

УДК 631.362.3

UDC 631.362.3

05.20.00 Процессы и машины агроинженерных систем

Technical Sciences

**ПРИМЕНЕНИЕ МЕХАНИЗИРОВАННОЙ
ОЧИСТКИ И ФОТОСЕПАРАЦИИ
СЕМЕННОГО ЗЕРНА И ПОЧАТКОВ
КУКУРУЗЫ В СОВРЕМЕННЫХ
ТЕХНОЛОГИЯХ**

**USE OF MECHANICAL CLEANING AND
COLOR SORTING OF SEED GRAIN AND
CORN COBS IN MODERN TECHNOLOGIES**

Бутовченко Андрей Владимирович
канд. техн. наук, доцент
SPIN-код: 7205-4573

Butovchenko Andrey Vladimirovich
Candidate of Technical Sciences, associate Professor
SPIN-code: 7205-4573

Донской государственный технический университет, Ростов на Дону, Россия

Don State Technical University, Rostov-on-Don

Рассмотрены особенности сепарации вороха зерновых и початков кукурузы современными машинами и установками с фотоэлементами и определены направления их конструктивного совершенствования

Special aspects of grain heap and corn cobs trapping by modern mechanisms and plants with photoelements have been considered, also the main ways of their functional developing are disclosed

Ключевые слова: СЕПАРАЦИЯ, ЗЕРНОВОЙ МАТЕРИАЛ, ПОЧАТКИ КУКУРУЗЫ, ПНЕВМОСЕПАРАТОРЫ, ФОТОСЕПАРАТОРЫ

Keywords: TRAPPING, GRAIN MATERIAL, CORN COBS PNEUMATIC SEPARATIONS, PHOTOSEPARATORS

Doi: 10.21515/1990-4665-135-014

Получение качественного семенного материала является одним из путей повышения урожайности. В свою очередь, на качество семян влияют как условия уборки, очистки и последующего хранения, так и генетические характеристики, чистота, микро- и макро- повреждения, выравненность по размерам.

Все убранное зерно подвергают очистке с целью выделения из вороха не только примесей, но и щуплого, битого и поврежденного зерна основной культуры.

Для получения высококачественного семенного материала проводят сортирование (фракционирование) по основным признакам – размерам (ширине, длине и толщине), массе, цвету, аэродинамическим свойствам.

В настоящее время во многих зерноочистительных машинах сортирование и очистка зерна выполняются одновременно.

В существующих зерноочистительных агрегатах получают семена за два-три цикла очистки по поточно-периодическим технологиям: сначала первичная очистка на агрегатах ЗАВ-40У, ЗАВ-50 и их модификациях; затем одно- или двухразовая доочистка. Это приводит к дополнительным затратам и кратному перемещению семенного материала, ухудшающему их качество.

Поэтому к зерноочистительным машинам предъявляют три основных требования:

- за один цикл машина должна давать очищенные семена, свойства которых отвечают требованиям к посевному или продовольственному зерну при условии заданных производительности, засоренности и допустимом количестве отходов;

- в процессе работы машины не должны повреждать очищаемое и сортируемое зерно;

- машина должна быть безопасной в работе и удобной в эксплуатации, легко регулируемой, обеспечивающей нормы санитарии.

К основным способам сортирования и очистки семян можно отнести следующие:

- очистка воздушным потоком;

- разделение по толщине и ширине на решетках;

- разделение на триерах по длине;

- разделение по формам и свойствам их поверхности;

- сортирование и очистка по плотности;

- сортирование по цвету;

- разделение электрическими методами.

К основным направлениям повышения эффективности функционирования семяочистительных машин относятся:

– разработка новых конструктивных решений воздушно-решетных сепараторов в сочетании с различной технологией перемещения фракций зерна;

– оптимизация структуры решетных модулей;

– создание новых схем функционирования (последовательное, фракционное).

Нами было выбрано перспективное направление интенсификации процесса очистки в воздушно-решетной сеячистительной машине за счет усложнения перемещения зернового вороха внутри машины (рисунок 1)[1, 2, 3].

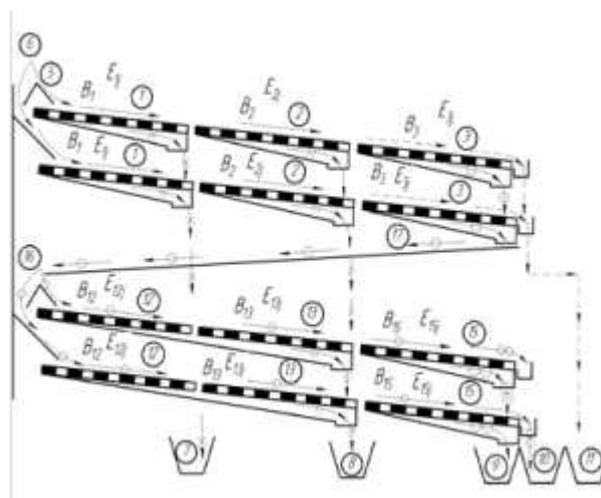


Рисунок 1 – Вариант схемы решетных модулей

Исследования выполнены методами математического моделирования и стендовых испытаний. Принята конструкция с последовательно-параллельным расположением решет. Определены показатели процесса пневмосепарации:

– количество зернового Q_p материала на каждом p -м участке k -й ширины рабочей поверхности

$$Q_p = \frac{BQ_0}{k} \frac{\int_p^p f_Q(B)dB}{\int_p^e f_Q(B)dB},$$

(1)

где B – ширина пневмоканала;

Q_0 – масса выхода очищенного зерна;

– средняя скорость воздушного потока на p -м участке

$$V_p = \frac{BV}{k} \frac{\int_p^p f_V(B)dB}{\int_p^e f_V(B)dB};$$

(2)

– содержание сорных примесей в очищенном зерне

$$b_c = \frac{\sum_{j=c} a_j \epsilon_j}{\sum_{j=1}^b a_j \epsilon_{nkj}},$$

(3)

где $\epsilon_{nkj}(Q_p, V_p)$ – полнота выхода j -го компонента в очищенное зерно,

$$j = 1, 2, \dots, c;$$

– полнота выделения ϵ_{ix} сорных примесей в отходы

$$\epsilon_{ix} = \frac{\sum_{j=c} a_j (1 - \epsilon_{nkj})}{\sum_{j=1}^b a_j};$$

(4)

– содержание в очищенном зерне j -х компонентов

$$b_j = \frac{a_j \varepsilon_{cj}}{\sum_{j=1}^b a_j \varepsilon_{nkj}} ;$$

(5)

– полнота выделения j -го компонента зернового материала

$$\varepsilon_{bjn} = 1 - \varepsilon_{nxj} ;$$

(6)

– содержание в легких отходах j -го компонента зернового материала

$$b_{jQ} = \frac{a_j (1 - \varepsilon_{nkj})}{\sum_{j=1}^b a_j (1 - \varepsilon_{nkj})} ;$$

(7)

– масса отходов

$$Q_{On} = \sum_{j=1}^b Q a_j (1 - \varepsilon_{nkj}) ;$$

(8)

– масса очищенного зерна

$$Q_{Kn} = Q - Q_0 .$$

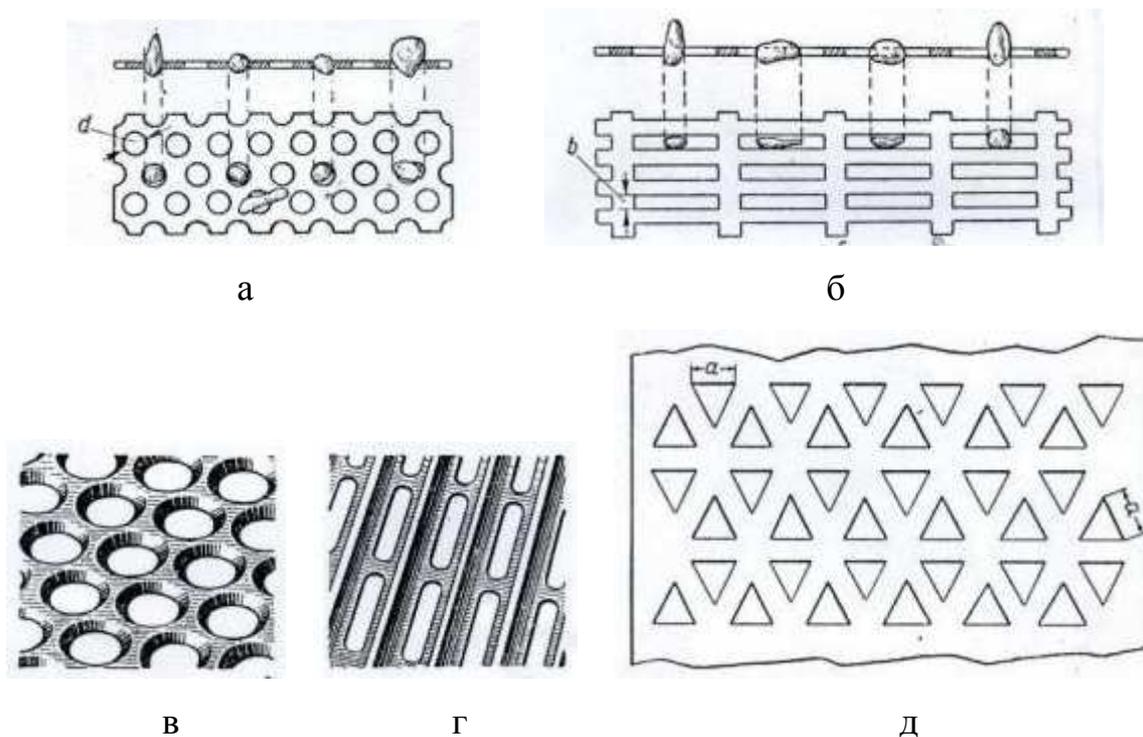
(9)

Полученная математическая модель описывает гетерогенную сыпучую среду. В результате проведения многомерного анализа был рассмотрен многоярусный модуль воздушно-решетной зерноочистительной машины, имеющей неоднородные по длине решета с отличающимися кинематическими параметрами. В качестве ограничений приняты: потери зерна; выход зерна в отходы для фуражного назначения; содержание зерновых примесей в очищенном зерне; содержание сорных примесей в очищенном

зерне. Оценку эффективности пневмосепарации выполнили по коэффициенту k_j прогнозного увеличения полноты выделения j -го компонента из зернового вороха в отходы. В качестве основных компонентов были выбраны зерно, зерновые примеси, мелкий сор, полова, соломистые примеси, крупные примеси, овсюг, дробленое зерно. Установили, что с увеличением подачи полноты выделения сорных примесей увеличивается, а полнота выделения зерновых примесей с увеличением коэффициента k_j уменьшается.

Рассмотрев различные схемы компоновки машин в семяочистительном агрегате, определили оптимальный их состав: машина предварительной очистки зерна, решетный фракционер, воздушно-решетная машина, триерные блоки, пневмостол. Конструкция воздушно-решетной машины должна содержать расположенные последовательно: одно решето для выделения сорных примесей и четыре решета для выделения зерновых примесей. Предложенный агрегат рассчитан на производительность в 9 т/ч.

Для семян кукурузы, подсолнечника и других культур применяют калибрование, что обеспечивает одновременность всходов, и, как следствие, более высокую урожайность, а также снижение затрат труда по уходу за посевами. Калибровщики для семенного материала, как правило, более компактны по размерам, а подача обрабатываемого зернового материала может отличаться на порядки от производительности для товарного зерна. Это обуславливает необходимость разработки индивидуальных конструкций для различных видов сельскохозяйственных культур. Так как основным рабочим органом являются решета, то их усовершенствованию уделяется особое внимание (рисунок 2).



а – круглые; б – продолговатые; в – лункообразные; г – гофрированные;
д – треугольные

Рисунок 2 – Форма отверстий решет зерноочистительных машин

Одним из примеров оригинального конструктивного решения такого аппарата является вибрационный калибровщик семян кукурузы с плоскими решетками, снабженными полусферическими ориентирующими выступами, с параметрами ячейки решета: a – размер ячейки (расстояние между центрами окружностей оснований выступов), м; d_1 – диаметр окружности калибровочного отверстия, м; d_2 – диаметр окружности основания ориентирующих выступов, м; θ – угол наклона плоскости решета к горизонту, град. [4, 5].

Оценка прохода семени кукурузы через калибровочное отверстие одной ячейки выполнялась по величине вероятности

$$P = \pi r_0 a_2 - 4 \pi d_2 \cos \theta \quad ,$$

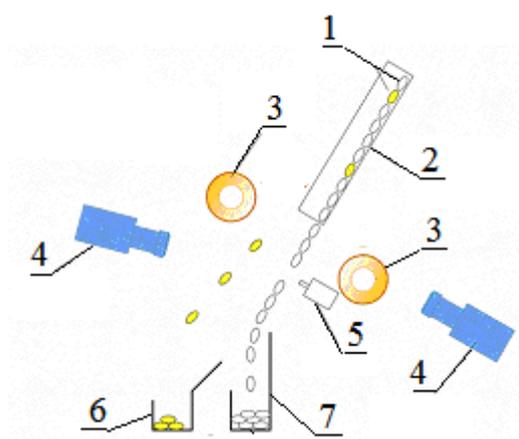
(10)

где d – усредненный диаметр окружности отверстия и окружности основания ориентирующего выступа, м;

r_0 – эквивалентный радиус условно сферических частиц, образующих смесь, м.

Для принятой конструкции определены оптимальные параметры и режимы работы: при плотности семян 750 кг/м^3 и коэффициенте внутреннего трения $0,47$ средняя скорость движения смеси по высоте слоя составила от $0,1 \text{ м/с}$ до $0,44 \text{ м/с}$; соотношение между параметрами решета, обеспечивающее максимальное просеивание семян кукурузы $d = 0,5a$ [6].

Кроме механических принципов очистки и калибровки в последнее десятилетие активно используют фотосепарацию сельскохозяйственной продукции и, в частности, семенного материала (рисунок 3) [7, 8, 9].



1 – материал для сортировки; 2 – подающий канал; 3 – осветительные приборы; 4 – камеры обследования; 5 – эжектор; 6 – бункер чистого продукта; 7 – бункер отходов

Рисунок 3 – Принципиальная схема работы фотосепаратора

В фотосепараторах, как правило, используют блочно-модульную конструкцию для адаптации под различные объемы производства и оперативное дистанционное управление. Наиболее характерными являются серии

фотосепараторов «Оптима», «Зоркий», «SMARTSORT» и «OPTIMA-L» российской компании «СиСорт» [9]. Так в сепараторах «Зоркий» модульная конструкция позволяет компоновать от одной до трех секций, а выбор камер (от одной до четырех на секцию) осуществляется в зависимости от задач сортировки. При потребляемой мощности моделей ZORKIY-1, ZORKIY-2 и ZORKIY-3 от 0,6 до 1,0 кВт производительность составляет от 4 до 12 т/ч. Следует отметить, что такие фотосепараторы комплектуются CCD-камерами японской компании «Toshiba», эжекторами для воздушных сопел итальянского производства, а также импортными LED-осветителями. И это сказывается на цене подобных аппаратов на внутреннем рынке.

Компании-разработчики стремятся к универсальности своих решений и возможности применения выбранного принципа сепарации к широкому спектру сельскохозяйственной продукции – от мелкосеменной до ягод, фруктов и овощей. Так, сепараторы серии «Зоркий» применяют для семян амаранта, гороха, гречневой крупы, риса, пшеницы, кукурузы.

Компанией TOMRA Sorting на основе базовой модели разработаны линии по переработке мусора, сортировке упаковочной тары и кондитерской продукции, сортировке плодов и овощей, а также семян зерновых, в которых применяются принципы разделения по размерным, массовым, спектральным характеристикам [8]. Совместно с фирмой Lauber Seed Farms разработана сортировочная система ZEA для початков кукурузы, осуществляющую разделение по размеру, дефектам и заболеваниям, сорным примесям. При этом используется принцип сенсорной сепарации (рис. 4).

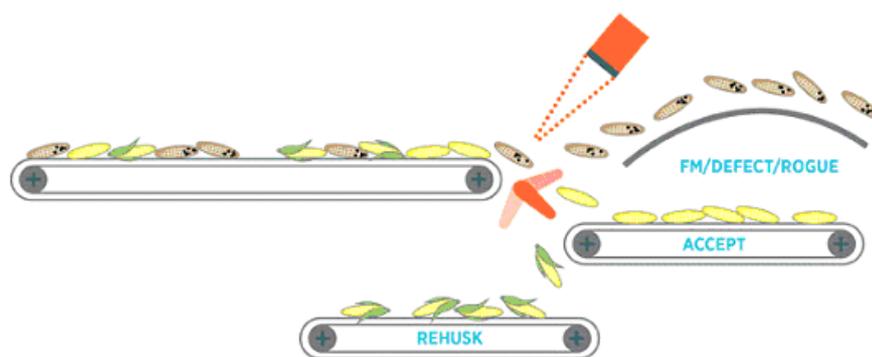


Рисунок 4 – Схема сепарации кукурузы в початках системой ZEA TOMRA Sorting

Для ориентированной подачи обрабатываемого зернового потока или вороха початков применяют или эффект вибрации в механизированных конструкциях или системы наддува в фотосепараторах. Процесс очистки семенного зерна или сепарации осуществляется или поэтапно, по мере прохождения решетных модулей или на последнем этапе фотосортировки, когда по результатам показателей камер обследования воздушные эжекторы или специальные лопастные элементы выбивают негодные зерна или початки.

Таким образом, можно отметить следующие общие тенденции в развитии конструктивных решений технологий очистки и сепарации:

- возможность совершенствования основных элементов рабочих органов для агрегатов, перерабатывающих товарное зерно;
- создание оригинальных решений для переработки малых партий семенного и селекционного материала;
- ориентация на создание единых платформ и модульных систем фотосепараторов, применимых к растительному материалу различных по геометрическим и массовым характеристикам;
- применение вероятностных методов для оценки параметров и режимов разрабатываемых конструкций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ермольев Ю. И. Модельное прогнозирование показателей функционирования воздушно-решетной зерноочистительной машины от роста эффективности операции пневмосепарации / Ю. И. Ермольев, А. В. Бутовченко, А. А. Дорошенко // Вестник ДГТУ. – 2014. Т. 14, № 1 (76). – С. 122-134.
2. Бутовченко А. В. Высокотехнологичный семяочистительный агрегат / А. В. Бутовченко // Вестник Дон. гос. техн. ун-та. – 2012. № 3 (64). – С. 16-21.
3. Бутовченко А. В. Повышение производительности семяочистительного агрегата / А. В. Бутовченко, А. А. Дорошенко // Известия Самарского научного центра РАН. – 2013. – Т. 15, № 4 (2). – С. 503-506.
4. Курасов, В. С. Механизация работ в селекции, сортоиспытании и первичном семеноводстве кукурузы: монография / В. С. Курасов, В. В. Кучеев, Е. Е. Самурганов; КубГАУ. - Краснодар, 2013. – 151 с.
5. Курасов, В. С. Селекционная кукурузокалибровочная машина / В. С. Курасов, Е. Е. Самурганов // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2008, № 4(5). – С. 19-22.
6. Самурганов, Е. Е. О вероятности просеивания зерновки кукурузы при движении по виброрешету с ориентирующими выступами / Е. Е. Самурганов // Электронный научный журнал. - 2016. - № 10-1 (13). – С. 149-152.
7. Шафоростов, В. Д. Качественные показатели работы фотосепаратора по фракционной технологии при разделении семян подсолнечника / В. Д. Шафоростов, И. Е. Припоров // Международный научно-исследовательский журнал. - 2015. - № 1-3 (32). - С. 23-25.
8. tomra.com.
9. www.csort.ru

REFERENCES

1. Ermol'ev YU. I. Model'noe prognozirovanie pokazatelej funkcionirovaniya vozdušno-reshetnoj zernoochistitel'noj mashiny ot rosta ehffektivnosti operacii pnevmoseparacii / YU. I. Ermol'ev, A. V. Butovchenko, A. A. Doroshenko // Vestnik DGTU. – 2014. T. 14, № 1 (76). – S. 122-134.
2. Butovchenko A. V. Vysokotekhnologichnyj semyaochistitel'nyj agregat / A. V. Butovchenko // Vestnik Don. gos. tekhn. un-ta. – 2012. № 3 (64). – S. 16-21.
3. Butovchenko A. V. Povyshenie proizvoditel'nosti semyaochistitel'nogo agregata / A. V. Butovchenko, A. A. Doroshenko // Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra RAN. – 2013. – T. 15, № 4 (2). – S. 503-506.
4. Kurasov, V. S. Mekhanizaciya rabot v selekcii, sortoispytanii i per-vichnom semenovodstve kukuruzy: monografiya / V. S. Kurasov, V. V. Kuceev, E. E. Samurganov; KubGAU. - Krasnodar, 2013. – 151 s.
5. Kurasov, V. S. Selekcionnaya kukuruzokalibrovochnaya mashina / V. S. Kurasov, E. E. Sa-murganov // Sel'skohozyajstvennye mashiny i tekhnologii. – 2008, № 4(5). – S. 19-22.
6. Samurganov, E. E. O veroyatnosti proseivaniya zernovki kukuruzy pri dvizhenii po vibroreshetu s orientiruyushchimi vystupami / E. E. Samurganov // EHlektronnyj nauchnyj zhurnal. - 2016. - № 10-1 (13). – S. 149-152.
7. SHaforostov, V. D. Kachestvennye pokazateli raboty fotoseparatora po frakcionnoj tekhnologii pri razdelenii semyan podsolnechnika / V. D. SHaforostov, I. E. Priporov // Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal. - 2015. - № 1-3 (32). - S. 23-25.
8. tomra.com.
9. www.csort.ru