

АЭРОДИНАМИЧЕСКАЯ СЕПАРАЦИЯ СЕМЯН СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР В МАЛОГАБАРИТНЫХ УСТРОЙСТВАХ

Сергей Воложанинов, Алексей Завалий, Олег Кузовкин

Южный филиал Национального университета биоресурсов и природопользования Украины
«Крымский агротехнологический университет»

Аннотация. Работа посвящена решению актуальной задачи послеуборочной переработки семян сельскохозяйственных культур в малых сельскохозяйственных предприятиях и направлена на повышение эффективности устройств для предварительной очистки семян путем создания условий для качественного разделения семенного вороха в аэродинамических устройствах очистки и сепарации.

Ключевые слова: предварительная обработка, семена, аэродинамическая сепарация.

ВВЕДЕНИЕ

Для обеспечения производства продуктов питания семена сельскохозяйственных культур после уборки с поля следует как можно быстрее подготовить к длительному хранению. Операции подготовки к хранению следует разделять на операции послеуборочной или предварительной переработки, выполняемые в сельскохозяйственных предприятиях, и операции подготовки к хранению, выполняемые на специализированных хранилищах и перерабатывающих заводах. Чем выше качество послеуборочной переработки, тем выше стоимость семенного материала, продаваемого сельскохозяйственным производителем. Качественная переработка семян позволяет также сельскохозяйственному производителю самостоятельно готовить посевной материал.

Таким образом, послеуборочная переработка семян в условиях сельскохозяйственного предприятия является актуальной задачей механизации технологического процесса.

В последние годы большое количество сельскохозяйственных предприятий имеют незначительные посевные площади (от 1 до 15 тыс.га) и, соответственно, объемы семян сельскохозяйственных культур, не позволяющие эффективно использовать оборудование средней и большой производительности (10 тонн/час и более). В связи с этим актуальной является задача разработки оборудования с производительностью от 1 до 5 тонн/час, обеспечивающего высокое качество и эффективность предварительной переработки семян.

Основными видами послеуборочной переработки являются очистка семян от примесей и

семян, имеющих повреждения, сушка семян и сепарация или калибровка [1-4].

Очистку и калибровку семян сельскохозяйственных культур выполняют механически, используя силы инерции и гравитации, а также силы, возникающие при контакте семян с движущимися твердыми поверхностями и воздухом (аэродинамические силы). Комплексное использование этих сил реализуется в решетчатых сепараторах, триерах, центробежных сепараторах и аэросепараторах. В последнее время при выборе устройств сепарации предпочтение отдают не наносящим повреждения семенам атравматичным устройствам, к которым, в первую очередь, относят аэродинамические сепарирующие машины. Аэродинамические сепараторы могут обеспечивать широкий диапазон производительности, актуальный и для малого сельскохозяйственного предприятия. Качество сепарации таких машин существенно зависит от параметров взаимодействия вороха семян и потока воздуха. В процессе сепарации актуальной задачей является разработка методов взаимодействия семян и воздушной среды, обеспечивающих требуемое качество очистки.

В связи с вышесказанным целью данной работы является разработка малогабаритных устройств для аэродинамической сепарации семян сельскохозяйственных культур.

Актуальность поставленной цели определяется необходимостью комплексного производства и переработки семян сельскохозяйственных культур предприятиями-производителями сельскохозяйственной продукции.

Новизна работы заключается в конструкции

аэродинамического сепаратора для предварительной очистки семян сельскохозяйственных культур для малых сельскохозяйственных предприятий.

Эффект от внедрения результатов работы заключается в снижении себестоимости производства семян за счет снижения брака очистки и повышения степени сохранности семян.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

Очистка семян сельскохозяйственных культур - наиболее ответственный этап после-уборочной обработки. На сегодняшний день использование сил инерции, гравитации реализуется в решетных, центробежных и аэродинамических сепараторах [1-6]. Целе-сообразность комплексного использования аэродинамической и решетной сепарации иллюстрирует рис.1.

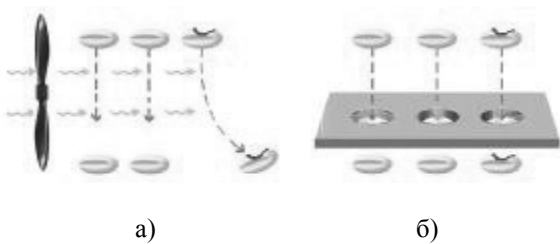


Рис. 1. Сортировка по удельному весу зерна в аэродинамическом сепараторе (а) и по размеру на решетках (б)

Fig. 1. Sorting by specific weight of grain in an aerodynamic separator (a) and through the sieve size (b)

Использование аэродинамических, центробежных и гравитационных сил в воздушном потоке позволяет разделять семена и частицы вороха по плотности, выделяя, в частности, из здоровых плотных семян семена большие, имеющие меньшую плотность из-за разрушенной микробами или плесенью сердцевин.

Основным недостатком работы сепараторов, использующих для очистки аэродинамические и центробежные силы, а также сепарацию на решетках является забивание проходных сечений и решет при повышенной влажности сепарируемого вороха.

Решением, позволяющим устранить эти недостатки, является разделение процесса очистки на два этапа с промежуточной сушкой: сначала выполняется аэродинамическая очистка вороха от легкого мусора, затем выполняется сушка

очищенного вороха, после чего сепарацию очищенного вороха осуществляют на решетках, обеспечивающих движение семян с отрывом от поверхности решет.

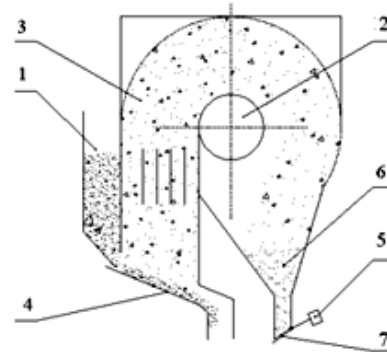


Рис. 2. Технологическая схема ПСМ

1 - бункер приемный; 2 - отверстие-заслонка; 3 - канал пневмосортировальный; 4 - сетка поддерживающая; 5 - груз клапана; 6 - камера осадочная; 7 - клапан

Fig. 2. Flowsheet PSM

1 - receiving hopper 2 - hole damper 3 - channel pneumosortirovalny 4 - Net supports 5 - load valve 6 - Camera sedimentary 7 - Valve

Аэросепарация осуществляется в машинах, использующих два различных способа разделения вороха семян в воздушном потоке. Так, в аэросепараторе ПСМ производства Кузубьевского РМЗ (республика Татарстан, Россия) вертикально направленный воздушный поток проходит сквозь поддерживающую сетку, на которой расположен ворох семян, подхватывает менее плотные фракции вороха и выносит их в осадочную камеру (рис.2.). Более плотные посевные семена скатываются по сетке в бункер.

В аэросепараторе СПС производства ОАО Воронежсельмаш (г.Воронеж, Россия) и аэросепараторе «Алмаз» производства ООО «Аэромех» (г.Луганск, Украина) в воздушный поток, направленный горизонтально или под углом, вбрасывается ворох семян (рис.3). Менее плотные фракции вороха сносятся потоком воздуха дальше от места вбрасывания, а более плотные семена падают вблизи места вбрасывания.

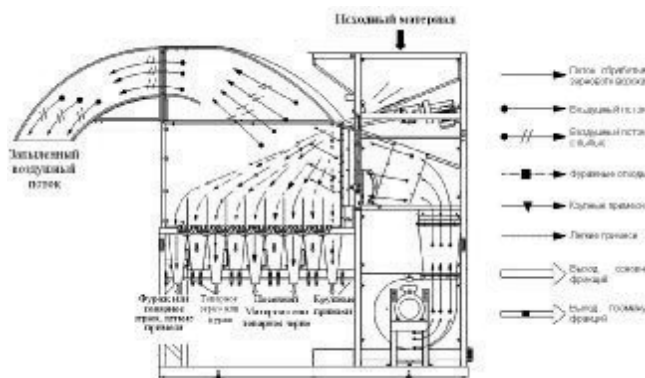


Рис. 3. Технологическая схема СПС и «Алмаз»
Fig. 3. Flowsheet ATP and "Diamond"

Недостатком схемы по рис.2. является неустойчивый характер витания легких фракций, приводящий к загромождению пневмосортировального канала и снижению производительности машины. Недостатком схемы НПО рис.3. является малое время пребывания семян в сносящем потоке, что ухудшает качество разделения на фракции.

По нашему мнению, схема по рис.3. может быть усовершенствована путем увеличения времени пребывания вороха семян в сносящем потоке воздуха. При изучении этого вопроса рассматривалось движение частицы вороха в объеме камеры при ее падении под действием силы тяжести и сносящего потока воздуха постоянной скорости. В качестве частицы принималась сфера определенного размера и массы. Схема сил, действующих на сферу показана на рисунке 4. На этой схеме \overline{F}_y - сила аэродинамического сопротивления воздуха, $m\overline{g}$ - сила тяжести, \overline{F}_c - сила сносящего потока воздуха. В задаче следовало определить траекторию движения частицы L , которая зависит от величины и направления равнодействующей прилагаемых сил.

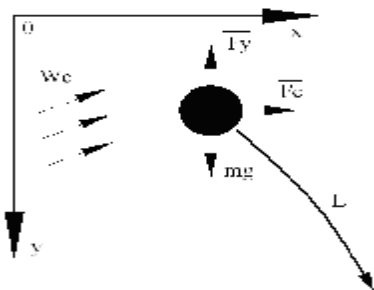


Рис. 4. Схема движения частицы под действием силы тяжести и давления сносящего потока воздуха
Fig. 4. The scheme of movement of a particle under the influence of gravity and pressure flow of air entraining

При решении задачи в проекциях на координатные оси получены уравнения для определения составляющих скорости по осям X и Y:

$$W_{x0}(t) = C_x \rho (W_c - W_x)^2 S \frac{t}{2m} - W_{x0},$$

$$W_{y0}(t) = \left(mg - C_x \rho (W_y^2 + W_{cy}^2) \frac{S}{2} \right) \frac{t}{m} + W_{y0}, \quad (1)$$

где C_x - коэффициент аэродинамического сопротивления;

ρ - плотность воздуха при нормальных условиях (атмосферное давление, температура 15°C), кг/м³;

W_c - скорость потока воздуха ($W_c = \text{const}$), м/с;

W_x - горизонтальная составляющая скорости сферы (частицы), м/с;

S - площадь поперечного сечения частицы ($S = \pi r^2$, r - радиус частицы, м), м²;

t - время, с;

m - масса частицы, кг;

W_{x0} - горизонтальная составляющая скорости сферы в в начальный момент времени ее взаимодействия со сносящим потоком воздуха, направленная против сносящего потока, м/с;

g - ускорение свободного падения $g = 9,81 \text{ м/с}^2$;

W_y - вертикальная скорость составляющая скорости сферы (частицы), м/с;

W_{cy} - вертикальная скорость движения частицы, м/с;

W_{y0} - вертикальная составляющая скорости сферы в в начальный момент времени ее взаимодействия со сносящим потоком воздуха, направленная против сносящего потока, м/с.

Анализ движения частиц вороха семян для различных схем и режимов движения воздуха и вороха семян с помощью вычислительных моделей показал, что встречные сносящий поток воздуха и

поток зернового вороха при наличии вертикальных составляющих скорости их движения позволяют осуществлять предва-рительную сепарацию и очистку зернового вороха от примесей в компактных устройствах. При этом вертикальный снос приводит к увеличению времени пребывания частицы в горизонтальном сносящем потоке, что способствует увеличению разброса частиц различной плотности. Длительное пребывание сферы в сносящем потоке приводит к ее значительному смещению по горизонтальной оси. Для уменьшения такого смещения следует использовать горизонтальную скорость вбрасывания сферы в сносящий поток [7-11].

На основании приведенных выводов геометрия устройства для разделения семян по плотности может иметь вид, представленный на рис.5.

При высоте камеры - 0,8м, ширине - 0,5м и скорости воздушного потока $W=(10^2+8^2)^{1/2}=13$ м/с расход воздуха через камеру составит $5\text{ м}^3/\text{с}$ или $18000\text{ м}^3/\text{час}$.

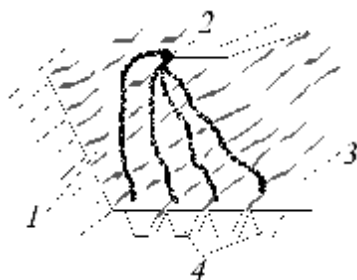


Рис.5. Схема аэросепаратора со встречным вбрасыванием вороха в сносящий поток воздуха

Fig. 5. Aeroseparatora scheme with a counter throw-heap in entraining air flow

Недостатком модели падения одиночной частицы является неучет взаимного действия всех частиц сепарируемого вороха в сносящем потоке, а также пульсационных составляющих всех скоростей. Для решения задачи сепарации вороха в турбулентном сносящем потоке нами использована конечно-элементная модель турбулентного взаимодействия в поле сил гравитации потока воздуха и вороха - потока, содержащего смесь воздуха с частицами различного размера и массы. Модель позволяет варьировать объемную долю частиц в ворохе, моделируя тем самым процесс сепарации различной массовой производительности. В качестве решателя конечно-элементной модели использована программа Fluent [12]. Конечно-

элементная модель представляет собой двумерную прямоугольную сеточную область размером 800×800 мм, содержащую $160000 - 180000$ четырехугольных элементов со стороной размером 2 мм. В качестве частиц использованы сферические гранулы диаметром 4мм. Гранулы подавались во входное отверстие сверху массовым расходом $1,5 - 2,0\text{ кг/с}$. Сносящий поток поступал в расчетную область через границу слева. Для решения использована *k-ε* турбулентная модель течения и эйлера модель многофазного течения.

Сравнение траекторий падения отдельных частиц и вороха показывает, что эффект разделения фракций при встречном вбрасывании вороха частиц усиливается по сравнению с одиночными частицами за счет уменьшения аэродинамического сопротивления движению частиц в ворохе при движении вороха навстречу сносящему потоку воздуха (см. рис. 6).

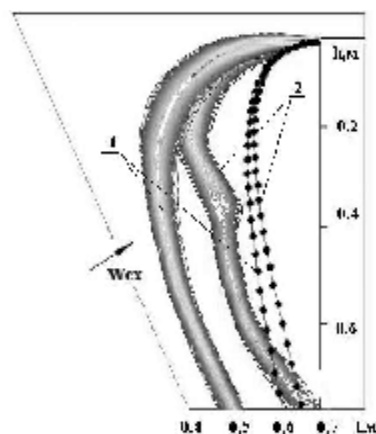


Рис.6. Сравнение траекторий падения одиночных частиц (линии с узловыми точками) и вороха частиц (контуры объемной доли частиц)

Fig. 6. Comparison of the trajectories of individual particles fall (line with nodal points) and a heap of particles (particle volume fraction contours)

$W_{cx}=8\text{ м/с}$; $W_{cy}=4\text{ м/с}$; $W_{xo}=2\text{ м/с}$; массовый расход гранул $1,25\text{ кг/с}$; 1 - плотность гранул 1100 кг/м^3 ; 2 - плотность гранул 1000 кг/м^3

Таким образом, моделирование падения вороха семян в сносящем потоке воздуха показывает, что разделение фракций при вбрасывании вороха навстречу сносящему потоку более выражено по сравнению с встречным вбрасыванием одиночных частиц. При этом сам характер разделения

АЭРОДИНАМИЧЕСКАЯ СЕПАРАЦИЯ СЕМЯН СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

становится неустойчивым и приводит к увеличению разброса частиц в пределах одной фракции семян.

Полученные выводы являются основой для разработки на базе аэросепараторов типа СПС и «Алмаз» модифицированной малогабаритной конструкции аэросепаратора, предназначенного для небольших фермерских хозяйств.

Одними из основных конструктивных параметров являются размеры камеры аэросепарации.

Исходные данные:

- производительность по сменам – 2000 кг/час (0,56 кг/с);

- плотность семян – $\rho_c = 650 \dots 1000$ кг/м³.

Используя разработанную выше модель движения частиц в камере аэросепаратора, определим геометрические параметры камеры, направление и скорость движения сносящего потока воздуха, направление и скорость вбрасывания семян.

На рис.7 приведены траектории движения семян (минимальная плотность – 650 кг/м³, максимальная плотность – 1000 кг/м³) для следующих исходных данных:

h – высота падения, м; l – величина горизонтального смещения, м; t – время падения, с; W_x , W_y – горизонтальная и вертикальная составляющие скорости движения частицы, м/с; $W_{x0} = -3$ м/с, $W_{y0} = 0$ м/с – горизонтальная, направленная против движения сносящего потока, и вертикальная составляющие скорости движения частицы в начальный момент времени, м/с при $g = 9,807$ м/с²; $W_{cx} = 6$ м/с, $W_{cy} = 6$ м/с – горизонтальная и вертикальная составляющие скорости сносящего потока, м/с; $k = (C_x \cdot \rho \cdot S) / (2 \cdot m)$, ρ – плотность воздуха, кг/м³; $C_x = 0,6$ – коэффициент аэродинамического сопротивления частицы; m – масса частицы, кг; S – площадь поперечного сечения сферической частицы, м²:

Для определения высоты падения и величины горизонтального смещения в зависимости от времени и плотности семян из (1) получены выражения:

$$h(t, \rho_c) = \frac{-1}{2k\rho_c} + \sqrt{\frac{1}{4k\rho_c^2} + \frac{gt^2}{k\rho_c} + \frac{W_{y0}t}{k\rho_c} - W_{cy}^2 t^2}, \quad (2)$$

$$l(t, \rho_c) = W_{cx}t + \frac{1}{2k\rho_c} - \sqrt{\frac{W_{cx}t}{k\rho_c} + \frac{1}{4k\rho_c^2} - \frac{W_{x0}t}{k\rho_c}}. \quad (3)$$

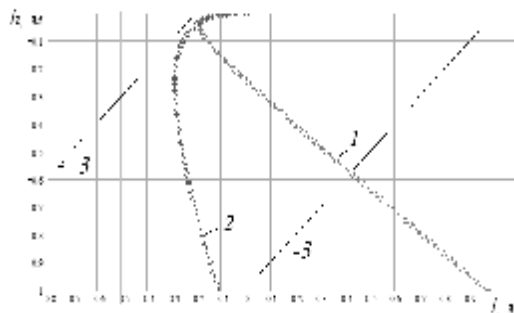


Рис.7. Траектории движения семян

Fig. 7. Trajectory of movement of seeds

1 – плотность частиц 650 кг/м³; 2 – плотность частиц 1000 кг/м³; 3 – линии границы потока воздуха

Представленный на рис.7 режим работы камеры аэросепарации обеспечивает макси-мальный разброс семян 1100 мм при времени падения частиц 0,85 с.

На основании данных расчета принимаем:

- высота камеры – 1000 мм;
- длина камеры – 1200 мм;
- скорость воздушного потока – 8,5 м/с;
- направление воздушного потока - 45°;
- скорость вбрасывания – 3 м/с;
- направление вбрасывания – 180°.

Расчет вбрасывающего бitera.

Цель расчета – определить геометрические размеры и частоту вращения бitera, обеспечивающего подачу семян в аэросепарационную камеру. Схема движения семян через бiter представлена на рис.8.

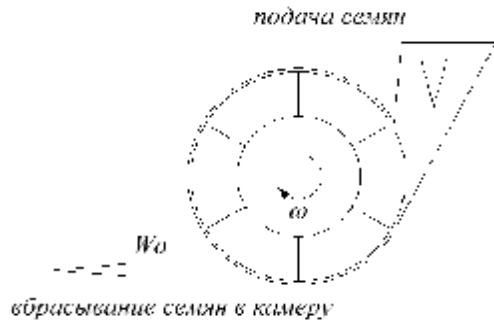


Рис.8. Схема битера

Fig. 8. scheme beater

Окружная скорость битера определялась по формуле:

$$\omega = \frac{V}{R}, \quad (4)$$

где V – скорость вбрасывания принимаем равной 3 м/с.

Площадь заполнения битера:

$$S_b = k\pi R^2, \quad (5)$$

где $k=0,002$ – коэффициент заполнения битера.

Массовый расход семян будет равен:

$$G = 2\pi \rho_s B_b S_b \omega, \quad (6)$$

где $\rho_s = 300 \text{ кг/м}^3$ – плотность вороха семян;

$B_b = 0,2 \text{ м}$ – ширина лопасти битера.

На рис.9 приведен график зависимости производительности битера, а на рис. 10 – частоты вращения вала от радиуса битерного вала в диапазоне от 80 до 150 мм.

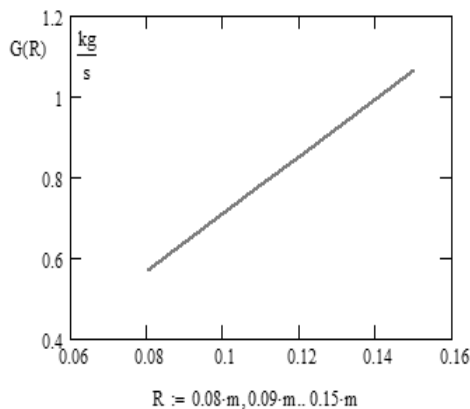


Рис.9. Производительность битера в зависимости от радиуса вала

Fig. 9. Performance of the beater according to the radius of the shaft

Как следует из графиков на рис.9, 10 битерный вал радиусом 120 мм и частотой вращения 4 об/с обеспечивает производительность 0,8 кг/с семян при ширине битерного вала 200 мм.

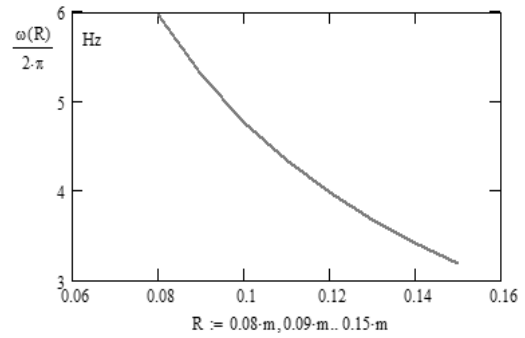


Рис.10. Частота вращения битера в зависимости от радиуса вала

Fig. 10. Rotational speed of the beater according to the radius of the shaft

Расчет производительности вентилятора.

В соответствии с рис.7 высота проточной части камеры (расстояние между линиями 3) составляет 850 мм. Ширину камеры примем равной ширине битерного вала плюс 100 мм, то есть 300 мм.

Тогда для обеспечения скорости потока воздуха 8,5 м/с, объемный расход воздуха составляет 2,1675 м³/с или 7803 м³/час.

Для скорости 8,5 м/с динамический напор воздуха составляет 46,08 Па, что обеспечивается низконапорными осевыми вентиляторами.

Общий вид предлагаемого сепаратора представлен на рис. 11. Аэросепаратор состоит из рамы 1, направляющего кожуха 2, сборников фракций 3,4, вентилятора 5, направляющих 6, патрубка выхода запыленного воздуха 7, рабочей камеры 8, бункера-питателя 9, привода 10, вибрлотка 11 и битера 12.

Семенной ворох поступает в бункер-питатель 9, где с помощью вибрлотка 11 равномерно распределяется по ширине рабочей камеры 8. Далее ворох вбрасывается в рабочую камеру битером 12 навстречу потоку воздуха, подаваемого в рабочую камеру 8 под углом 45° посредством вентилятора 5, направляющего кожуха 2 и направляющих 6.

Под действием воздушного потока из вороха выделяются тяжелые примеси (частицы камней, металла), которые падают в ближний к рабочей камере карман. Легкие включения и пыль выносятся через рабочую камеру в патрубок выхода запыленного воздуха 7. основной материал делится на фракции по удельному весу и аэродинамическому сопротивлению, которые направляются в сборники фракций. Промежуточные фракции отводятся в бункер и далее поступают на повторную обработку в бункер-питатель 9 или выводятся во внешний приемник зерна.

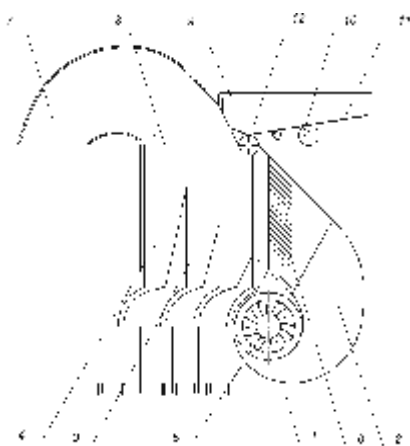


Рис. 11. Предлагаемая конструкция аэросепаратора
Fig. 11. The proposed design aeroseparatora

Основные технические характеристики предлагаемого устройства следующие:

- производительность 2000 кг/час;
 - потребляемая мощность 3,25 кВт/час;
 - количество электродвигателей 4;
- привод центробежного вентилятора:
- количество 2;
 - потребляемая мощность 1,5 кВт;
 - частота вращения 1475 об/мин;
- привод битера и вибрототка:
- потребляемая мощность 0,25 кВт;
 - частота вращения 1475 об/мин.

ВЫВОДЫ

1. Разработаны модели движения одиночных частиц и вороха частиц в потоке воздуха, анализ которых показал, что существенно увеличить степень разделения частиц в аэросепараторе позволяет совместное использование сносящего потока воздуха, направленного под углом к линии горизонта, и вбрасывания вороха семян навстречу сносящему потоку.

2. Определены геометрические размеры камеры аэросепарации, скорость и направление движения сносящего потока воздуха, скорость и направление вбрасывания семян в камеру.

3. Разработана модификация конструкции аэросепаратора, в которой вбрасывание сепарируемого вороха семян осуществляется битерным устройством в направлении навстречу потоку сносящего воздуха, направленного под углом 45° к линии горизонта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бортников А.И., Шафоростов В.Д. О повышении эффективности сепарирования семенных смесей // Механизация и электрификация сельского хозяйства, 1982 №1, С. 25-27.

2. Карпенко А.Н., Халанский В.М. Сельскохозяйственные машины. М: Колос, -1983. 495с.

3. Справочник конструктора сельскохозяйственных машин. Под ред. А.В. Красниченко. М: ГНТИ, 1961. 860с.

4. Машины для очистки семян. [Электронный ресурс]. – режим доступа: www.petkus.com.

5. Головков А.Н. Пневмосортировальные машины семейства ПСМ. // Центрально-Черноземная государственная зональная МИС. [Электронный ресурс]. – режим доступа: <http://rmz.menzelinsk.ru/smi/4.html>.

6. Аэросепараторы. [Электронный ресурс]. – режим доступа: <http://www.agrotech-almaz.com/product/general.html>.

7. Завалий А.А. Расчетный анализ внутренней аэродинамики пневмосепарирующей машины // Энергосберегающие технологии производства и переработки сельскохозяйственной продукции. Сб. научн. работ Крымского государственного аграрного университета, Вып.122 (технические науки). – Симферополь, 2009. -С.26-34.

8. Батлук В., Сукач М., Басов М., Козира І. Застосування пилловловлення для вирішення проблеми техногенно-екологічного енергозбереження // Motrol motorization and power industry in agriculture, Volume 11 A Lublin, 2009, p.115-119.

9. Эпоян С., Сыроватский А., Карагяур А., Бабенко С. Повышение эффективности работы тонкослойного отстойника // Motrol motorization and power industry in agriculture, Volume 12 D Lublin, 2010, p.247-250.

10. Зайцев О., Борисенко К., Петрекевич Л., Лужанская А. Аэродинамика топков с высокофорсированными процессами отопительных котлов малой мощности // Motrol motorization and power industry in agriculture, Volume 12 D Lublin, 2010, p.80-85.

11. Завалий А.А., Воложанинов С.С. Исследование процесса аэродинамической сепарации зерна // Науковий вісник Луганського національного аграрного університету Вип. 41 (технічні науки), 2012.- С.91-102.

12. CFD Fluent. Руководство пользователя. [Электронный ресурс]. – режим доступа: <http://www.fluent.com>.

AERODYNAMIC SEPARATION OF SEED OF AGRICULTURAL CULTURES IS IN SMALL DEVICES

Summary. Work is devoted the decision of task of the processing of seed of agricultural cultures in small agricultural enterprises and directed on the increase of efficiency of devices for pre-cleaning of seed by conditioning for the high-quality division of seminal lots in the aerodynamic devices of cleaning and separation.

Keywords: rough-down, seed, aerodynamic separation.

