

4.3.1 – ТЕХНОЛОГИИ, МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ

ДЛЯ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА (ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ)

DOI 10.53980/24131997_2024_1_62

А.В. Стукалова, аспирант, e-mail: ana-stukalova@yandex.ru

С.С. Ямпиров, д-р техн. наук, проф., e-mail: yampilovss@mail.ru

В.Б. Балданов, канд. техн. наук, доц.

Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления, г. Улан-Удэ

УДК 631.362

ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ ФОТОСЕПАРАТОРОВ

В настоящее время существует проблема очистки зерна от трудноотделимых примесей (татарская гречиха и др.), которые незначительно отличаются по размеру от основного зерна, по плотности, по скорости витания. Поэтому практически сложно очистить зерновой материал от трудноотделимых примесей на существующих зерноочистительных машинах. Однако в последнее время появились новые зерноочистительные машины, которые, используя высокие технологии – техническое зрение, отделяют различные примеси по цвету и по форме частиц от частиц основного зерна. Известно, что частицы татарской гречихи отличаются от основного зерна пшеницы по цвету и по форме, так как они имеют форму тетраэдра. Проведен анализ существующих зерноочистительных машин, использующих техническое зрение, – фотосепараторов различных стран, их технические характеристики. Описан общий принцип работы фотосепараторов, основывающийся на работе специальных камер, на которых задаются необходимые параметры для очистки зерна от различных примесей, специальных устройств для выдувания примесей в отдельный отсек. Анализ различных фотосепараторов показал, что они имеют высокую стоимость. Необходимо разработать фотосепаратор для очистки зерна от трудноотделимых примесей. Во ВСГУТУ разработан сепаратор для очистки зерна, использующий техническое зрение.

Ключевые слова: оптический сепаратор, фотосепараторы, зерновой материал, очистка зерна, камера, вибропитатель.

A.V. Stukalova, P.G. student

S.S. Yampilov, Dr. Sc. Engineering, Prof.

V.B. Baldanov, Cand. Sc. Engineering, Assoc. Prof.

REVIEW OF MODERN PHOTOSEPARATORS

Currently there is a problem of cleaning grain from hard-to-separate impurities (Tatar buckwheat, etc.), which differ slightly in size from the main grain in density and in speed of soaring. Therefore, it is practically difficult to clean grain material from hard-to-separate impurities on existing grain cleaning machines. However, recently new grain cleaning machines have appeared that, using high technology - technical vision; separate various impurities by color and particle shape from the particles of the main grain. The particles of Tatar buckwheat differ from the main grain of wheat in color and shape, since they have the shape of a tetrahedron. The article analyses existing grain-cleaning machines with technical vision - photoseparators, made in different countries and their technical characteristics

It describes general principle of photoseparator operation, based on the operation of special chambers with the set of necessary parameters for cleaning grain from various impurities, special devices for blowing impurities into a separate compartment. The analysis of various photo separators has shown that they have high cost. It is necessary to develop a photoseparator for cleaning grain from hard-to-separate impurities. ESSUTM has developed a separator for grain purification using technical vision.

Key words: optical separator, photoseparators, grain material, grain cleaning, camera, vibrating feeder.

Введение

Очистка зерна – это важнейшая процедура, необходимая для удаления примесей из продукции, она позволяет предотвратить потери зерновой массы или минимизировать их.

Благодаря очистке зерна увеличивается срок хранения зерновых культур, снижается влажность, удаляются различные микроорганизмы, при этом повышается качество продукта, поэтому важно, чтобы сельскохозяйственные предприятия имели устройства, способные в результате выдавать максимально качественный продукт.

В настоящее время существуют различные технические средства для очистки зерна от зернометателей до более инновационных – фотосепараторы. Фотосепаратор – это аппарат, который оснащен оптическим зрением, разделяет сырье на разные части в зависимости от характеристик (например, цвет, форма) [1, 2].

Предположительно фотосепараторы впервые изобрели в Японии или Китае для сортировки риса. В советское время в Ленинграде был создан экспериментальный экземпляр, но он в масштабное производство так и не вошел.

Необходимо отметить, что в 2013 г. на базе Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления был разработан свой прототип фотосепаратора, на который имеется патент [3–6].

Цель исследования – выявление наиболее эффективных фотосепараторов, исходя из стоимости оборудования, предложение вариантов модификации существующих оптических устройств.

Материалы и методы исследования

Для достижения поставленной цели были отобраны фотосепараторы по их рекламным брошюрам.

Общий принцип работы фотосепаратора заключается в следующем (рис. 1).

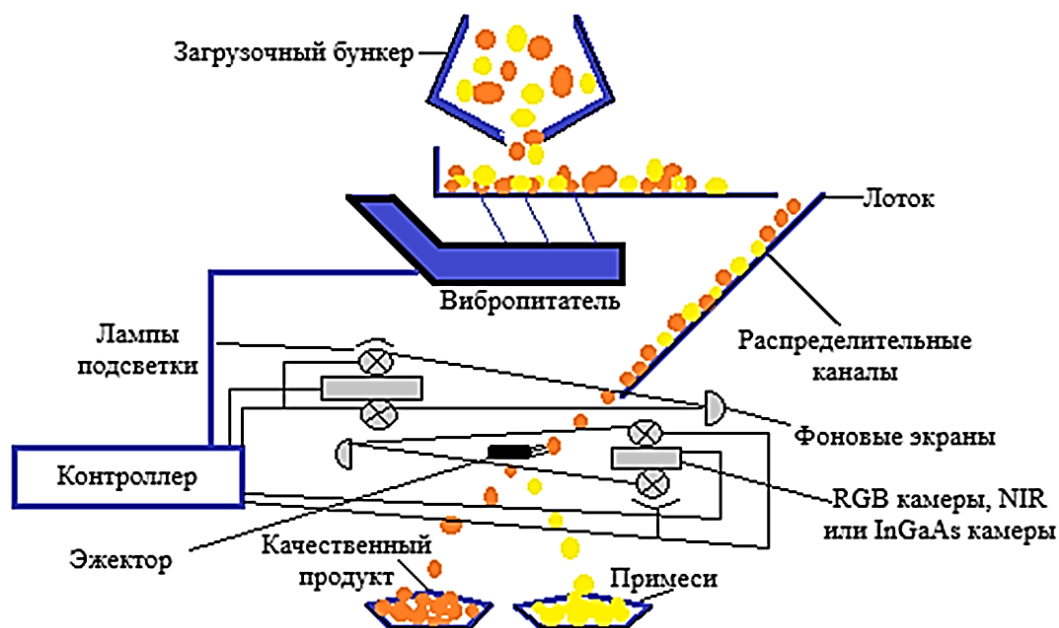


Рисунок 1 – Общий принцип работы фотосепаратора

В специальную емкость – бункер – подается сырье, начинает работать вибропитатель, с помощью вибрации зерно начинает двигаться.

Зерно попадает в лоток, который выравнивает зерно по скорости и дальнейшей подачи в следующий специальный отсек осмотра, в котором расположены две камеры.

Зерно спускается вниз, в камерах устанавливаются необходимые параметры для сортировки с помощью программного обеспечения, например, какое зерно нужно удалить. Камера распознает качественный продукт от примесей. Ниже расположен эжектор, через камеру подается сигнал и с помощью поступательных движений примеси выталкиваются из общего потока зерна.

Качественный продукт в свободном падении летит в соответствующий короб, а примеси, из-за сжатого воздуха меняя направление движения, попадают в другую секцию [7–9].

Применение сортировщиков по цвету позволяет снизить себестоимость производства. Трудозатраты значительно снижаются благодаря автоматизации этапа очистки конечного продукта. Возможность использовать вторичную сортировку продукта на сепараторах без каких-либо дополнительных усилий обеспечивает минимизацию потерь продукта.

Лидирующими странами в производстве фотосепараторов являются Япония (Toyo, Satake), Швейцария (Buhler Sortex), Китай (Meyer, Taiho и AMD), Германия (OptoSelector 901), Италия (Sea), Бельгия (Mandrel), Бразилия (Tecnostral), Южная Корея (Daewon Csi), Индия (Marc Promech Industries) и др. Примеры общего вида фотосепараторов представлены на рисунке 2.

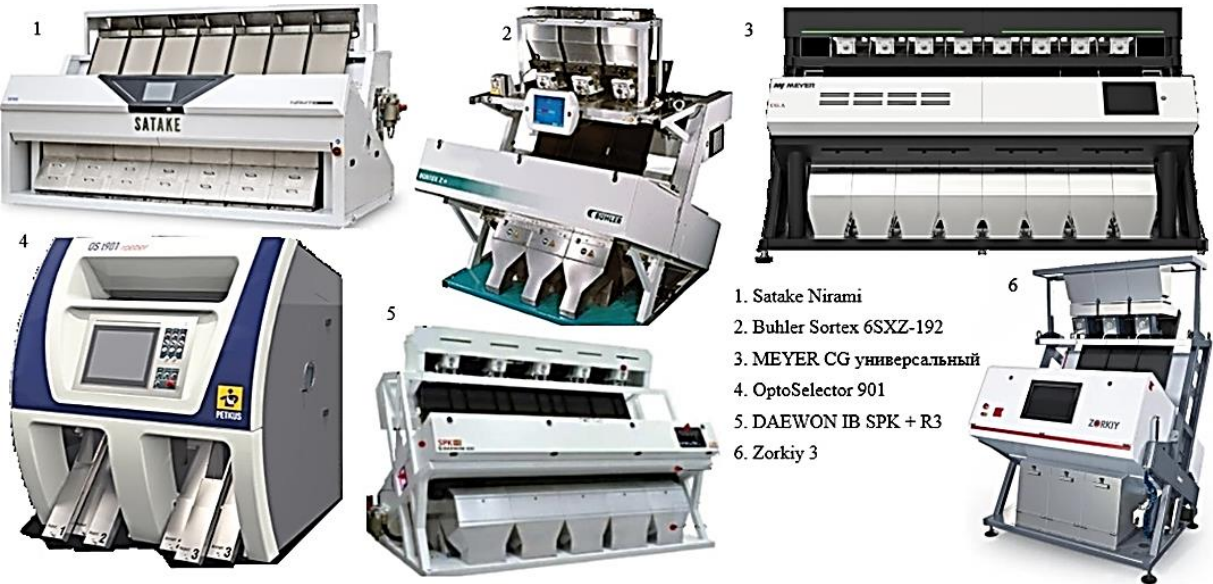


Рисунок 2 – Общий вид фотосепараторов

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты исследования сведены в таблицу.

Таблица

Технические характеристики фотосепараторов

Модель	Satake Nirami (Япония)	Buhler Sortex 6SXZ-192 (Швейцария)	MEYER CG универсальный (Китай)	OptoSelector 901 (Германия)	DAEWON IB SPK + R3 (Южная Корея)	Zorkiy 3 от CSort (Россия)
1	2	3	4	5	6	7
Производительность (т/ч)	9	5	5	15	20	12
Мощность (кВт)	1,5	1,5	2	2	3	1
Количество клапанов	252	77	240	–	260	162

Продолжение таблицы

1	2	3	4	5	6	7
Количество камер (шт.)	9	4	8	2	2	6–12
Количество лотков (шт.)	3	3	4	4	5	3
Потребление воздуха (л/с)	10–25	12,6	46	35	10-30	20
Габаритные размеры ДхШхВ (мм)	1633х1728х1720	1956х1615х1975	1891х1564х2020	1854х1627х2290	1825х1400х1790	1480х1511х2000
Стоимость (руб.)	6 000 000	4 000 000	4 315 000	19 710 000	7 000 000	2 750 000
Техническое зрение	RGB камера с LED подсветкой, ИК камера с LED подсветкой	камеры RGB с полным цветовым спектром, камеры NIR и INGAAS	камеры NIR и INGAAS	RGB-камеры	камеры RGB Spectral, камеры NIR / InGaAs	CCD-камеры модель может иметь комплектацию NIR или InGaAs камерами, в зависимости от требований к сортировке

Исходя из данных таблицы наибольшая производительность была у оптического сепаратора производства Южной Кореи (20 т/ч), наименьшая – швейцарского и китайского. Российский фотосепаратор по производительности был на 2-м месте после южнокорейского аналога. Все фотосепараторы имели схожие технические характеристики, при этом наиболее дорогой фотосепаратор из Германии стоимостью в 19 710 000 руб., самая низкая стоимость была у отечественного фотосепаратора – 2500000 руб. Как показал анализ фотосепараторов их стоимость очень высокая. Поэтому необходимо было разработать фотосепаратор с меньшей стоимостью для очистки зерна от трудноотделимых примесей (татарской гречишки и др.).

Если рассматривать инновационность фотосепараторов, то наиболее высокотехнологичным фотосепаратором являлось машинное устройство из Южной Кореи (рис. 3). Одним из показателей высокотехнологичности является то, что в этом устройстве эжектор был разработан по инновационной технологии, он имел отличные характеристики долговечности и точности, срок службы – 5 млрд использований. Преимущества описываемого устройства в том, что:

- впервые в мире в нем автоматическое обновление экрана для Android;
- функция проверки/контроля и уведомления связана с мобильным телефоном;
- отображение баланса белого идет в реальном времени, настройка чувствительности по цвету и типу дефекта;
- автоматическая коррекция изображения;
- использование камеры RGB Spectral для сортировки по цвету и форме;
- использование камеры NIR / InGaAs для определения примесей;
- автоматическая регулировка яркости в зависимости от внутренних/внешних условий;
- применение сверхскоростного/точного воздушного клапана;
- автоматическая регулировка подачи в зависимости от количества дефектного сырья;
- легкая очистка, большой объем пылеуловителя;
- конструкция выгрузки дефектной продукции, соответствующая стандартам НАССР и исключаяющая потерю хорошей продукции;

- повышение обычной точности распознавания дефектов с 0,14 до 0,07 мм (разрешение улучшилось в 2 раза);
- использование RED & BLUE LED улучшает способность распознавания цвета.



Рисунок 3 – Фотосепаратор DAEWON IB SPK + R3, Южная Корея

Принцип работы южнокорейского фотосепаратора. Зерно или другое сырье подается на лоток потоком (сыплется сверху вниз). Спереди и сзади на каждом лотке установлено по две камеры. Во время прохождения потока зерна через фотосепаратор каждое зерно снимает фотокамера, специально настроенная на особенности материала.

Применяется чувствительная оптика, что позволяет различать зерна по малейшим изменениям в цвете. Камеры работают настолько быстро и точно, что каждое зерно сканируется 20 тыс. раз. То есть на каждом лотке производится 40 тыс. фотоснимков в секунду. При обнаружении зерна другого цвета оно выдувается при помощи специального эжектора.

Таким образом, фотосепаратор помогает быстро и максимально эффективно отсортировать материал по цвету с точностью свыше 99,99 %. Помимо сортировки по цвету оборудование различает зерно по размеру, форме и влажности. Кроме того, компания Daewon GSI разработала уникальную камеру, которая способна выполнять одновременно 2 функции: определять цвет и влажность материала. Такая камера подходит для сортировки крупы.

Компания Daewon GSI поставляет свое оборудование в 40 стран мира (Вьетнам, Япония, Греция, Египет, Индия, Турция, Китай, Пакистан, Таиланд, Швеция и т. д.). Также компания из Кореи уже работает с Россией и заинтересована в расширении партнерских связей на российском рынке.

Оборудование компании Daewon GSI доказало свою высокую эффективность на лучших предприятиях по обработке крупы и зерна в Алтайском и Краснодарском крае и в других регионах России.

Тем не менее стоит более подробно рассмотреть фотосепаратор отечественного производства (рис. 4), не уступающий по техническим характеристикам зарубежным аналогам. Оптический сепаратор Zorkiy 3 от компании CSort производится в Алтайском крае в г. Барнаул. Это инновационное высокопроизводительное оборудование для очистки сыпучего сырья различного назначения от различных примесей.

На основе анализа цвета сыпучего сырья различного назначения происходит сортировка различных примесей от качественного продукта, что позволяет достичь чистоты зерна

на необходимом уровне. Неочищенное зерно из внешнего бункера поступает на вибропитатель, зерновой ворох начинает с определенной скоростью двигаться по распределительным каналам в зону обследования.

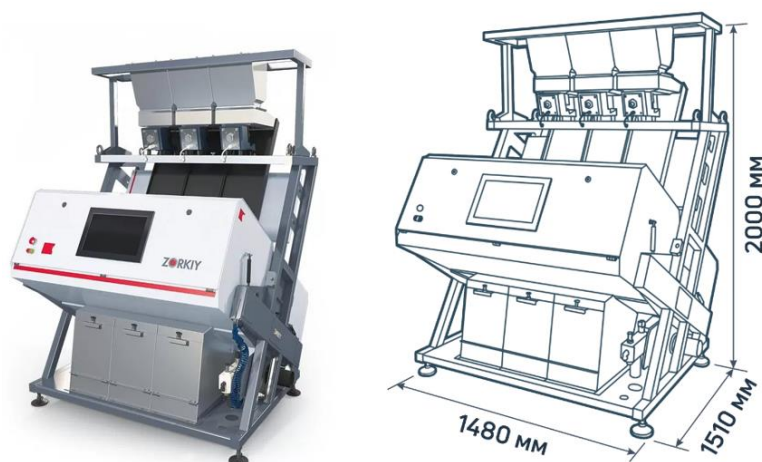


Рисунок 4 – Фотосепаратор Zorkiy 3 от CSort

Оптоэлектронные чувствительные элементы, которые в созданных условиях освещенности могут уловить малейшие цветовые отличия в потоке зерна, преобразуют полученную информацию в электросигналы, сенсоры передают ее для обработки компьютерной системе управления.

Если система находит семя, отличное от общего фона по цвету, то выдает команду на открытие соответствующего пневмоклапана, который находится ниже на пути следования массы. Некачественный продукт выдувается в один бункер, а качественный попадает в другой.

На рисунке 5 показана схема работы сепаратора Zorkiy. Зерновой материал с определенной скоростью, которую задает вибропитатель, высыпается вниз. Далее две пары камер осматривают зерновой материал на экране при соответствующем свете, который создается специальными светодиодными лампами. Примесь выталкивается в патрубок негодного продукта. Качественное зерно поступает в другой патрубок в одном направлении.

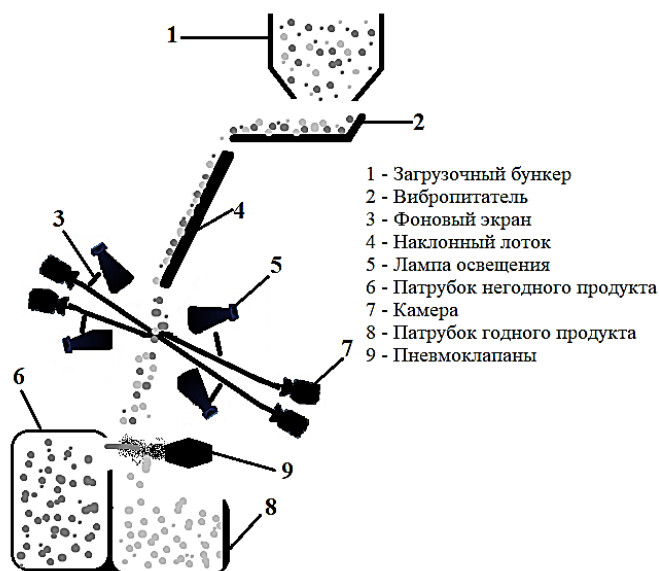


Рисунок 5 – Схема работы фотосепаратора Zorkiy 3 от CSort

В оптическом сепараторе Zorkiy установлены CCD-камеры. 2048-пиксельная CCD-камера японского производства с разрешением 0,13 мм (рис. 6). Это улучшает качество сортировки благодаря высокой детализации изображения сортируемого материала.

Сенсорный экран компьютерной системы с диагональю 15,6 дюйма визуализирует все функциональные параметры и анализируемый сигнал. Специальные функции помогают отображать и анализировать видео/фотоизображение сортируемых частиц. Разнообразие конфигураций камер цветкового сортировщика помогает выбрать идеальный набор контрольных камер в зависимости от задач сортировки.

Ширина воздушных форсунок составляет 4,5 мм, что позволяет точно удалять некачественный продукт как крупной, так и мелкой фракции, сводя к минимуму потери качественного продукта в процессе сортировки.

Эжекторы устанавливаются непосредственно в сопловой узел, что сокращает время реагирования на выброс некачественного продукта. Гарантированное качество работы эжектора составляет 500 млн циклов при рабочей скорости. Эта конструкция обеспечивает низкий расход воздуха.



Рисунок 6 – Камера, используемая в фотосепараторе Zorkiy

Применение нейронного алгоритма означает, что программа способна научиться идентифицировать набор наиболее сложных признаков, описывающих такие критерии сортировки, как интенсивность продукта или дефект, форма, размер, пятнистость, мерцание и т. д. В фотосепаратор встроена система охлаждения, а избыточное давление в корпусе исключает попадание пыли.

Несмотря на то что проектируются и изготавливаются фотосепараторы Zorkiy в России, большинство комплектующих закупается за рубежом. Например, пневмоклапаны – итальянские; CCD-камеры – японские и т. д.

Применение качественных компонентов, конечно же, позволяет выйти на срок службы 5 лет. По опыту эксплуатации машин в CSort заявляют, что около 7–8 лет фотосепаратор будет работать без каких-либо поломок. Затем могут возникнуть проблемы с естественным износом пневматических узлов и электроники.

Если учитывать текущую ситуацию и санкции, то можно предположить, что вероятны сбои в поставке нужных комплектующих, а также увеличение их стоимости. Поэтому важно искать новых поставщиков или заменять зарубежные детали на отечественные при их наличии.

Например, вместо дорогостоящих японских CCD-камер закупать качественные китайские аналоги.

Сортировка по цвету – это наиболее детальный способ очистки зернового материала. Зерна не подвергаются какой-либо механической обработке или калибровке, которые могут

повредить продукты. Применение цветных сортировщиков обеспечивает получение однородных продуктов с чистотой 99,9 % и высокой потребительской привлекательностью [10].

Все большее число сельскохозяйственных производителей предпочитают использовать фотоэлектронные сепараторы в процессе сортировки.

Для сохранности всего зернового материала очень важен показатель влажности, так как зерновой продукт можно сохранять длительное время с минимальными потерями, если он находится в сухости, т. е. когда в них нет свободной воды. Из-за влажности быстро развивается плесень и т. д., что сказывается на общем качестве этого продукта, поэтому считаем важным на этапе сортировки также определять и влажность сырья [11–15]. В фотосепараторе компании DAEWON из Южной Кореи есть функции определения влажности сортируемого продукта. Это стало возможным за счет разработки камер, оснащенных специальными датчиками.

В ВСГУТУ разработан сепаратор, использующий техническое зрение [3–6], который может быть применен для очистки зерна от трудноотделимых примесей (татарской гречишки). Однако для внедрения необходимо провести исследования по обоснованию угла наклона распределительного лотка при движении по нему татарской гречишки. А также разработать устройство, пневмосистему для отделения татарской гречишки.

Заключение

Анализ зарубежных фотосепараторов, показал, что их стоимость очень высока. Разработаны отечественные фотосепараторы, которые в целом не уступают зарубежным аналогам по своей технологичности и эффективности. Тем не менее у зарубежных существуют устройства, способные определять влажность сырья, что является важнейшей функцией для качественной обработки зерна с наименьшей его потерей.

Поэтому необходимо разработать фотосепаратор с меньшей стоимостью для очистки зерна от трудноотделимых примесей (татарской гречишки и др.), а также отечественное устройство – пневмосистему для отделения трудноотделимых примесей.

Библиография

1. Ямпилов С.С., Стукалова А.В. Анализ современных конструкций зернопультов // Образование и наука: материалы конф. – Улан-Удэ: Изд-во ВСГУТУ, 2021. – С. 23–30.
2. Ямпилов С.С., Дармаев А.Ж., Стукалова А.В. Современные фотосепараторы для очистки зерна // Образование и наука: материалы конф. – Улан-Удэ: Изд-во ВСГУТУ, 2022. – С. 52–56.
3. Патент RU №2468872. В07С 5/342 Устройство для сортировки зерна / Ямпилов С.С. Цыдыпов Ц.Ц., Жигжитов А.О. // Патентообладатели: Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления». – Заявка № 2011144345, заявл. 1. 11. 2011; опубл. 10.12.2012.
4. Ямпилов С.С., Батуева С.В., Хандакова Г.Ж. и др. Разработка программного обеспечения сепаратора для очистки зерна // Вестник ИрГСХА. – 2017. – Вып. 81. – С. 171–178.
5. Ямпилов С.С., Хандакова Г.Ж., Сангадиев А.С. Обоснование конструкции компьютерного сепаратора для очистки зерна // Техника и технологии продуктов питания: материалы конф. – Улан-Удэ, 2016. – С. 195–201.
6. Патент RU №2495728 В07В 13/00. Устройство для сортировки зерна / Ямпилов С.С. Цыдыпов Ц.Ц., Жигжитов А.О., Хаптагаева С.И., Будаев А.Б. // Патентообладатели: Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления». – Заявка № 2012121083/03, заявл. 22. 05. 2012; опубл. 20.10.2013.
7. Иванов А.М., Шаронова Т.В., Иванов Д.В. Фотосепараторы для зерна // Студенческая наука – первый шаг в академическую науку: материалы конф. – Чебоксары: Изд-во Чувашской гос. сельскохозяйственной академии, 2018. – С. 78–81.

8. *Мекишун Ю.Н., Овчинников Д.Н., Новикова В.А. и др.* Применение фотосепаратора при выделении трудноотделимых примесей // Приоритетные направления развития энергетики в АПК: материалы конф. – Лесниково: Изд-во Курганской гос. сельскохозяйственной академии им. Т.С. Мальцева, 2017. – С. 79–82.
9. *Лерке В.В., Надвоцкая В.В.* Анализ технических характеристик фотосепараторов для технического переоснащения технологической линии // Программно-техническое обеспечение автоматизированных систем: материалы конф. – Барнаул: Изд-во Алтайского гос. технич. ун-та им. И.И. Ползунова, 2019. – С. 17–20.
10. *Тищенко А.И.* Повышение качества сыпучих зерновых продуктов на основе разработки и применения многокритериальных фотоэлектронных сепараторов: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.02 / А.И. Тищенко. – Барнаул, 2000. – 304 с.
11. *Толмачев В.Д., Лебедев Д.В.* Актуальность применения фотосепараторов в технологическом процессе // Символ науки. – 2019. – № 6. – С. 234–238.
12. Патент RU №2607537 B07C 5/300 Фотосепаратор / Савинков М.В., Галкин Е.В., Никулин Ю.Н. // Патентообладатели: Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Чувашской государственной сельскохозяйственной академии». – Заявка № 207611445, заявл. 17. 11. 2016; опубл. 10.01.2017.
13. *Ямпиллов С.С.* Технологическое и техническое обеспечение ресурсо-энергосберегающих процессов очистки и сортирования зерна и семян. – Улан-Удэ: Изд-во ВСГУТУ, 2003. – 196 с.
14. *Ямпиллов С.С., Цыбенков Ц.Ц., Жигжитов А.О. и др.* Теоретическое описание процесса разделения частиц зернового материала // Вестник ВСГУТУ. – 2022. – № 4. – С. 40–44.
15. *Абидуев А.А., Раднаев Д.Н., Тогмидон А.Ю.* Очистка семенного зерна ячменя в условиях Республики Бурятия // Вестник ВСГУТУ. – 2023. – № 1. – С. 46–55.

Bibliography

1. *Yampilov S.S., Stukalova A.V.* Analysis of modern designs of grain consoles // Education and science: conference materials. – Ulan-Ude: ESSUTM Publishing House, 2021. – P. 23–30.
2. *Yampilov S.S., Darmaev A.Zh., Stukalova A.V.* Modern photo separators for grain cleaning // Education and science: conference materials. – Ulan-Ude: ESSUTM Publishing House, 2022. – P. 52–56.
3. RU patent N 2468872. B07C 5/342 Device for sorting grain /Yampilov S.S. Tsydypov Ts.Ts., Zhigzhitov A.O. // Patent holders: Federal State Educational Institution of Higher Professional Education "East Siberian State University of Technology and Management". – Application N 2011144345, applied 1.11.2011, published 10.12.2012.
4. *Yampilov S.S., Batueva S.V., Khandakova G.Zh. et al.* Development of separator software for grain cleaning // Bulletin of IrGSHA. – 2017. – Iss. 81. – P. 171–178.
5. *Yampilov S.S., Khandakova G.Zh., Sangadiev A.S.* Justification of design of computer separator for grain cleaning // Equipment and food technologies: conference materials. – Ulan-Ude, 2016. – P. 195–201.
6. Patent RU N 2495728 B07B 13/00. Device for sorting grain / Yampilov S.S. Tsydypov Ts.Ts., Zhigzhitov A.O., Khaptagaeva S.I., Budaev A.B. // Patent holders: Federal State Educational Institution of Higher Professional Education "East Siberian State University of Technology and Management". – Application N 2012121083/03, applied 22.05.2012; published 10.20.2013.
7. *Ivanov A.M., Sharonova T.V., Ivanov D.V.* Photoseparators for grain // Student science - the first step into academic science: conference materials. – Cheboksary: Publishing House of the Chuvash State Agricultural Academy, 2018. – P. 78–81.
8. *Mekshun Yu.N., Ovchinnikov D.N., Novikova V.A. et al.* Application of photoseparators in sorting of hard-to-separate impurities // Priority directions for the development of energy in the agro-industrial complex: conference materials. – Lesnikovo: Publishing house of the Kurgan State Agricultural Academy T.S. Maltseva, 2017. – P. 79–82.
9. *Lerke V.V., Nadvotskaya V.V.* Analysis of technical characteristics of photoseparators for technical re-equipment of production line // Software and hardware support for automated systems: conference materials. – Barnaul: Publishing house of Polzunov Altai State Technical University, 2019. – P. 17–20.
10. *Tishchenko A.I.* Improving the quality of bulk grain products based on the development and application of multi-criteria photoelectronic separators: diss. for .Cand. Sc. Engineering: 05.20.02 / A.I. Tishchenko. – Barnaul, 2000. – 304 p.

11. Tolmachev V.D., Lebedev D.V. Relevance of using photoseparators in technological process // Symbol of Science. – 2019. – N 6. – P.234–238.
12. Patent RU N 2607537 B07C 5/300 Photo sorter. / Savinkov M.V., Galkin E.V., Nikulin Yu.N. // Patent holders: Federal State Educational Institution of Higher Professional Education "Chuvash State Agricultural Academy". – Application N 207611445, applied 17.11.2016; published 01/10/2017.
13. Yampilov S.S. Technological and technical support for resource-energy-saving processes of cleaning and sorting grain and seeds. – Ulan-Ude: Publishing House of ESSUTM, 2003. – 196 p.
14. Yampilov S.S., Tsybenov Ts.Ts., Zhigzhitov A.O. et al. Theoretical description of grain particle separation process // The Bulletin of ESSTUM. – 2022. – N 4. – P. 40–44.
15. Abiduev A.A. Radnaev D.N., Togmidon A.Yu. Cleaning barley seed grain in conditions of the Republic of Buryatia // The Bulletin of ESSTUM. – 2023. – N 1. – P. 46–55.