков. Такой материал имеет низкую сыпучесть, повышенную влажность, что ухудшает процесс разделения на сепараторах с решетными, триерными или специальными (вибрационные шероховатые плоскости) рабочими поверхностями. Кроме того повышенная влажность приводит к потерям посевных свойств семян при хранении, что требует предварительной очистки или сушки семенного вороха. Поэтому разработка конструкций сепараторов способных эффективно разделять такие смеси является актуальной задачей для овощеводства [1, 7, 11, 15].

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Широко используются в машинах для послеуборочной обработки семенного материала воздушные очистки с вертикальным сепарирующим каналом [6, 16]. Основной задачей которую решают такие сепараторы является отделение легких примесей. Их широкое использование на производстве подтверждает эффективность на предварительной очистки семенных смесей зерновых культур [1]. Мелкосеменные смеси имеют незначительные отличия аэродинамических свойств их компонентов поэтому разделение таких смесей в вертикальных воздушных каналах малоэффективно. На кафедре сельскохозяйственных машин ХНТУСХ имени Петра Василенко разработан модернизированный пневматический сепаратор с наклонным пневматическим каналом и регулируемой его шириной, в котором разделение компонентов происходит в сопутствующем воздушном потоке неравномерном по высоте канала [2, 3]. Результатами лабораторных и производственных исследований подтверждена его эффективность на очистке и сортировании многих сельскохозяйственных культур [4, 5, 8].

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Исследовать влияние основных параметров на движение частиц в сопутствующем воздушном потоке и эффективность использования модернизированного пневматического сепаратора с наклонным пневматическим каналом и регулируемой его шириной в котором скорость воздушного потока неравномерна по высоте канала для очистки и сортирования семенных смесей овощных культур.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Рассмотрим плоский воздушный канал у которого верхняя и нижняя стенки наклонены к горизонту под углом α , а расстояние между ними равняется h . Скорость восходящего воздушного потока \vec{V} параллельная стенкам канала и является постоянной величиной.

В повернутой на угол α прямоугольной системе координат, приведенной на рис. 1, движение частицы, как материальной точки, описывается системой дифференциальных уравнений:

$$\begin{aligned} \ddot{x} - k(V - \dot{x})\sqrt{(V - \dot{x})^2 + \dot{y}^2} &= -g_1 = -g \sin \alpha, \\ \ddot{y} + k\dot{y}\sqrt{(V - \dot{x})^2 + \dot{y}^2} &= g_2 = g \cos \alpha, \end{aligned} \quad (1)$$

где: g – ускорение свободного падения; k – коэффициент парусности частиц, связанный со скоростью ее витания \mathcal{G}_n соотношением:

$$k = g\mathcal{G}_n^{-2}. \quad (2)$$

Точкой над символами обозначены производные по времени t .

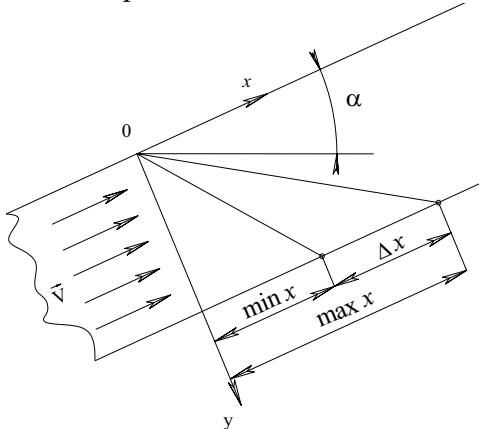


Рис. 1. Расчетная схема
Fig 1. Calculation scheme

При записи уравнений (1) силу взаимодействия частицы с воздушным потоком приняли пропорциональной квадрату ее относительной скорости.

Исходными условиями к уравнениям (1) принимаем:

$$x(0) = y(0) = 0; \dot{x}(0) = \mathcal{G}_1; \dot{y}(0) = \mathcal{G}_2, \quad (3)$$

где: \mathcal{G}_1 и \mathcal{G}_2 – проекции начальной скорости частицы, с которой она попадает в канал.

Дальше упростим систему уравнений (1). Учитывая, что в канале $\dot{y}^2 \ll (V - \dot{x})^2$ систему уравнений (1) запишем в упрощенном виде:

$$\begin{aligned} \ddot{x} - k(V - \dot{x})^2 &= -g_1, \\ \ddot{y} + k\dot{y}(V - \dot{x}) &= g_2. \end{aligned} \quad (4)$$

Интегралы первого уравнения системы (4), с учетом (3), имеют вид:

$$\dot{x}(t) = V - \mathcal{G}^* \frac{\exp(2k\mathcal{G}^*t) + c}{\exp(2k\mathcal{G}^*t) - c}, \quad (5)$$

$$x(t) = (V + \mathcal{G}^*) \cdot t - \frac{1}{k} \ln \frac{\exp(2k\mathcal{G}^*t) - c}{1 - c},$$

$$\text{где: } \mathcal{G}^* = \sqrt{\frac{g \sin \alpha}{k}}; c = \frac{V - \mathcal{G}_1 - \mathcal{G}^*}{V - \mathcal{G}_1 + \mathcal{G}^*}.$$

Интегрирование второго уравнения системы (4), с учетом исходных условий (3), позволяет получить формулы для определения скорости и перемещения в виде:

$$\dot{y}(t) = \frac{1}{\exp(2k\mathcal{G}^*t) - c} \cdot \left\{ \left[\mathcal{G}_2(1 - c) - \frac{g_2(1 + c)}{k\mathcal{G}^*} \right] \exp(k\mathcal{G}^*t) + \left[+ \frac{g_2}{k\mathcal{G}^*} [\exp(2k\mathcal{G}^*t) + c] \right] \right\},$$

$$y(t) = A \cdot \ln \frac{\exp(k\mathcal{G}^*t) - \sqrt{c}}{1 - \sqrt{c}} + B \cdot \ln \frac{\exp(k\mathcal{G}^*t) + \sqrt{c}}{1 + \sqrt{c}} + Dt, \quad (6)$$

$$\text{где: } A = \frac{(1 - \sqrt{c})^2}{2\sqrt{c}(k\mathcal{G}^*)^2} \left[\frac{1 + \sqrt{c}}{1 - \sqrt{c}} k\mathcal{G}^* \mathcal{G}_2 - g_2 \right],$$

$$B = \frac{(1 + \sqrt{c})^2}{2\sqrt{c}(k\mathcal{G}^*)^2} \left[g_2 - \frac{1 - \sqrt{c}}{1 + \sqrt{c}} k\mathcal{G}^* \mathcal{G}_2 \right],$$

$$D = -\frac{g_2}{k\mathcal{G}^*}.$$

Для расчетов дальности полета частиц вдоль канала и определения разделяющей способности необходимо знать время полета t_n , которое является корнем трансцендентного уравнения:

$$y(t_n) = h.$$

Этот корень с заданной точностью можно находить методом Ньютона по формуле:

$$t_{i+1} = t_i - \frac{y(t_i) - h}{\dot{y}(t_i)}; i = 0, 1, 2, \dots, \quad (7)$$

где: $y(t)$ и $\dot{y}(t)$ определяются за уравнениями (6).

При выборе начального приближения t_0

необходимо учитывать неравенство:

$$t_* < t_0 < t^* \quad (8)$$

К нижней границе:

$$t_* = \sqrt{\left(\frac{g_2}{g_2}\right)^2 + \frac{2h}{g_2} - \frac{g_2}{g_2}}$$

приводит решение дифференциального уравнения:

$$\ddot{y} = g_2,$$

которое удовлетворяет условиям (3).

Верхняя граница t^* определяется из решения задачи Коши для дифференциального уравнения:

$$\ddot{y} + \beta \dot{y} = g_2,$$

где: $\beta = k(V - g_1)$.

Таким решением является:

$$y(t) = \frac{1}{\beta} \left\{ \left(g_2 - \frac{g_2}{\beta} \right) \cdot [1 - \exp(-\beta t)] + g_2 t \right\}.$$

Равенство $y(t^*) = h$ преобразуется в трансцендентное уравнение вида:

$$Z \exp(-Z) = \exp(a), \quad (9)$$

где: $Z = \left(1 - \frac{\beta g_2}{g_2} \right) \exp(-\beta t^*),$

$$a = \ln \left(1 - \frac{\beta g_2}{g_2} \right) - \frac{\beta}{g_2} (\beta h - g_2) - 1.$$

Решение уравнения (9) выражается через специальную функцию Ламберта $W(\eta)$ [12, 13], что приводит к формуле:

$$t^* = \frac{1}{\beta} \ln \frac{\beta g_2 - g_2}{g_2 W[-\exp(a)]}.$$

Значение функции Ламберта отрицательного аргумента можно находить методом линейной интерполяции за таблицей, приведенной в монографии [14, ст. 192].

Задавая t_0 в пределах (8) получаем быструю сходимость итераций за формулой (7). Определив таким способом, с заданной точностью $t_n = t_{i+1}$, это значение t необходимо подставить в формулу (5) и определить дальность полета частиц вдоль канала.

Используя изложенную теорию определим влияние угла α на дальность полета частиц и разделяющую способность канала при минимальном и максимальном значениях коэффициента парусности. Учитывая предельные значения скорости витания зерна

пшеницы [15] $\min g_n = 8,5 \text{ м/с}$ $\max g_n = 11,5 \text{ м/с}$

по формуле (2) находим

$$k_1 = \min k = 0,074 \text{ м}^{-1}; \quad k_2 = \max k = 0,136 \text{ м}^{-1}.$$

Скорость воздушного потока V и расстояние между стенками канала h задаем соответственно равными 17 м/с и 0,3 м. Проекция начальной скорости частицы принимаем равными нулю ($(g_1 = g_2 = 0)$). Результаты расчетов при $k = k_1$ приведены в табл. 1.

Табл. 1. Значение $\min x$ при $k = k_1$ и разных α

Table 1. A value of $\min x$ in $k = k_1$ and α different

α , град	g^* , м/с	g_2 , м/с ²	t_* , сек	t^* , сек	t_n , сек	$\min x$, м
20	6,734	9,218	0,255	0,273	0,268	0,530
25	7,485	8,891	0,260	0,277	0,273	0,524
30	8,141	8,496	0,266	0,281	0,279	0,520
35	8,720	8,036	0,273	0,288	0,287	0,523
40	9,231	7,515	0,283	0,303	0,298	0,536
45	9,682	6,937	0,294	0,313	0,311	0,554

Результаты расчетов приведены в табл. 2 получены при $k = k_2$. В таблице кроме $\max x$ приведенные разности $\Delta x = \max x - \min x$, которые характеризуют разделяющую способность канала.

При выполнении расчетов по формуле (7) задавали $t_0 - t^*$ и определяли t_n с погрешностью меньше 10^{-3} с. Для достижения отмеченной точности достаточно двух итераций.

Расчеты показали, что при увеличении угла α растет разделяющая способность канала, но и растет дальность полета частиц, что требует увеличения длины канала.

Табл. 2. Значения $\max x$, при $k = k_2$ и разных α

Table 2. A value of $\max x$ in $k = k_2$ and α different

α , град	g^* , м/с	t^* , сек	t_n , сек	$\max x$, м	Δx , м
20	4,967	0,283	0,276	0,969	0,439
25	5,521	0,288	0,282	0,982	0,458
30	6,006	0,296	0,289	1,001	0,481
35	6,432	0,305	0,298	1,003	0,480
40	6,809	0,317	0,309	1,074	0,538
45	7,142	0,332	0,323	1,134	0,580

ПНЕВМАТИЧЕСКИЙ СЕПАРАТОР ДЛЯ ОЧИСТКИ И СОРТИРОВАНИЯ СЕМЯН ОВОЩНЫХ КУЛЬТУР

Для определения погрешности, которая вносится упрощением исходной системы уравнений (1), выполнено численное интегрирование этой системы при исходных условиях (3). Результаты численного решения задачи Коши приведены в табл. 3.

Сравнение значений $x(t)$ и $y(t)$, полученных двумя методами, показало, что переход от системы уравнений (1) к более простым уравнениям (4) не вносит существенных погрешностей.

Табл. 3. Результаты численного интегрирования системы уравнений (1)
Table 3. The results of numerical integration of the system of equations (1)

α , град	$k = 0,074, м^{-1}$			$k = 0,136, м^{-1}$		
	$x(t)$, с	$x(t)$, м	$y(t)$, м	$x(t)$, с	$x(t)$, м	$y(t)$, м
20	0,268	0,531	0,300	0,276	0,971	0,299
25	0,273	0,525	0,301	0,282	0,984	0,300
30	0,279	0,521	0,299	0,289	1,003	0,300
35	0,287	0,525	0,298	0,298	1,033	0,300
40	0,298	0,537	0,299	0,309	1,075	0,300
45	0,311	0,555	0,300	0,323	1,135	0,300

На основании теоретических исследований обоснованы основные параметры и разработана конструкция сепаратора (рис. 2) который состоит из вентиляторной установки и наклонного воздушного канала соединённых между собой болтами. Вентиляторная установка включает вентилятор высокого давления 1, с входным патрубком 2, который приводится в движение клиноременной передачей от электродвигателя. К выходному патрубку вентилятора присоединена проставка 4 в которой установлены вертикальные жалюзи 3 для выравнивания скорости воздушного потока в поперечном направлении проставки. На выходе проставка имеет размеры, которые отвечают размерам наклонного канала. В проставке 4 расположен механизм регулирования скорости воздушного потока по высоте канала (рис. 2,б) который выполнен в виде набора поворотных пластин 5, закрепленных жестко на осях 29 которые проходят через осевые линии боковин 30 проставки, причем оси закреплены параллельно нижней (верхней) её стенке. Положение каждой пла-

стины 5 (угол ее наклона относительно продольной оси канала) можно регулировать отдельно, вращая соответствующие оси 29. Фиксация положения всех пластин выполняется одновременно прижимными пластинами 28.

Наклонный воздушный канал состоит из сепарирующей камеры 6 в нижней части которой размещены четыре приемника 19, 20, 21 и 23 продуктов разделения. Перегородки 14 между 20 и 21 приемниками, а также 15 между 19 и 20 приемниками выполнены поворотными что дает возможность регулировать их содержимое. В нижней части приемников установлены заслонки и мешкодержатели, которые позволяют закреплять мешки для сбора продуктов разделения каждого приемника отдельно.

К верхней стенке сепарирующей камеры 6 шарнирно закреплен питатель с цилиндрической щеткой 8 и подвижной боковиной 9. К питателю присоединен бункер 11, который в нижней части имеет регулировочную заслонку 10.

К сепарирующей камере 6 присоединен инерционный пылеотделитель 16 с осадочной камерой 17, которая заканчивается фильтровальным пылесборником 18.

Регулирование скорости воздушного потока в сепарирующей камере 6 выполняется изменением ее ширины, перемещением делителя 13, с помощью регулировочных винтов 26, закрепленных в опорах 27, штурвалами 25. Делитель 13 эластичным направлятелем 24 соединяется с выходным патрубком.

Во время работы исходный материал с бункера 11 цилиндрической щеткой 8 питателя подается в наклонный воздушный канал 6 равномерно по всей его ширине. Интенсивный воздушный поток в верхней части канала (скорость воздушного потока выше критической скорости подавляющего большинства компонентов исходного материала) имеет большую транспортирующую способность, за счет чего быстро «разгружается» зона канала у загрузочного окна. Причем большинство легких примесей с большим коэффициентом парусности отделяется

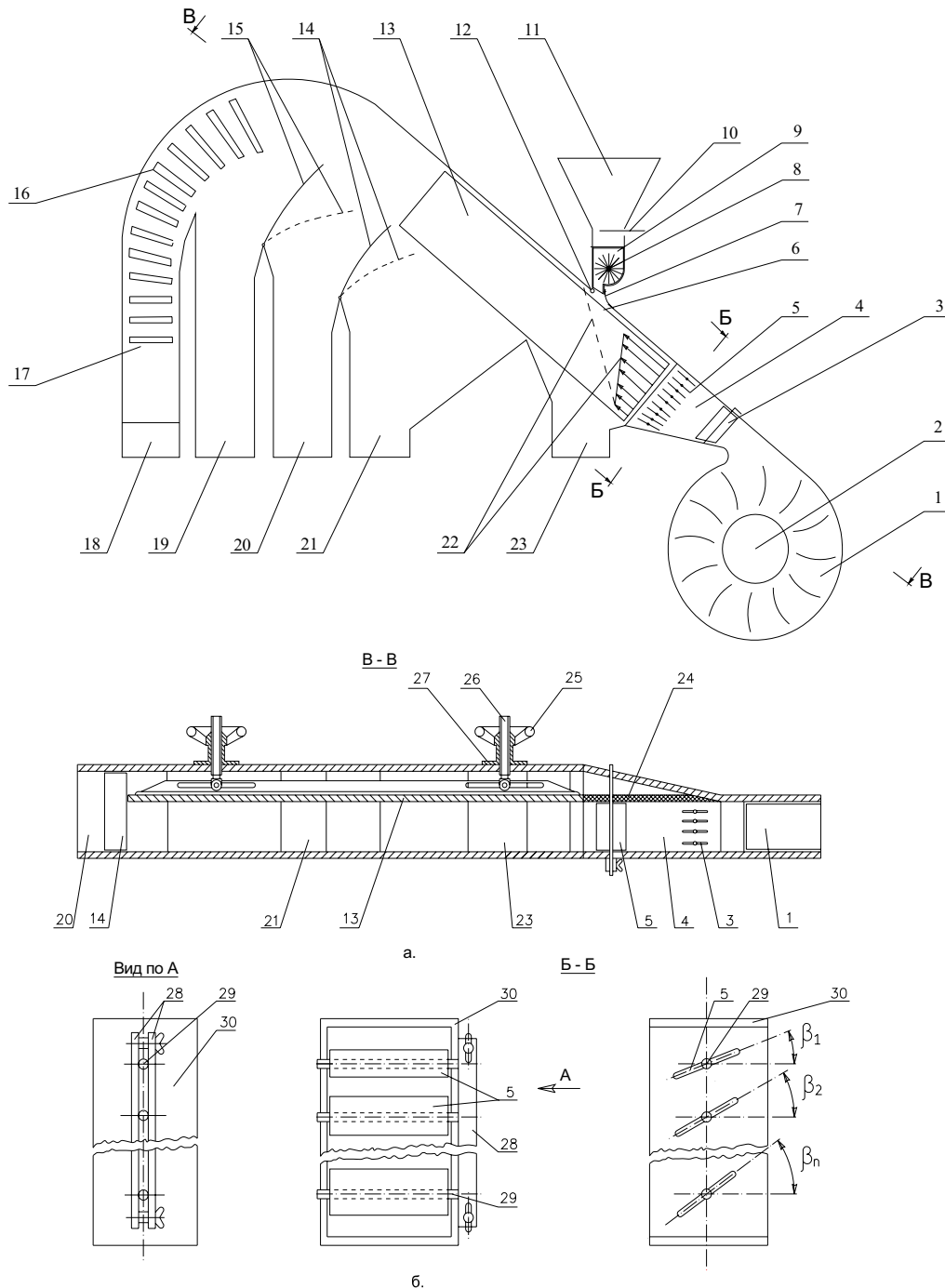


Рис. 2. Схема модернизированного пневматического сепаратора с наклонным воздушным каналом

Fig 2. The scheme of pneumatic separator with angled air channel

в самой верхней части канала и транспортируется вдоль верхней части канала (не могут опуститься, поскольку максимальная скорость воздушного потока находится несколько ниже верхней стенки канала из-за сопротивления стенок канала, смотри вид эпюры 22 скоростей воздуха по высоте канала) в осадочную камеру. Более тяжёлые компоненты исходного материала с меньшими коэффициентами парусности интен-

сивно транспортируются при большей скорости воздуха, которую имеют несколько более низкие слои воздушного потока. Эти слои воздушного потока окончательно выдувают более легкие примеси, которые по каким-то причинам не отделились воздушным потоком на верхних участках воздушного канала. Более тяжелые компоненты под действием гравитационных сил двигаются по криволинейным траекториям и попадают в

ПНЕВМАТИЧЕСКИЙ СЕПАРАТОР ДЛЯ ОЧИСТКИ И СОРТИРОВАНИЯ СЕМЯН ОВОЩНЫХ КУЛЬТУР

нижнюю часть канала, где воздушный поток более умеренный. В таких условиях компоненты материала имеют возможность полнее проявить свои аэродинамические свойства, точнее разделиться по их разнице и поступают в приемнике 19, 20, 21, 23 продуктов разделения. Соотношение масс компонентов в этих приемниках, а следовательно и качество разделения или сортирования, можно регулировать поворотом перегородок 14 и 15. Тяжелые примеси (комочки почвы, камешки, металлические включения и другие) попадают в приемник 23.

Легкие примеси и пыль из осадочной камеры 17 попадают в фильтровальный пылесборник 18.

Лабораторными исследованиями и производственными испытаниями разработанного пневматического сепаратора доказана возможность его использования на предварительной очистке, основной очистке и сортировании семенных смесей овощных культур. Так при предварительной очистке семенной смеси лука сорта Глобус первой репродукции которая содержала семян основной культуры 50,95%, измельченных стеблей и соцветий – 38,32%, минеральных примесей (комочки почвы, песок и пыль) 10,45%, семян сорняков – 0,28% за один пропуск получено из первых двух приемников 48,77% материала посевные свойства которого отвечают требованиям стандарта. Масса 1000 семян этих фракций повысилась до 3,85 г, а энергия прорастания и схожесть семян лука, соответственно, 59,60 и 87,30%. Материал первых двух фракций содержит 11,78% измельченных стеблей и соцветий, 0,78% минеральных примесей, и 0,54% семян сорняков. Целесообразно проводить последующую очистку этих фракций. Из материала третьего приемника в случае острой необходимости можно выделить до 12,42% семян основной культуры с невысокими посевными свойствами. Материал четвертого и пятого приемников содержит большое количество примесей 95,09%, а семена лука (4,77% от массы фракции) имеют очень низкие посевные свойства. Последующую очистку содержимого четвертого и пятого приемников выполнять нецелесообразно.

Семенная смесь моркови сорта Нантская Харьковская первой репродукции содержала семян основной культуры в исходном мате-

риале 24,44%, легких примесей (измельченные стебли и соцветия) – 75,48%, комочков почвы и пыли 0,02%, семян сорняков – 0,06%. При этом семена основной культуры имели такие посевные качества: масса 1000 семян 0,61г, энергия прорастания 11,49%, схожесть 25,91%. За один пропуск через сепаратор в первые два приемника отделилось 62,18% от массы исходного материала содержание семян основной культуры которого превышало 50%, а масса его 1000 семян увеличилась на 0,2г, энергия прорастания на 6%, а схожесть на 11%. В три последние приемники отделилось 37,82% семенной смеси последующая доочистка которой нецелесообразна.

Производительность пневматического сепаратора на предварительной очистке составила около 200 кг/год, что значительно превышает производительность решетных сепараторов.

В качестве машины для основной очистки сепаратор испытывался на доочистке семенной смеси капусты белоголовой сорта Яна первой репродукции исходный материал которой содержал 81,95% семян капусты, измельченных семян основной культуры 0,47%, легких примесей (измельченные стебли и соцветия) – 17,15%, минеральных примесей (комочки почвы и пыль) 0,42%, семян сорняков – 0,01%. За один пропуск семенной смеси капусты белоголовой получили 75,61% (содержание первой фракции) или 85,11% (содержание первых двух фракций), от массы выходного материала очищенных семян капусты. Следует отметить, что в первом случае получим семена капусты не незасоренные семенами сорняков, и дробленными семенами основной культуры, с содержанием небольшого количества легких примесей (0,14% от массы фракции), и комочков почвы 0,17%, а масса 1000 семян и посевные качества наилучшие. Во втором случае получим семена капусты с небольшим содержанием семян сорняков (0,01% от суммарной массы объединенной фракции), и дробленных семян капусты 0,38%. При этом содержание легких примесей и комочков почвы будет составлять соответственно 0,38 и 0,25% от суммарной массы объединенной фракции.

За один пропуск семенной смеси укропа

сорта Харьковский 85 первой репродукции которая содержала семян основной культуры 87,71%, легких примесей (измельченные стебли и соцветия) – 12,23%, семян других культурных растений 24 шт/кг, а семян сорняков – 112 шт/кг получено из первого приемника 78,62%, от массы исходного материала, кондиционного посевного материала у которого содержание основной культуры повысилось до 92,08%, масса 1000 семян до 1,77г, а энергия прорастания и схожесть, соответственно, на 5 и 6%.

Из семенной смеси петрушки сорта Харьковчанка первой репродукции которая содержала семян основной культуры в исходном материале 76,38%, легких примесей – 23,58%, минеральных примесей - 0,02%, семян других культурных растений 20 шт/кг, а семян сорняков – 62 шт/кг можно получить 35,49% (содержание первой фракции) или 52,77% (содержание первых двух фракций), от массы выходного материала очищенных семян петрушки. Следует отметить, что в первом случае получим семена петрушки не засоренные семенами культурных растений, с содержанием небольшого количества легких примесей (0,33% от массы фракции), а масса 1000 семян и посевные качества материала будут наилучшими. Во втором случае получим семена петрушки с небольшим содержанием семян культурных растений 0,01% от суммарной массы объединенной фракции. Посевные качества материала снизятся: масса 1000 семян уменьшится до 1,19 г, энергия прорастания и схожесть, соответственно, составят 43,55 и 69,97 %. Содержание семян сорняков в обоих случаях будет составлять 0,01% от массы фракции, но его качественный состав будет разным. В первом случае семян сорняков 27 шт/кг, во втором семян горчака льняного 39 шт/кг, других сорняков 26 шт/кг. Содержание комочков почвы в обоих случаях будет равным 0,01% от массы фракции.

При дополнительном сортировании семян дыни сорта Криничанка получили из первых двух приемников 87,28%, от массы исходного материала, кондиционных семян дыни. Следует отметить, что в эти фракции отсортировались семена дыни не засоренные примесями и поврежденными семенами культуры. Из исходного материала схожесть

семян основной культуры которого составляло 83,10% (по требованиям стандарта – минимальная 85%) в первые две фракции отсортировались семена схожестью 94,00 и 84,00%.

ВЫВОДЫ

Полученные формулы можно использовать для расчетов параметров полета частиц в каналах пневмосепараторов, а также для определения разделяющей возможности каналов по определенным значениям коэффициентов парусности компонентов сепарируемых семенных смесей.

Лабораторными исследованиями и производственными испытаниями подтверждена высокая эффективность использования разработанного пневматического сепаратора с наклонным воздушным каналом и неравномерным воздушным потоком по его высоте как на предварительной очистке, так и на основной очистке и сортировании семян овощных культур.

ЛИТЕРАТУРА

1. Abdujev M. M. 2007. Obg'runtuvannja parametriv separatora z nahylenym povitranym kanalom dlja rozdilennja zernovyh sumishej: Avtoref. dys. kand. tehn. nauk. – Harkiv, – 21.
2. Bakum M. V., Krekot M. M. 2009. Doslidzhennja vplyvu osnovnyh parametriv pnevmatycznego separatora na jakist' ochyshhennja nasinnja redysky. Sil's'kogospodars'ki mashyny : Zb. nauk. st. Luc'k, Vyp. 18. LNTU, 14-19.
3. Bakum M. V. 2011. Do obg'runtuvannja efektyvnosti vykorystannja pnevmatycznego separatora z nahylenym povitranym kanalom v jakosti mashyny poperedn'oi' separacii' nasinnjevyh sumishej morkvy / Bakum M.V., Krekot M.M., Abdujev M.M., Votchenko O.S., Sheptur O.A., Mogyl'nyj M.V. // Mehanizacija sil's'kogospodars'kogo vyrobnyctva: Visnyk HNTUSG im. P. Vasylenka. – Harkiv: HNTUSG im. P. Vasylenka, Vyp. 107, T.1, 214-220.
4. Bakum M. V. 2008. Rezul'taty vyrobnych vyprobuvan' modernizovanogo pnevmatycznego separatora z nahylenym povitranym kanalom / Bakum M. V., Krekot M. M., Abdujev M. M., Votchenko O. S., Leonov V. P., Shevchenko M. I. // Mehanizacija sil's'kogospodars'kogo vyrobnyctva: Visnyk HNTUSG im. P. Vasylenka. – Harkiv: HNTUSG im. P.

ПНЕВМАТИЧЕСКИЙ СЕПАРАТОР ДЛЯ ОЧИСТКИ И СОРТИРОВАНИЯ СЕМЯН
ОВОЩНЫХ КУЛЬТУР

- Vasylenka, Vyp. 75, T.2, 72-78.
5. Corless R. M., Gonnet G. H., Hare D.E.G., Jeffrey D. J. and Knuth D. E, 1996. On The Lambert W Function. *Advances in Computational Math.*, V. 5, 329-359.
6. Deklaracijnyj patent na vynahid №70667A Ukraïny, MKI B07B4/00. Sposib rozdilennja nasinnjevyh sumishej u nahylenomu povitrjanomu potoci ta prystrij dlja jogo zdijsnennja / M.V. Bakum, Ju.O. Manchyns'kyj, M.M. Abdujev, M.M. Krekot. – № 20031212049; Zajavl. 22.12.03; Opubl. 15.10.2004. Bjul. № 10. – 4.
7. Fariel Shafee. 2007. Lambert function and new non-extensive form of entropy // *IMA Journal of Applied Mathematics*, V. 72, 785-800.
8. Jermak V. P. 2003. Obg'runtuvannja sposobu separuvannja sonjashnyka u povitrjanyh potokah: Avtoref. dys. kand. tehn. nauk. – Lugans'k, – 21.
9. Jakovenko K., Gorova T., Jashhuk A. 2001. Suchasni tehnologij v ovochivnyctvi. – Harkiv: IOB UAAN, – 128.
10. Kulagin M., Solov'ev V., Zheltov V. 1979. Mehanizacija posleuborochnoj obrabotki i hranenija zerna i semjan. – M. : Kolos,-256.
11. Kucherenko S. I. 2007. Balistyka krapel', jaki vyparovujut'sja pry pol'oti. / S. I. Kucherenko, V. P. Ol'shans'kyj, S. V. Ol'shans'kyj, L. M. Tishhenko // Harkiv: HNTUSG, – 304.
12. Gortynskyj V. V., Demskyj A. B., Boryskyn M. A. 1980. Processy separyrovannja na zernoobrabatyvajushhyh predpryjatyjah. M.: Kolos, Yzd. vtoroje, – 304.
13. Kozhuhovskij I. E. 1974. Zernoochistitel'nye mashiny. – M: Mashinostroenie, – 200.
14. Leshhenko S. M. 2009. Pidvyshhennja efektyvnosti poperedn'ogo ochyshhennja zernovyh sumishej / S.M. Leshhenko, O.M. Vasyl'kovs'kyj, M.I. Vasyl'kovs'kyj, V.V. Goncharov // Sil'skogospodars'ki mashyny : Zb. nauk. st. Vyp. 18. Luc'k : LNTU, 230-235.
15. Patent № 51675 Ukraïna, МПК (2009) B07B4/00. Pnevmatychnyj separator / Bakum M.V., Krekot M.M. - № 201001264; opubl. 26.07.2010, Bjul. № 14. – 4.
16. Panasiewicz M. 2006. Purification and separation of loose materials in a pneumatic system with vertical air stream / M. Panasiewicz, K. Zawiślak, E. Kusińska, P. Sobczak // *Teka Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa. – Lublin. - Tom 6.– 171–176.*
17. Pastushenko S., Ogienko N. 2012. Teoretycheskie aspekty issledovanija processa separacii tehnologicheskoy semennoj massy ovochebahchevyh kul'tur. *Motrol, - Motoryzacija i energetyka rolnictwa. – Lublin. Tom 14, №2, 13–20.*
18. Panasiewicz M., 1995. Pneumatic separation process of leaves made from lupine seed disintegration process. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 424, – 297-302.
19. Stepanenko S. P. 2008. Doslidzhennja procesu pnevmatychnoi' separacii' nasinnja v kil'cevomu zygzagopodibnomu separatori. *Mehanizacija sil'skogospodars'kogo vyrob-nyctva : Visnyk HNTUSG. – Harkiv : HNTUSG, 59-65.*
20. Vasyl'kovs'kyj M. I. 2006. Analiz suchasnogo stanu povitrjanoi' separacii' zerna / M.I. Vasyl'kovs'kyj, S. Ja. Goncharova, S. M. Leshhenko, O. V. Nesterenko // *Konstruju-vannja, vyrobnyctvo ta ekspluatacija sil'skogospodars'kyh mashyn: Zagal'noderzhavnyj mizhvidomchyj naukovo-tehnichnyj zbirnyk. – Vyp. 36, Kirovograd: KNTU, 111-114.*

**PNEUMATIC SEPARATOR FOR
CLEANING AND SORTING OF SEEDS OF
VEGETABLE CULTURES**

Summary. We obtain an analytic solution of the simplified nonlinear differential equations of motion of a material point in inclined flat channel pneumatic separator.

Given the results of laboratory and industrial tests of the pneumatic separator with angled air channel.

Key words: motion of particles, differential equations, pneumatic separator, italic air channel, seed, seed mixture, cleaning.