



Анализ конструкций и технологического процесса зерноочистительных машин, работающих по пневмофракционной технологии (обзор)

© 2025. А. А. Глушков✉

ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», г. Киров, Российская Федерация

Фракционирование зернового вороха на стадии предварительной очистки позволяет снизить суммарные энергозатраты на переработку зерна и его травмирование за счёт уменьшения количества операций очистки, необходимых для получения высококачественного семенного материала. Целью обзора является анализ конструкций и технологического процесса зерноочистительных машин, работающих по пневмофракционной технологии, для выявления перспективных направлений исследований в этой области. Установлено, что пневмосепараторы зерна имеют простую конструкцию и высокую производительность, которая не зависит от засорённости и влажности исходного материала. Однако их применение в режиме предварительной очистки ограничено в связи с низким эффектом очистки зерна от крупных и мелких примесей из-за отсутствия соответствующих решётных рабочих органов. Для разделения зерна на фракции воздушным потоком используются универсальные воздушно-решётные зерноочистительные машины. Это высокопроизводительные двухаспирационные машины, первая аспирация которых выделяет из обрабатываемого материала лёгкие примеси, а вторая – фуражную фракцию, в которую входит щуплое, дроблёное и биологически неполноценное зерно. Применение данных машин в режиме предварительной очистки позволит снизить травмирование зерна, так как после выделения фуражной фракции на выходе получается более чистый материал, требующий меньшего числа операций по его дальнейшей очистке. При разработке новых воздушных систем машин предварительной очистки зерна, работающих по пневмофракционной технологии, необходимо в их конструкции учесть использование: диаметральных вентиляторов, так как они хорошо komponуются с другими элементами и создают равномерный воздушный поток по всей ширине, что положительно влияет на эффективность сепарации материала; пневмосепарирующих каналов с развитой нижней частью и оптимальными параметрами, соответствующими их удельной нагрузке, способствующих достижению максимальной эффективности выделения лёгких примесей и фуражного зерна. Выделение из зерна фуражной фракции до очистки на решетках снижает нагрузку на подсевные и сортировальные решета и повышает качество очищенного материала на выходе.

Ключевые слова: зерно, послеуборочная обработка зерна, фракционная технология, аэродинамический сепаратор, травмирование зерна

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого» (тема № FNWE-2022-0002).

Автор благодарит рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: автор заявил об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Глушков А. А. Анализ конструкций и технологического процесса зерноочистительных машин, работающих по пневмофракционной технологии (обзор). Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2025;26(3):519–535. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.3.519-535>

Поступила: 19.03.2025

Принята к публикации: 12.05.2025

Опубликована онлайн: 30.06.2025

Analysis of the design and technological process of grain cleaning machines operating on pneumatic fractional technology (review)

© 2025. Andrei L. Glushkov✉

Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Kirov, Russian Federation

Fractionation of grain heap at the pre-cleaning stage reduces the total energy consumption for grain processing and its injury by reducing the number of cleaning operations required to obtain high-quality seed material. The purpose of the review is to analyze the design and technological process of grain cleaning machines operating on the pneumatic fractional technology in order to identify promising areas of research in this field. It was found that grain pneumatic separators have a simple design and high productivity, which does not depend on the contamination and humidity of the source material. However, their use in the preliminary cleaning mode is limited due to the low effect of cleaning grain from coarse and fine impurities due to the lack of appropriate sieve working bodies. Universal air-sieve grain cleaning machines are used to separate grain into fractions by air flow. These are high-performance double-aspiration machines, the first aspiration of which separates light impurities from the processed material, and the second removes the forage fraction, which includes puny, crushed and biologically defective grain. The use of these machines in the pre-cleaning mode will reduce grain injury, since after separation of the forage fraction, a cleaner material is obtained at the outlet, requiring fewer operations for

further cleaning. When developing new air systems for grain pre-cleaning machines operating on the pneumatic fractional technology, it is necessary to take into account the use in their design of: cross flow fans, since they are well combined with other elements and create a uniform air flow across the entire width, which has a positive effect on the efficiency of material separation; aspiration channels with a developed lower part and optimal parameters corresponding to their specific load, contribute to achieving maximum efficiency in separating light impurities and forage grain. The separation of the forage fraction from grain before cleaning on sieves reduces the load on the sifting and grading sieves and improves the quality of the cleaned material at the outlet.

Keywords: grain, post-harvest grain processing, fractional technology, aerodynamic separator, grain injury

Acknowledgement: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky (theme No. FNWE-2022-0002).

The author thanks the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

Conflict of interest: the author stated no conflict of interest.

For citation: Glushkov A. L. Analysis of the design and technological process of grain cleaning machines operating on pneumatic fractional technology (review). *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2025;26(3):519–535. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.3.519-535>

Received: 19.03.2025

Accepted for publication: 12.05.2025

Published online: 30.06.2025

Главной задачей агропромышленного комплекса (АПК) Российской Федерации является удовлетворение потребности населения в продуктах питания и обеспечение продовольственной безопасности страны. Традиционно главным сектором агропромышленного комплекса является сельское хозяйство, основной отраслью которого и фундаментом АПК в целом – производство зерновых культур. За последние 10 лет производство сельскохозяйственной продукции в Российской Федерации выросло более чем на 30 %, а урожай зерновых в 2023 году стал вторым по объему в новой истории Российской Федерации после рекордного урожая 2022 года. По данным Росстата, в 2023 году валовой сбор зерна в весе после доработки составил 145 млн тонн, что ниже уровня 2022 года на 8 % (157,6 млн тонн)¹.

Стабильное наращивание объёма производства зерна является ключевой задачей АПК. В первую очередь, рост производства зерна должен обеспечиваться посредством повышения урожайности зерновых культур, нежели увеличением площадей посева.

Одной из причин невысокой урожайности зерновых является низкое качество посевного материала. По данным ФГБУ «Россельхозцентр», в нашей стране высевается порядка 20 % некондиционных по всхожести и засорённости семян яровых зерновых и зернобобовых культур².

Наличие некондиционных по всхожести семян не является следствием их биологической неполноценности. В качестве одной из причин снижения всхожести семян выступает высокий уровень их травмирования при уборке и послеуборочной обработке [1, 2]. Очень часто технологические линии не обеспечивают получение высококачественных семян за один пропуск, поэтому семенной материал через них приходится пропускать несколько раз [3, 4, 5, 6]. Известно, что за счёт воздействия рабочих органов и большой протяжённости технологической линии микротравмирование семян при каждом пропуске повышается на 20 % [7]. Суммарный уровень травмирования зерна при уборке и послеуборочной обработке нередко может достигать до 80...90 %. Установлено, что каждые 10 % травмированных семян снижают урожайность культур на 1,0...2,5 ц/га [2, 8].

На снижение всхожести семян также оказывает влияние несвоевременная обработка поступающего от комбайнов зернового вороха из-за недостаточной производительности зерноочистительных агрегатов. При высокой урожайности в хозяйствах наблюдаются большие «завалы» свежесобранного зернового вороха, который складывается и временно хранится на асфальтированных площадках зернотоков.

¹Стратегия развития агропромышленного и рыбохозяйственного комплексов Российской Федерации на период до 2030 года (с изменениями на 7 февраля 2025 года). Распоряжение Правительства Российской Федерации от 8 сентября 2022 года № 2567-р. [Электронный ресурс]. URL: <http://government.ru/docs/all/143037/> (дата обращения: 06.03.2025).

²Качество семян яровых зерновых и зернобобовых культур в Российской Федерации по результатам мониторинга филиалами ФГБУ «Россельхозцентр» на 21 декабря 2022 года. Информационный листок Россельхозцентра № 13/2022 Исх. № 1-8/2666 от 22.12.2022 г. Российский Сельскохозяйственный центр. [Электронный ресурс]. URL: <https://old.rosselkhozcenter.ru/index.php/priroda/analitika?start=156> (дата обращения: 29.01.2025).

Кроме полноценного зерна, в таком ворохе содержатся биологически неполноценное и травмированное зерно основной культуры, семена различных культурных и сорных растений, а также примеси органического и минерального происхождения. Часть этих компонентов, а именно биологически неполноценное зерно и сорные примеси чаще всего обладают более высокой влажностью, которая быстро передаётся семенам основной культуры при совместном хранении. В результате семена самосогреваются, поражаются микроорганизмами, что приводит к ухудшению их посевных и продовольственных качеств [2, 6, 7, 9, 10]. Установлено, что в зерновом ворохе, содержащем 5...10 % сорной примеси, в 2...3 раза интенсивнее, чем при засоренности 1 %, развиваются плесневелые грибы, в 2...4 раза возрастает интенсивность дыхания и на 6...12 % снижается энергия прорастания семян [2].

Таким образом, чтобы при послеуборочной обработке зерна получить высококачественный семенной материал, необходимо снижать травмирование зерна рабочими органами зерноочистительных машин и транспортирующих устройств, незамедлительно очищать поступающий от комбайнов зерновой ворох от примесей, а также выделять щуплое, дроблёное и биологически неполноценное зерно с низкими посевными качествами [2, 6, 10, 11].

Решить данную задачу можно за счёт применения фракционной технологии послеуборочной обработки зернового вороха. При этой технологии зерновой ворох на первом этапе очищают от примесей и разделяют на семенную (полноценное зерно основной культуры) и фуражную (мелкое, щуплое, битое, дроблёное, биологически неполноценное зерно) фракции.

Далее происходит сушка семенной фракции с соблюдением мягких тепловых режимов, что положительно сказывается на качестве семян. Следует отметить, что по сравнению с поточной технологией послеуборочной обработки зернового вороха при фракционной в сушилку семенного зерна поступает более чистый материал, имеющий меньшую влажность. Фуражную фракцию можно направлять на сушку при более жёстком режиме, например, в барабанных сушилках, или плющение, что даёт возможность проводить консервацию кормов без операции сушки [12, 13]. Все это позволяет снизить суммарные энергозатраты

на переработку зерна, сезонную нагрузку на сушилку семенного зерна и семяочистительные машины и при этом повысить производительность всего комплекса [14, 15, 16, 17]. Кроме того, поступающий на окончательную обработку более чистый семенной материал позволяет сократить число операций по его очистке. При этом существенно уменьшается количество механических воздействий на семена и соответственно их травмирование [4, 5, 11, 15].

Одним из наиболее эффективных способов разделения зернового материала на фракции является пневмофракционирование (разделение на фракции воздушным потоком). Этот способ имеет ряд преимуществ по сравнению с разделением на решётах: простота конструкции; высокая удельная производительность, которая не зависит от засорённости и влажности зернового материала; возможность выделения фракции семян с более высокой всхожестью; низкая травмируемость зерна при обработке [13, 14, 17, 18].

Цель обзора – анализ конструкций и технологического процесса зерноочистительных машин, работающих по пневмофракционной технологии, для выявления перспективных направлений исследований в этой области.

Материал и методы. Материалом для анализа служили научные труды отечественных учёных, а также веб-сайты известных производителей зерноочистительной техники. Поиск научных работ проводили путем мониторинга библиографических баз данных, научных электронных библиотек с поисковыми системами: Web of Science; Scopus; eLIBRARY.RU; Cyberleninka; Google Scholar. Критериями отбора служили ключевые слова: фракционная технология; фракционирование зернового материала; пневмосепаратор; аэродинамический сепаратор; воздушный сепаратор; ворохоочиститель; фракционер; зерноочистительная машина; воздушно-решётная машина; post-harvest grain processing; fractional technology; grain cleaning machine; air separator. В соответствии с целью обзора отобраны и изучены данные 30 источников, большинство из которых опубликовано за последние десять лет. В исследовании применяли методы комплексного изучения, сравнения, обобщения и анализа данных.

Основная часть. Анализ конструкций и технологического процесса пневмосепараторов зерна. Пневмосортировальные машины семейства ПСМ³ [19] (рис. 1) (ПСМ-0,5М,

³Стационарные пневмосортировальные машины. АО «Кузнецовский РМЗ». [Электронный ресурс]. URL: <https://k-rmz.ru/catalog/stacionarnye/> (дата обращения: 03.02.2025).

ПСМ-2,5М, ПСМ-5М, ПСМ-10М) (АО «Кузнецовский РМЗ», Россия) производительностью от 0,5 до 10 т/ч предназначены для вторичной очистки семян различных сельско-

хозяйственных культур от трудноотделимых примесей, щуплого, дроблёного и биологически неполноценного зерна, очистки продовольственного зерна

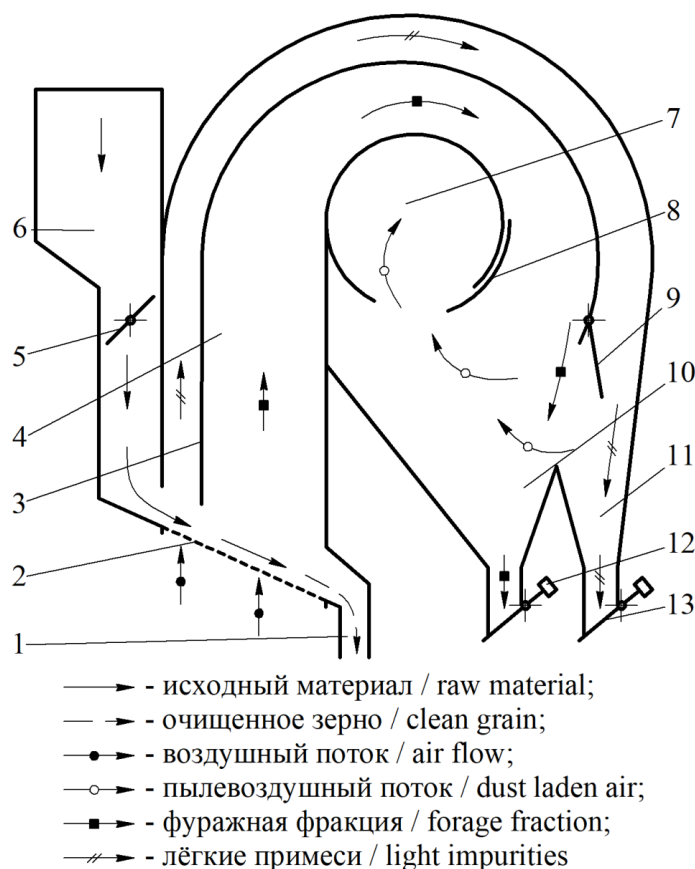


Рис. 1. Технологическая схема пневмосортировальных машин семейства ПСМ: 1, 12, 13 – устройства вывода фракций; 2 – опорная сетка; 3 – разделительная стенка; 4 – пневмосортировальный канал; 5 – регулятор подачи зерна; 6 – приёмный бункер; 7 – выходной патрубок; 8, 9 – дроссельные заслонки; 10, 11 – осадочные камеры /

Fig. 1. Technological scheme of pneumatic sorting machines of the PSM family: 1, 12, 13 – fraction outlet devices; 2 – support grid; 3 – dividing wall; 4 – pneumatic sorting channel; 5 – grain feed regulator; 6 – inlet hopper; 7 – outlet pipe; 8, 9 – throttle valves; 10, 11 – sedimentation chambers

Машина ПСМ состоит из приёмного бункера 6 с регулятором подачи зерна 5, пневмосортировального канала 4 с опорной сеткой 2, разделённого стенкой 3 на две части, осадочных камер 10 и 11, устройств для вывода полученных фракций 1, 12, 13, дроссельных заслонок 8, 9, радиального вентилятора (на рисунке не показан), присоединённого к выходному патрубку 7. Для очистки отработанного воздуха от пыли комплектуется тканевым фильтром.

На опорной сетке 2 пневмосортировального канала 4 под действием воздушного потока исходный материал делится на три фракции: лёгкие примеси; фуражное зерно (щуплое, дроблёное и биологически неполноценное); очищенное зерно. Очищенное зерно через устройство 1 выводится за пределы машины. Лёгкие примеси транспортируются

первой частью пневмосортировального канала 4 в осадочную камеру 11, а фуражная фракция поступает в камеру 10 через вторую часть канала 4.

Машины семейства ПСМ обладают низкой степенью травмирования зерна, высокой эффективностью очистки за счёт большой глубины пневмосортировального канала и наличия опорной сетки, увеличивающих время взаимодействия воздушного потока с материалом. К недостаткам можно отнести использование для очистки отработанного воздуха тканевого фильтра, который в процессе работы периодически забивается, что приводит к необходимости его обслуживания. Кроме того, радиальный вентилятор создает неравномерный поток воздуха по ширине машины.

Аэродинамические сепараторы семейства САД⁴ [20, 21] (рис. 2) позиционируются производителем (ООО «НПФ «Аэромех», Россия) как универсальные, то есть способные работать в режимах предварительной, первичной и вторичной (финишной) очистки зерна и семян

различных культур от примесей и неполноценного зерна воздушным потоком. В модельный ряд данных сепараторов входят машины производительностью в режиме первичной очистки зерна от 4 до 150 т/ч (САД-4, САД-5, САД-10, САД-15, САД-30, САД-50, САД-100, САД-150).

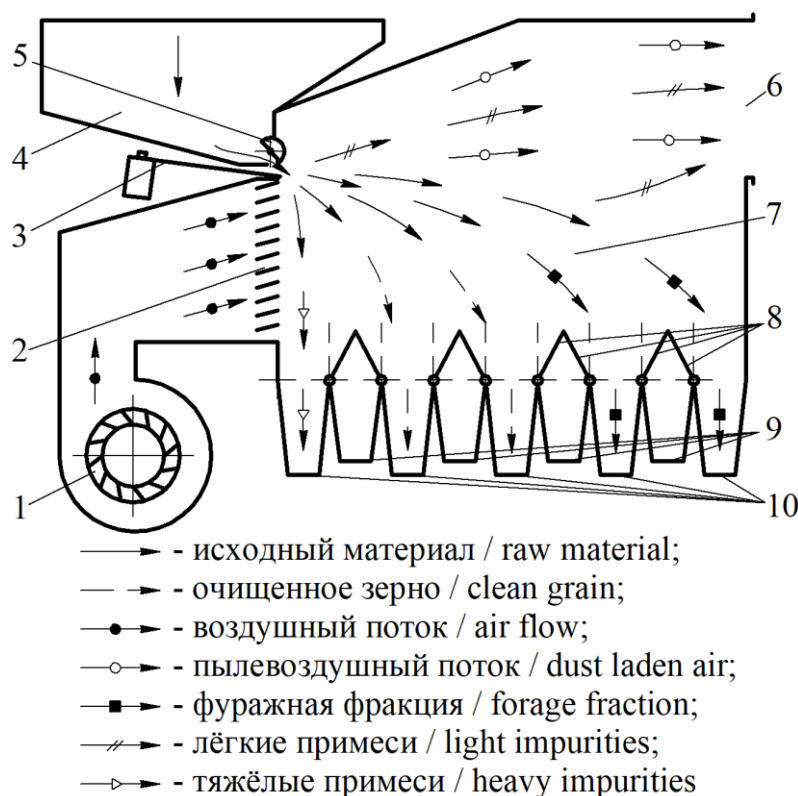


Рис. 2. Технологическая схема аэродинамического сепаратора семейства САД: 1 – вентилятор; 2 – струйный генератор; 3 – виброток; 4 – бункер; 5 – регулятор подачи зерна; 6 – выходной патрубок; 7 – камера сепарации; 8 – поворотные шторки; 9 – приёмники промежуточных фракций; 10 – приёмники основных фракций /

Fig. 2. Technological scheme of the aerodynamic separator of the SAD family: 1 – fan; 2 – jet generator; 3 – vibrating chute; 4 – hopper; 5 – grain feed regulator; 6 – outlet pipe; 7 – separation chamber; 8 – rotary flaps; 9 – intermediate fraction receivers; 10 – basic fractions receivers

Сепаратор САД состоит из бункера 4 с регулятором подачи 5 и вибротокком 3, радиального вентилятора 1, струйного генератора 2, камеры сепарации 7, выходного патрубка 6, приёмников основных 10 и промежуточных 9 фракций с поворотными шторками 8. Скорость воздушного потока в камере сепарации 7 регулируется за счёт изменения частоты вращения колеса вентилятора 1. Чёткость разделения материала на фракции регулируется за счёт изменения скорости воздушного потока и положения поворотных шторок 8 приёмников фракций 9 и 10.

При работе сепаратора материал, поступающий из бункера 4 в камеру сепарации 7,

под действием воздушных потоков, создаваемых вентилятором 1 и подготовленным струйным генератором 2, расслаивается в ней по аэродинамическим свойствам и делится на четыре фракции: тяжёлые примеси; очищенное зерно; фуражное зерно (щуплое, дроблёное и биологически неполноценное); лёгкие примеси. Полученные фракции, кроме лёгких примесей, поступают в соответствующие приёмники 10. Отработанный воздух вместе с лёгкими примесями удаляется из камеры сепарации 7 через выходной патрубок 6. При высокоточной очистке часть зерна отправляется через приёмники промежуточных фракций 9 в бункер возврата, а оттуда снова в бункер 4 с целью повторной обработки.

⁴Аэродинамические сепараторы «САД» от производителя НПФ «АЭРОМЕХ». [Электронный ресурс]. URL: <https://rosaeromeh.ru/> (дата обращения: 04.02.2025).

Сепаратор имеет высокое качество очистки зерна благодаря равномерной тонкослойной подаче, большим размерам камеры сепарации, струйному воздействию воздушного потока и повторной обработке промежуточных фракций материала. К недостаткам можно отнести сложность технологической настройки, большие габаритные размеры по высоте (до 3,85 м) и длине (до 3,83 м), высокую установленную мощность электродвигателей (до 31 кВт).

Аналогичное устройство и принцип работы имеют производимые в России аэродинамические сепараторы: Алмаз⁵ [22] (Алмаз МС-4/2, Алмаз МС-10/5, Алмаз МС-20/10, Алмаз МС-40/20, Алмаз МС-50/30, Алмаз МС-100/70) (ООО «Алмазсельмаш») производительностью при очистке продовольственного зерна от 4 до 100 т/ч, семян – от 2 до 70 т/ч; Класс⁶ (Класс 15МС5, Класс 25МС10, Класс 30МС10, Класс 50МС20) (ООО «Виктория») производительностью при очистке продовольственного зерна от 15 до 50 т/ч, семян – от 5 до 20 т/ч; Inventum⁷ (Inventum-5, Inventum-15 и Inventum-50) (Завод «Alter Bis») производительностью при очистке продовольственного зерна от 20 до 60 т/ч, семян – от 2,5 до 7 т/ч. Зарубежными аналогами сепараторов САД являются аэродинамические сепараторы ASM⁸ (ASM-70i, ASM-100i, ASM-301, ASM-601i) (ASM TECHNOLOGY Sp. z o.o., Польша), способные работать в режимах предварительной (до 100 т/ч), первичной (до 60 т/ч) и вторичной (до 30 т/ч) очистки зерна, а также сепараторы SA 60, SA 100, SA 150 и SA 200⁹ (Zanin S.r.l., Италия) производительностью от 1,2 до 12 т/ч.

Для улавливания лёгких примесей и пыли из отработанного воздуха сепараторы Класс имеют осадочную камеру, а Inventum – циклон. Сепараторы САД, Алмаз и ASM по желанию заказчика дополнительно комплектуются циклонами. В качестве генератора воздушного потока в пневмосепараторах Класс используется диаметральный вентилятор.

Пневмосепараторы получили широкое распространение за счёт относительно низкой

цены и простоты конструкции, при высокой производительности, практически не зависящей от влажности и засорённости обрабатываемого материала. Основным их недостатком является невысокий эффект очистки зернового материала от крупных и мелких примесей из-за отсутствия соответствующих решётных рабочих органов. Поэтому использование пневмосепараторов в режиме предварительной очистки свежесобранного вороха ограничено. Их место в системе послеуборочной обработки зерна – это финишная воздушная очистка при подготовке семян.

Анализ конструкций и технологического процесса воздушно-решётных зерноочистительных машин. Устранить основной недостаток пневмосепараторов позволяет использование при очистке зерна воздушно-решётных машин. Одними из представителей данных машин являются очистители-сепараторы для предварительной очистки зерна NSD1, NSD2 и NSD3¹⁰ (Denis, Франция) производительностью 25, 50, и 100 т/ч соответственно [23].

Очиститель-сепаратор NSD2 (рис. 3) содержит воздушную систему и решётную часть. Воздушная система двухаспирационная разомкнутого типа состоит из приёмного устройства 5 с распределительным лотком 4, вертикальных пневмосепарирующих каналов (ПСК) 6 и 16, нижние части которых выполнены наклонными, осадочных камер 7 и 14 с устройствами вывода фракций 8 и 15, всасывающего канала 12 с заслонкой 11, радиального вентилятора (на рисунке не показан), присоединённого к выходному патрубку 10. В ПСК 6 первой аспирации происходит очистка обрабатываемого материала от лёгких примесей и пыли до решёт, в ПСК 16 второй аспирации – окончательная очистка материала от оставшихся лёгких примесей, а также щуплого, дроблёного и биологически неполноценного зерна (фуражной фракции) после решёт. Скорость воздушного потока в ПСК 6 и 16 регулируется с помощью заслонок 9 и 13. Для очистки отработанного воздуха от пыли сепаратор снабжён системой очистки, состоящей из воздухопроводов и циклона.

⁵Каталог машин для очистки зерна Алмаз. [Электронный ресурс].

URL: <https://almazselmash.ru/production.php> (дата обращения: 04.02.2025).

⁶Универсальные зерноочистительные машины Класс. [Электронный ресурс].

URL: <https://viktoriarostov.ru/ochistka-zerna?ysclid=m7oovisu1i678994197#rec415504083> (дата обращения: 05.02.2025).

⁷Аэродинамические сепараторы для очистки зерна. [Электронный ресурс].

URL: <https://alterbis.ru/product-category/zernoochistitelnye-mashiny/aeroseparatory/> (дата обращения: 05.02.2025).

⁸Сепараторы аэродинамические ASM. [Электронный ресурс].

URL: <https://asmtechnology.eu/wp-content/uploads/2024/03/Prezentacja-RU.pdf> (дата обращения: 05.02.2025).

⁹Сепараторы аэродинамические ASM. [Электронный ресурс].

URL: <https://asmtechnology.eu/wp-content/uploads/2024/03/Prezentacja-RU.pdf> (дата обращения: 05.02.2025).

¹⁰Cleaners NSD 1, 2 & 3. [Электронный ресурс]. URL: https://www.denis.fr/media/nsd1_2_3_0220_en.pdf (дата обращения: 11.02.2025).

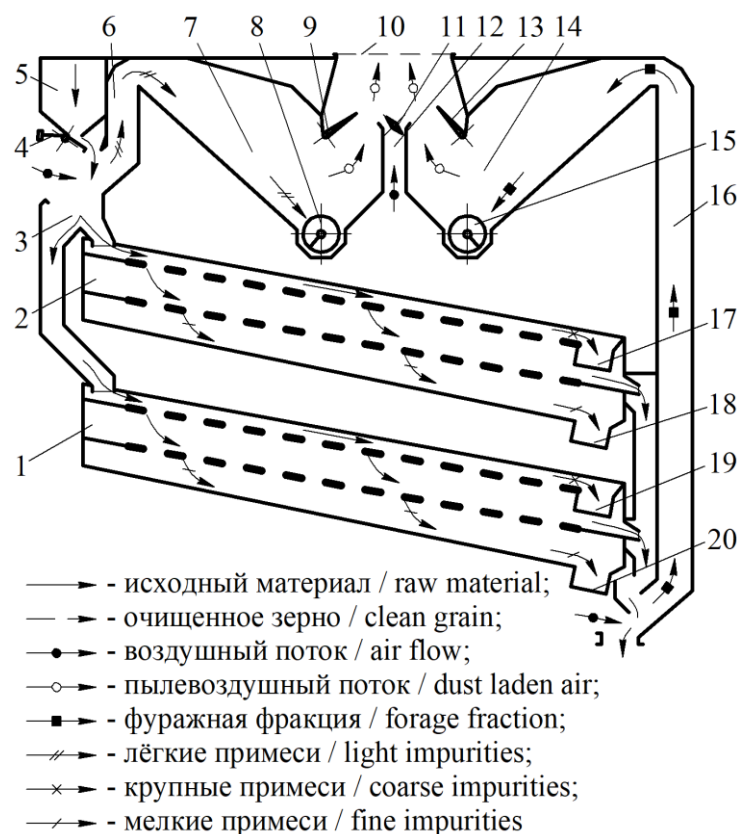


Рис. 3. Технологическая схема очистителя-сепаратора NSD2: 1, 2 – решётные станы; 3 – делитель; 4 – распределительный лоток; 5 – приёмное устройство; 6, 16 – пневмосепарирующие каналы; 7, 14 – осадочные камеры; 8, 15 – устройства вывода фракций; 9, 11, 13 – заслонки; 10 – выходной патрубок; 12 – воздухозаборный канал; 17, 18, 19, 20 – приёмники фракций /

Fig. 3. Technological scheme of the NSD2 cleaner-separator: 1, 2 – sieve boots; 3 – divider; 4 – distribution chute; 5 – receiving device; 6, 16 – aspiration channels; 7, 14 – sedimentation chambers; 8, 15 – fraction outlet devices; 9, 11, 13 – dampers; 10 – outlet pipe; 12 – air intake channel; 17, 18, 19, 20 – fraction receivers

Воздухозаборный канал 12 с заслонкой 11 служит для дополнительного регулирования скорости воздушного потока в ПСК 6 и 16, а также повышения эффективности системы очистки отработанного воздуха. При очистке семян с низкими скоростями витания, например, семян трав, заслонку 11 открывают, и в циклон поступает дополнительный объём воздуха для обеспечения высоких скоростей потока, необходимых для максимальной эффективности очистки отработанного воздуха от пыли. Кроме того, данный канал позволяет частично снизить концентрацию запыленности воздуха рабочей зоны сепаратора.

Решётная часть состоит из двух параллельно работающих станов 1 и 2, где из зернового материала выделяются крупные и мелкие примеси.

Двукратная обработка зернового материала воздушным потоком до и после решёт способствует более полному выделению лёгких

примесей, а работа вентилятора на всасывание обеспечивает обеспыливание мест выхода фракций материала. К недостаткам можно отнести низкую эффективность выделения лёгких примесей в первой (дорешетной) аспирации из-за конструкции ПСК, что в ряде случаев может привести к необходимости дополнительной очистки фуражной фракции от лёгких примесей. Кроме того, при параллельной работе двух ПСК от одного радиального вентилятора усложняется настройка их на технологический режим и снижается качество очистки зерна вследствие взаимного влияния друг на друга в процессе работы. Очистители-сепараторы NSD2 и NSD3 имеют большие габаритные размеры по высоте (3,09...4,23 м).

Полным аналогом сепаратора NSD2 является выпускаемый в России очиститель-сепаратор S-50¹¹ (ООО «РусМашАгро»), предназначенный для предварительной (до 65 т/ч) и первичной (до 50 т/ч) очистки зерна.

¹¹RMA Очиститель Сепаратор S-50. [Электронный ресурс]. URL: <https://rma-vrn.ru/> (дата обращения: 13.02.2025).

Идентичную сепаратору NSD2 конструкцию воздушной системы имеет зерноочистительная машина GrainMax-50¹² (Полымя, Республика Беларусь), способная работать в режимах предварительной (до 50 т/ч), первичной (до 30 т/ч) и вторичной (до 5 т/ч) очистки зерна.

Аналогичную воздушную систему имеют также универсальные воздушно-решётные сепараторы линейки МУЗ¹³ (МУЗ-4, МУЗ-8 и МУЗ-16) (Полымя, Республика Беларусь) производительностью в режиме предварительной очистки зерна от 25 до 100 т/ч [24], а также некоторые модели очистителей компании Cimbria (Дания), например, машина предварительной очистки зерна производительностью до 100 т/ч Delta 146¹⁴ [21, 25]. Отличия их воздушных систем от очистителей-сепараторов NSD заключаются в том, что пневмосепарирующий канал первой (дорешётной) аспирации выполнен наклонным и отсутствует воздухозаборный канал.

Универсальный очиститель U15¹⁵ (PETKUS Technologie GmbH, Германия) предназначен для предварительной (до 60 т/ч), первичной (до 30 т/ч) и вторичной (до 15 т/ч) очистки зерна [26, 27]. Состоит из воздушной системы и решётной части.

Воздушная система очистителя состоит из приёмного бункера с активным питающим устройством (профилированный валик с качающейся заслонкой), вертикальных ПСК дорешётной и послерешётной аспирации, двух осадочных и расположенной между ними промежуточной камер, устройств вывода фракций. Воздушная система может быть соединена как с отдельно установленным радиальным вентилятором, так и с центральной аспирационной системой. Очистка отработанного воздуха от пыли происходит в циклонах. Скорость воздушного потока в ПСК регулируется шиберными заслонками, установленными на окнах смежных стенок между осадочными и промежуточной

камерами. На верхних стенках осадочных камер находятся воздухозаборные клапаны, которые предназначены для дополнительного регулирования скорости воздушного потока в ПСК, а также повышения эффективности системы очистки отработанного воздуха (аналогично воздухозаборным каналам очистителей-сепараторов NSD) при очистке семян с низкими скоростями витания, например, семян трав. Технологические процессы воздушных систем универсального очистителя U15 и рассмотренного ранее очистителя-сепаратора NSD2 аналогичны.

Решётная часть состоит из двух последовательно работающих станков, на которых из обрабатываемого материала выделяются крупные и мелкие примеси, а также мелкое зерно.

Достоинства очистителя – универсальность, высокая производительность и хорошее качество очистки за счёт использования активного питающего устройства и двукратной обработки зернового материала воздушным потоком до и после решёт. Установка вентилятора за пределами очистителя позволяет снизить уровень шума и запылённость в рабочей зоне, но приводит к увеличению металлоёмкости и установленной мощности (до 18 кВт). Недостатки – сложность настройки воздушной системы из-за параллельной работы двух ПСК от одного вентилятора, значительную протяжённость её элементов, использование в качестве генератора воздушного потока радиального вентилятора и большую высоту очистителя (3,39 м).

Воздушная система универсального очистителя U15 является глубоко модернизированной пневмосистемой выпускавшейся ранее машины предварительно-первичной очистки зерна К-527 (PETKUS Technologie GmbH, Германия), пользующейся в нашей стране большой популярностью и в настоящее время. На данный момент в России выпускаются полные аналоги машины К-527, не уступающие ей по характеристикам. Это воздушно-решётная

¹²Машина зерноочистительная GrainMax. [Электронный ресурс].

URL: <https://ru.polymya.com/rus/catalog/separatory-zernoochistitelnnye-mashiny/mashina-zernoochistitelnaya-grainmax/> (дата обращения: 13.02.2025).

¹³Воздушно-решётные сепараторы МУЗ. [Электронный ресурс].

URL: <https://ru.polymya.com/rus/catalog/separatory-zernoochistitelnnye-mashiny/vozdushno-reshetnye-separatory-muz/> (дата обращения: 13.02.2025).

¹⁴COMBI CLEANER DELTA 146. [Электронный ресурс]. URL: https://www.cimbria.com/content/dam/public/grain-and-protein/cimbria/data-sheets/screen-cleaner/140/Combi_Cleaner_146_Datasheet_EN.pdf (дата обращения: 13.02.2025).

¹⁵Незаменимая машина для подготовки семян и зерна. Petkus. [Электронный ресурс].

URL: <https://www.petkus.com/ru/produkcija/sortirovka/ochistiteli/detaljakh/show-product/2147?cHash=4b165b6ac3f555f5be07c33aa490ba47> (дата обращения: 14.02.2025).

машина BPM-K 52.7¹⁶ (70 т/ч) (ООО «Завод Воронеж Агромаш») и воздушно-решётная машина BPM-70¹⁷ (70 т/ч) (ООО «Воронеж-агротехсервис»).

Аналогичную U15 воздушную систему имеют очистители зерна серий А, М и V (PETKUS Technologie GmbH, Германия), сепаратор предварительной и первичной очистки M-150¹⁸ (KOBlik GROUP, Россия) производительностью в режиме предварительной очистки до 120 т/ч, а также универсальные сепараторы зерна серии «Mega»¹⁹ (Mega 12-3/2, Mega 15-3/2, Mega 12-5/2, Mega 15-5/2) (холдинг «АМКОДОР», Республика Беларусь) производительностью в режиме предварительной очистки от 40 до 80 т/ч.

К зерноочистительным машинам, работающим по пневмофракционной технологии, можно отнести машины первичной очистки зерна ЗМ²⁰ (ООО НПФ Агромаш, Россия) (ЗМ-20-Ф5, ЗМ-40-Ф5, ЗМ-60-Ф5, ЗМ-80-Ф5, ЗМ-90-Ф5, ЗМ-120-Ф5) производительностью от 20 до 120 т/ч.

Машина ЗМ-20-Ф5 (рис. 4) содержит воздушную и решётную части.

Воздушная часть состоит из приёмного бункера 6 с установленными в нем планками и рассекателями, предназначенными для равномерного распределения материала по ширине машины, и двух, работающих независимо друг от друга, воздушных систем разомкнутого типа, каждая из которых имеет свой вертикальный пневмосепарирующий канал 8 (14), осадочную камеру 7 (11) с устройством вывода фракций 5 (12) и радиальный вентилятор (на рисунке не показан), присоединенный к выходному патрубку 9 (10). В первой воздушной системе происходит очистка материала от лёгких примесей и пыли до решёт, а во второй – окончательная очистка материала от оставшихся лёгких примесей, а также щуплого, дроблёного и биологически неполноценного зерна (фуражная

фракция) после решёт. Очистка отработанного воздуха от пыли происходит в циклонах.

Решётная часть предназначена для разделения зерна и примесей по размерам. Состоит из двух последовательно работающих станков 2 и 4, на которых из обрабатываемого материала выделяются крупные и мелкие примеси, а также мелкое зерно.

Основным достоинством машины является применение двух воздушных систем, каждая из которых снабжена своим радиальным вентилятором, что обеспечивает независимую их работу и быструю настройку на технологический режим. За счёт отсутствия дозирующих рабочих органов в приёмном бункере он не забивается зерном и, следовательно, не забивается загрузочная норка, что упрощает эксплуатацию машины и снижает травмирование зерна. Пневмосепарирующий канал первой (дорешётной) воздушной системы полноразмерный и имеет хорошо развитую нижнюю часть, благодаря чему повышается эффективность выделения лёгких примесей. К недостаткам можно отнести использование в качестве генераторов воздушного потока радиальных вентиляторов и большие габаритные размеры машины по высоте (3,21 м). Кроме того, применение двух вентиляторов усложняет конструкцию и увеличивает удельные затраты энергии на процесс очистки зерна.

Аналогичную воздушную систему имеют машины первичной очистки зерна ЗМ-20ФН, ЗМ-40ФН, ЗМ-60ФН²¹ (ООО «Новосибирсксельмаш», Россия) производительностью от 20 до 60 т/ч.

Универсальные высокопроизводительные сепараторы серии TAS²² (Buhler GmbH, Германия) (TAS 152A-2, TAS 154A-4, TAS 204A-4, TAS 206A-6) работают в режимах предварительной и первичной очистки зерна [25, 26, 28]. Производительность сепараторов в режиме предварительной очистки – от 60 до 250 т/ч.

¹⁶Воздушно-решётная машина BPM-K 52.7. [Электронный ресурс].

URL: <https://agrosplus.ru/oborudovanie/ochistka-zerna/vozdushno-reshyetnaya-mashina/> (дата обращения: 17.02.2025).

¹⁷Воздушно-решётная машина BPM-70. [Электронный ресурс].

URL: <https://voronezhagrotekhservis.pf/vrm-70> (дата обращения: 17.02.2025).

¹⁸Машины для зерноочистки. Серия М. [Электронный ресурс].

URL: <https://koblik.ru/catalog/mashiny-dlya-zernoochistki/OMEGA/> (дата обращения: 17.02.2025).

¹⁹Сепараторы зерна универсальные серии «MEGA». [Электронный ресурс].

URL: <https://amkodor-zsk.by/products/ochistka/mega.html?ysclid=m7u3hvpv0a8431491940> (дата обращения: 17.02.2025).

²⁰Машины первичной очистки зерна. [Электронный ресурс]. URL: <https://agronsk.ru/tehnika-dlya-ochistki-zerna/zernoochistitelnye-mashiny/mashiny-pervichnoy-ochistki-zerna/> (дата обращения: 19.02.2025).

²¹Зерноочистительные машины. [Электронный ресурс]. URL: <https://nsksm.ru/category/zernoochistitelnye-mashiny/> (дата обращения: 19.02.2025).

²²Universal cleaning machine TAS. [Электронный ресурс].

URL: https://www.buhlergroup.com/global/ru/products/universal_cleaningmachine.html (дата обращения: 19.02.2025).

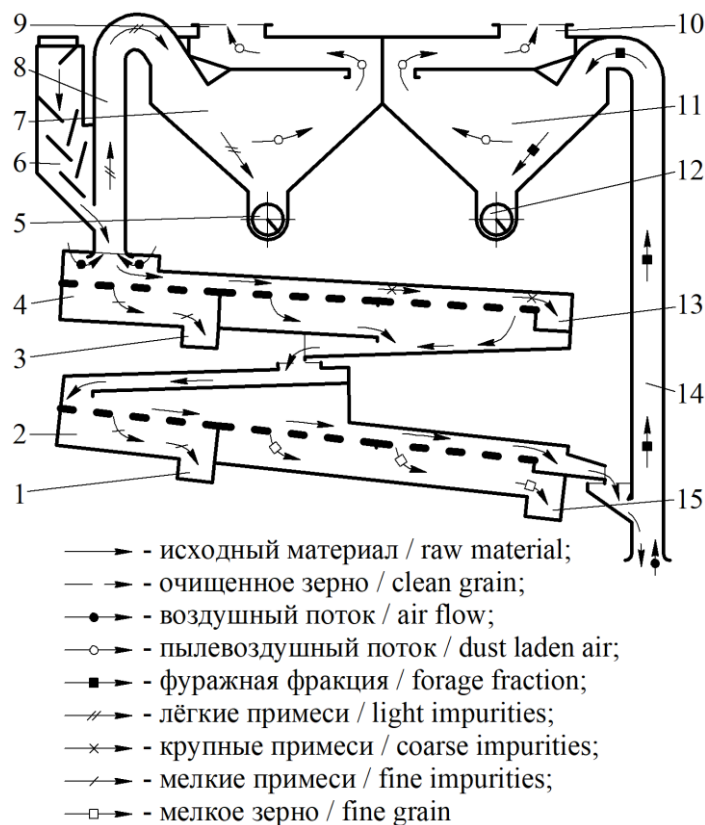


Рис. 4. Технологическая схема машины первичной очистки зерна ЗМ-20-Ф5: 1, 3, 13, 15 – приёмники фракций; 2, 4 – решётные станы; 5, 12 – устройства вывода фракций; 6 – приёмный бункер; 7, 11 – осадочные камеры; 8, 14 – пневмосепарирующие каналы; 9, 10 – выходные патрубки /

Fig. 4. Technological scheme of the ZM-20-F5 grain primary cleaner: 1, 3, 13, 15 – fraction receivers; 2, 4 – sieve boots; 5, 12 – fraction outlet devices; 6 – inlet hopper; 7, 11 – sedimentation chambers; 8, 14 – aspiration channels; 9, 10 – outlet pipes

Сепаратор TAS 152A-2 (рис. 5) состоит из воздушной системы замкнуто-разомкнутого типа и решётной части. Воздушная система содержит приёмный бункер 6 с распределительной заслонкой 4, пневмосепарирующие каналы 5 и 14, осадочные камеры 8 и 12 с устройствами вывода фракций 7 и 13, перепускного канала 9 с заслонкой 10. К выходному патрубку 11 подключается отдельно работающий радиальный вентилятор.

Процесс работы воздушной системы сепаратора TAS 152A-2 отличается от рассмотренного ранее технологического процесса пневмосистемы очистителя-сепаратора NSD2 тем, что все элементы воздушной системы подключены друг к другу последовательно. Воздушный поток, засасываемый из атмосферы, последовательно движется через ПСК 14 второй (послерешётной) аспирации, осадочную камеру 12, ПСК 5 первой (дорешётной) аспирации, осадочную камеру 8, а затем через выходной патрубок 11 удаляется из сепаратора. Скорость воздушного потока в ПСК 5 регулируется дроссельной заслонкой 10 за счёт изме-

нения объёма воздуха, проходящего через перепускной канал 9. Очистка отработанного воздуха от пыли происходит в установленных отдельно от сепаратора циклонах или фильтрующей установке.

Решётная часть состоит из ситового короба 1, на решётах которого материал очищается от крупных и мелких примесей.

Основные достоинства сепаратора – универсальность, высокая производительность и конструкция воздушной системы, позволяющая обеспечить двойную аспирацию обрабатываемого материала (до и после решёт) без увеличения объёма воздуха. Недостатки – сложность компоновки элементов воздушной системы и её большая протяжённость, большие габаритные размеры самого сепаратора по высоте (до 4,36 м) и его масса (4,5...8,5 т). Так как для очистки обрабатываемого материала в ПСК первой аспирации используется отработанный воздух из второй аспирации, то это приводит к небольшому засорению зерна циркулирующими вместе с воздушным потоком не уловленными примесями.

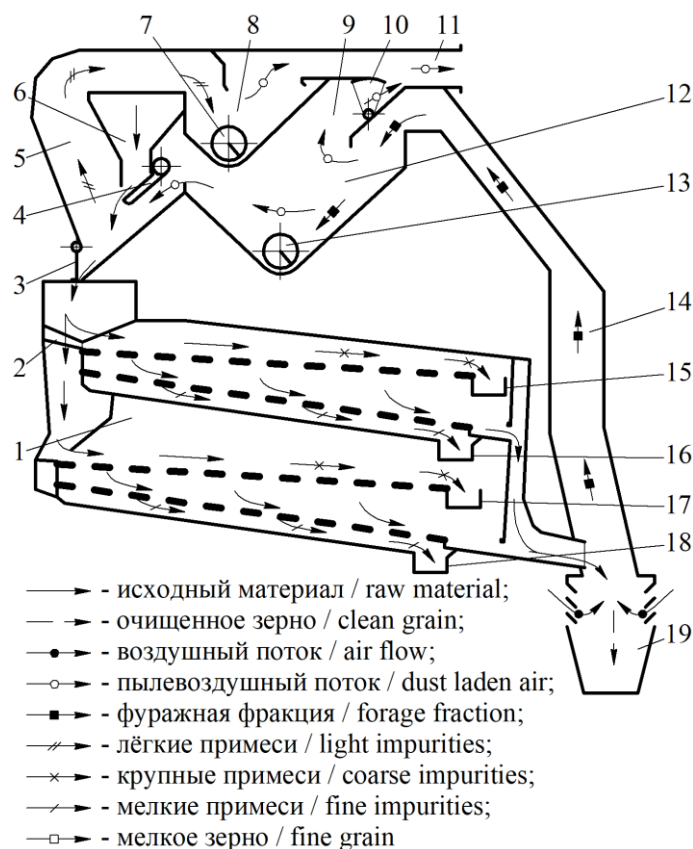


Рис. 5. Технологическая схема универсального сепаратора TAS 152A-2: 1 – ситовой короб; 2 – распределитель зерна; 3 – клапан; 4 – распределительная заслонка; 5, 14 – пневмосепарирующие каналы; 6 – приёмный бункер; 7, 13, 19 – устройства вывода фракций; 8, 12 – осадочные камеры; 9 – перепускной канал; 10 – дроссельная заслонка; 11 – выходной патрубок; 15, 16, 17, 18 – приёмники фракций /

Fig. 5. Technological scheme of the universal separator TAS 152A-2: 1 – sieve box; 2 – grain distributor; 3 – flap; 4 – distribution valve; 5, 14 – aspiration channels; 6 – inlet hopper; 7, 13, 19 – fraction outlet devices; 8, 12 – sedimentation chambers; 9 – bypass channel; 10 – throttle valve; 11 – outlet pipe; 15, 16, 17, 18 – fraction receivers

В России ряд предприятий выпускают полные аналоги сепараторов TAS. Это, в первую очередь, компания KOBlik GROUP и её высокопроизводительные сепараторы серии UNIVERSAL²³ (U-60, U-120, U-160, U-250) производительностью в режиме предварительной очистки от 60 до 250 т/ч. Аналогами сепараторов TAS также являются универсальные воздушно-решётные машины Dogma 120, Dogma 160 и Dogma 250²⁴ (ООО «Завод Воронеж

Агромаш», Россия), универсальные сепараторы серии GRAINSTORM²⁵ (GS-60, GS-100, GS-160) (Группа компаний «Эксперт-Агро», Россия), сепаратор воздушно-решётный СВР-60²⁶ (холдинг «АМКОДОР», Республика Беларусь), универсальная очистительная машина УОМ-160²⁷ (Комплекс АГРО, Россия); высокопроизводительные сепараторы МОР 120, МОР 160, МОР 240²⁸ (Molius, Турция).

²³Машины для зерноочистки. Серия UNIVERSAL. [Электронный ресурс]. URL: <https://koblik.ru/katalog/mashiny-dlya-zernoочистki/UNIVERSAL/?ysclid=m7bsy9rdjm36967621> (дата обращения: 19.02.2025).

²⁴Очистка зерна. [Электронный ресурс]. URL: <https://agrosplus.ru/oborudovanie/ochistka-zerna/#> (дата обращения: 19.02.2025).

²⁵Зерноочистительные машины GRAINSTORM. [Электронный ресурс]. URL: <https://expert-agro.ru/sobstvennaja-produkcija/zernoочistitelnye-mashiny/grainstorm/> (дата обращения: 19.02.2025).

²⁶Сепаратор воздушно-решётный СВР-60 (первичная очистка). [Электронный ресурс]. URL: <https://tdamkodoragro.by/catalog/cleaning-and-sorting/svr-60> (дата обращения: 19.02.2025).

²⁷Универсальная очистительная машина. [Электронный ресурс]. URL: <https://kompleksagro.ru/uom> (дата обращения: 19.02.2025).

²⁸High Capacity Grain Separator MOP. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.molius.com.tr/high-capacity-grain-separator-mop> (дата обращения: 19.02.2025).

Фракционный очиститель зерна ОЗФ-80²⁹ (ООО «Осколсельмаш», Россия) – это универсальная зерноочистительная машина, предназначенная для предварительной (до 80 т/ч), первичной (до 40 т/ч) и вторичной (до 20 т/ч) очистки зерна [26, 27, 29, 30]. Состоит из воздушной системы и решётной части.

Воздушная система содержит два параллельно работающих вертикальных пневмосепарирующих канала дорешётной аспирации с размещёнными между ними приёмно-питающим устройством и делителем потока, вертикальный ПСК послерешётной аспирации, две осадочные камеры с устройствами вывода фракций, диаметральный вентилятор. Процесс работы схож с рассмотренным ранее технологическим процессом воздушной системы очистителя-сепаратора NSD2. Скорость воздуха в ПСК регулируется путём изменения частоты вращения колеса вентилятора. В пневмосепарирующих каналах первой аспирации скорость воздушного потока дополнительно регулируется заслонками, изменяющими величину открытия всасывающих окон, расположенных с боковых сторон ПСК.

Решётная часть состоит из двух параллельно работающих станков, на которых из материала выделяются крупные и мелкие примеси, а также фракция мелкого зерна.

Основные достоинства фракционного очистителя – универсальность и производительность. Кроме того, использование диаметрального вентилятора, создающего равномерный поток воздуха по всей ширине пневмосистемы, оказывает положительное влияние на эффективность сепарации материала. Два параллельно работающих ПСК в дорешётной аспирации повышают эффективность выделения лёгких примесей. Способ регулирования скорости воздуха в ПСК частотой вращения колеса вентилятора является наиболее экономичным. Недостатки – необходимость установки дополнительного оборудования для очистки отработанного воздуха, а также неудачный подвод воздуха в ПСК дорешётной аспирации и регулирование скорости воздуха в них с помощью

боковых всасывающих окон, нарушающих равномерность поля скоростей в зоне сепарации.

Воздушные системы очистителей ОЗФ-50 и ОЗФ-25 (ООО «Осколсельмаш», Россия) отличаются от ОЗФ-80 тем, что в дорешётной аспирации имеют один пневмосепарирующий канал.

Воздушную систему, аналогичную ОЗФ-80, имеет универсальная воздушно-решётная зерноочистительная машина Аврора-80³⁰ (Волгоградский Завод Элеваторного Оборудования, Россия).

Воздушные системы, аналогичные ОЗФ-50 и ОЗФ-25, имеют: универсальные сепараторы SU-20 и SU-60³¹ (Centurion, Россия) производительностью в режиме предварительной очистки зерна 20 и 60 т/ч соответственно; универсальные сепараторы УС-20С, УС-40С и товарный сепаратор «Аструм СТ-45»³² (Группа компаний Gradebel, Республика Беларусь) производительностью в режиме предварительной очистки зерна 20, 60 и 60 т/ч соответственно. Отличие их воздушных систем от ОЗФ-50 – пневмосепарирующий канал дорешётной аспирации наклонный.

Универсальный сепаратор УС-130³³ (рис. 6) (Группа компаний Gradebel, Республика Беларусь) предназначен для предварительной (до 120 т/ч), первичной (до 90 т/ч) и вторичной (до 40 т/ч) очистки зерна. Содержит воздушную и решётную части.

Воздушная часть состоит из приёмного бункера 5 с регулятором подачи зерна 4 и двух работающих независимо друг от друга воздушных систем, каждая из которых имеет свой пневмосепарирующий канал 6 (14), осадочную камеру 7 (12) с расположенными в ней диаметральным вентилятором 9 (10) и устройством вывода фракций 8 (13). В первой воздушной системе происходит очистка зернового материала от лёгких примесей и пыли до решёт, а во второй – окончательная очистка от оставшихся лёгких примесей, а также щуплого, дроблёного и биологически неполноценного зерна (фуражная фракция) после решёт.

²⁹Очиститель зерна фракционный ОЗФ-80. [Электронный ресурс].

URL: <https://oskolсельмаш.pf/catalog/ochistitel-zerna-fraktsionnyy-ozf-80-40-20> (дата обращения: 24.02.2025).

³⁰Зерноочистительная машина АВРОРА-80. [Электронный ресурс].

URL: <https://elevator34.ru/mzu> (дата обращения: 24.02.2025).

³¹Лучшие технологии на службе в России. [Электронный ресурс].

URL: <https://centurion.nt-rt.ru/images/showcase/catalog.pdf> (дата обращения: 24.02.2025).

³²Сепараторы очистки зерна. [Электронный ресурс]. URL: <https://gradebel.by/product-category/grain-cleaning/> (дата обращения: 24.02.2025).

³³Универсальный сепаратор «УС-130 Gradebel». [Электронный ресурс].

URL: <https://gradebel.by/product/us-130/> (дата обращения: 24.02.2025).

Скорость воздуха в ПСК регулируется путём бесступенчатого изменения частоты вращения

колеса вентилятора с помощью частотного преобразователя.

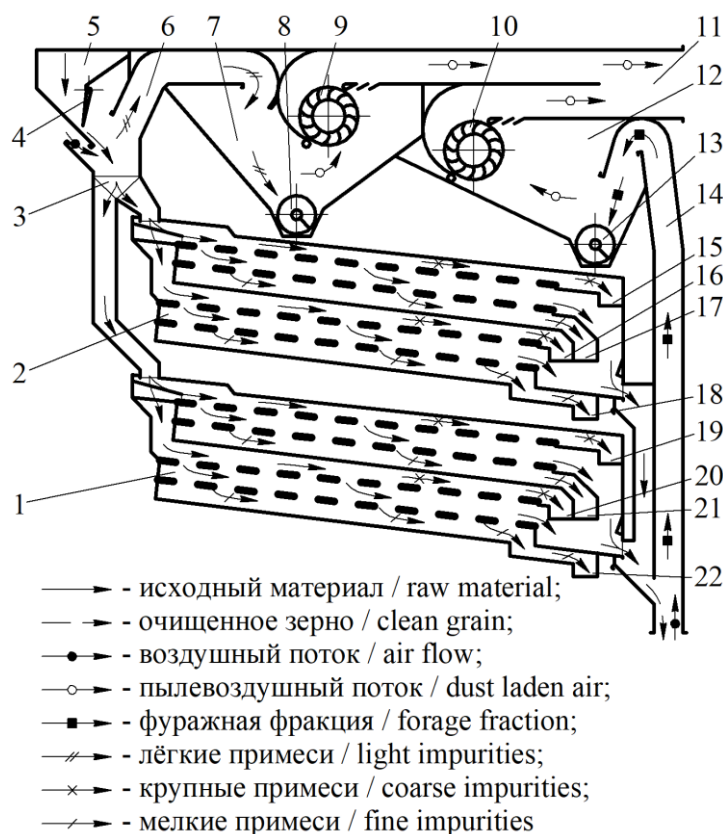


Рис. 6. Технологическая схема универсального сепаратора УС-130: 1, 2 – решётные станы; 3 – делитель; 4 – регулятор подачи зерна; 5 – приёмный бункер; 6, 14 – пневмосепарирующие каналы; 7, 12 – осадочные камеры; 8, 13 – устройства вывода фракций; 9, 10 – диаметрально вентиляторы; 11 – выходной патрубок; 15...22 – приёмники фракций /

Fig. 6. Technological scheme of the universal separator US-130: 1, 2 – sieve boots; 3 – divider; 4 – grain feed regulator; 5 – inlet hopper; 6, 14 – aspiration channels; 7, 12 – sedimentation chambers; 8, 13 – fraction outlet devices; 9, 10 – cross flow fans; 11 – outlet pipe; 15...22 – fraction receivers

Решётная часть состоит из двух параллельно работающих станов, на которых из обрабатываемого материала выделяются крупные и мелкие примеси.

Достоинства сепаратора – универсальность, высокая производительность, применение двух работающих независимо друг от друга воздушных систем, использование в качестве генераторов воздушного потока диаметрально вентиляторов, регулирование расходов воздуха частотой вращения колеса вентилятора. Кроме того, за счет отсутствия в приёмном бункере распределительного шнека снижается травмирование зерна. Недостатки – низкая эффективность работы дорешётной аспирации из-за малых размеров наклонного ПСК, высокие удельные затраты энергии технологического процесса из-за использования двух вентиляторов, большие габаритные размеры сепаратора по высоте (3,88 м) и длине (4,90 м), масса

(4,97 т), а также необходимость в установке дополнительного оборудования для очистки отработанного воздуха.

Выводы. 1. Пневмосепараторы зерна получили широкое распространение за счёт относительно низкой цены и простоты конструкции, высокой производительности, практически не зависящей от влажности и засорённости обрабатываемого материала. Однако в связи с невысоким эффектом очистки зернового материала от крупных и мелких примесей из-за отсутствия соответствующих решётных рабочих органов использование их в режимах предварительной очистки зерна ограничено. Место пневмосепараторов в системе послеуборочной обработки зерна – это финишная воздушная очистка при подготовке семян.

2. Для разделения зернового материала на фракции воздушным потоком используются универсальные воздушно-решётные зерноочи-

стительные машины. Это, как правило, высокопроизводительные двухаспирационные машины, первая (дорешётная) аспирация которых выделяет из обрабатываемого материала лёгкие примеси, а вторая (послерешётная) – щуплое, дроблёное и биологически неполноценное зерно (фуражную фракцию). Применение данных машин в режиме предварительной очистки зерна позволит снизить его травмирование, так как после выделения фуражной фракции на выходе получается более чистый материал, требующий меньшего числа операций по его дальнейшей очистке.

3. При разработке новых воздушных систем машин, предназначенных для предварительной очистки зернового вороха и работающих по пневмофракционной технологии, необходимо обратить внимание на следующие моменты:

- диаметральные вентиляторы хорошо komponуются с другими элементами воздушных систем и в процессе своей работы создают равномерный воздушный поток по всей их ширине, что оказывает положительное влияние на эффективность сепарации материала;

- использование ПСК с развитой нижней частью и оптимальными параметрами, соответствующими его удельной нагрузке, способствует достижению максимальной эффективности выделения лёгких примесей и фуражного зерна;

- выделение из обрабатываемого материала фуражной фракции (щуплого, дроблёного и биологически неполноценного зерна) до очистки его на решётах снижает нагрузку на подсевные и сортировальные решёта и повышает качество очищенного зерна на выходе.

Список литературы

1. Варавин В. И., Коток К. А. Повышение эффективности технологических процессов фракционной очистки зерна и семян. Молодёжь и наука: шаг к успеху: 4-я Всерос. научн. конф. Курск: Юго-Западный государственный университет, 2020. С. 224–226. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=42627470> EDN: TNRMNN
2. Тарасенко А. П., Оробинский В. И., Гиевский А. М., Мерчалова М. Э., Чернышов А. В., Чернышов С. В. и др. Совершенствование механизации производства семян зерновых культур: рекомендации. М.: ФГБНУ Росинформагротех, 2014. 60 с. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22588485> EDN: TANHEV
3. Овчинников Д. Н., Овчинникова Ю. И. Повышение эффективности зерноочистительных систем. Вестник Курганской ГСХА. 2018;(4(28)):68–71. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37351765> EDN: АТЕХРЕ
4. Пахомов В. И., Бойко А. А., Подлесный Д. С., Бабенко О. С., Корякин М. В. Анализ травмирования семенного материала при очистке на зерноочистительном агрегате типа ЗАВ. Состояние и перспективы развития агропромышленного комплекса: XII Междунар. научн.-практ. конф. Ростов-на-Дону: Общество с ограниченной ответственностью «ДГТУ-ПРИНТ», 2019. С. 435–438. DOI: <https://doi.org/10.23947/interagro.2019.6.435-438> EDN: FPNJHF
5. Пахомов В. И., Бойко А. А., Подлесный Д. С., Саркисян Д. С. Пути снижения травмирования зернового материала ковшовыми элеваторами в зерноочистительных агрегатах типа ЗАВ. Состояние и перспективы развития агропромышленного комплекса: XIII Междунар. научн.-практ. конф. Ростов-на-Дону: Общество с ограниченной ответственностью «ДГТУ-ПРИНТ», 2020. С. 554–558. DOI: <https://doi.org/10.23947/interagro.2020.2.554-558> EDN: KJMDTP
6. Тишанинов К. Н. Проблемы современной послеуборочной очистки зерна. Наука в центральной России. 2020;(1(43)):27–35. DOI: <https://doi.org/10.35887/2305-2538-2020-1-27-35> EDN: OYFTSJ
7. Оробинский В. И., Ворохобин А. В., Корнев А. С., Головин А. Д., Бачурин И. Г., Пожидаев И. А. Влияние фракционного состава зернового вороха на уровень травмирования и посевные качества семян. Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2021;14(3(70)):12–17. DOI: https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2021_3_12 EDN: YCNSXI
8. Фейденгольд В. Б., Белецкий С. Л. Причины травмирования зерна и меры по их устранению. Инновационные технологии производства и хранения материальных ценностей для государственных нужд. 2016;(6(6)):204–217. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29901384> EDN: ZEIQEH
9. Сайтов В. Е., Суворов А. Н. Оценка соответствия модели процесса выделения зерновых примесей из фракции лёгких отходов в осадочной камере результатам эксперимента. Тракторы и сельхозмашины. 2016;(8):26–29. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26499260> EDN: WHWYXB
10. Тарасенко А. П., Оробинский В. И., Гиевский А. М., Баскаков И. В., Чернышов А. В., Харитонов М. К. Снижение травмирования зерна при послеуборочной обработке. Вестник аграрной науки Дона. 2019;(1(45)):63–68. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?edn=vdyier> EDN: VDYIER
11. Мерчалова М. Э., Тарасенко А. П., Мяснянкин К. В. Семяочистительный агрегат нового поколения. Современные тенденции развития технологий и технических средств в сельском хозяйстве: Междунар. научн.-практ. конф. Воронеж: Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, 2017. С. 164–171. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=28909864> EDN: YIQMSL
12. Савиных П. А., Сычугов Ю. В., Казаков В. А., Мошонкин А. М. Усовершенствование технологии послеуборочной переработки зерна при реконструкции зерноочистительно-сушильного комплекса. Техника и оборудование для села. 2019;(8(266)):10–14. DOI: <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2019-8-10-14> EDN: XDGRZD

13. Савиных П. А., Сычугов Ю. В., Казаков В. А. Фракционная технология и устройства послеуборочной обработки и переработки зерна площением. Сельскохозяйственные машины и технологии. 2018;12(4):16–21. DOI: <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2018-12-4-16-21> EDN: XZIZBZ
14. Бурков А. И., Глушков А. Л., Лазыкин В. А. Разработка зерноочистительных машин, функционирующих по фракционной технологии. Пермский аграрный вестник. 2018;(3(23)):12–19. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36415056> EDN: SKDEOL
15. Кузнецов Н. Н., Шушков Р. А., Вершинин В. Н. Имитационное моделирование работы технологической линии послеуборочной обработки семенного зерна. Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2019;(57):235–240. DOI: <https://doi.org/10.24411/2078-1318-2019-14235> EDN: MPEESO
16. Патрин П. А., Устьяхин Д. А., Колунин А. Д., Показанов К. А., Абакиров Д. Р. Обоснование способа фракционирования зернового вороха. Теория и практика современной аграрной науки: IV Всерос. научн. конф. Новосибирск: Издательский центр Новосибирского государственного аграрного университета «Золотой колос», 2021. С. 539–543. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44893486> EDN: LAEXWX
17. Сысуев В. А., Алёшкин А. В., Сычугов Ю. В., Исупов А. Ю. Комбинированные расчётные схемы в математических моделях процессов фракционирования зерна. Теоретическая и прикладная экология. 2018;(4):24–29. DOI: <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2018-4-024-030> EDN: YXSUEX
18. Сайтов В. Е., Курбанов Р. Ф., Сайтов А. В. Технические решения по повышению эффективности функционирования пневмосистем зерноочистительных машин. Современные наукоемкие технологии. 2015;(6):36–40. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24846028> EDN: UXSIUP
19. Лачуга Ю. Ф., Измайлов А. Ю., Золин А. Н. Разработка и внедрение высокоэффективных, ресурсо- и энергосберегающих технологий и технических средств послеуборочной обработки зерна и подготовки семян. Сельскохозяйственные машины и технологии. 2009;(1):2–9. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=11778292> EDN: JXTJCH
20. Белецкий С. Л., Прияткин Н. С., Архипов М. В., Гусакова Л. П. Современные принципы и технические средства сепарации семян. Хранение и переработка сельхозсырья. 2018;(3):89–97. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=yvsgyh> EDN: YVSGYH
21. Резуев С. Б., Бакаев И. В., Резуев В. С. Сепараторы для зерна. Современное состояние и тенденции развития. Хранение и переработка зерна. 2011;(9(147)):36–41. Режим доступа: <http://www.graintechno.com/files/separatory.pdf>
22. Олейник Н. Н., Аверин А. Г., Сабиев У. К., Головин А. Ю. Особенности переработки семян льна. Научное и техническое обеспечение АПК, состояние и перспективы развития: IV Междунар. научн.-практ. конф. Омск: Омский государственный аграрный университет имени П. А. Столыпина, 2020. С. 166–171. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43154767> EDN: LDLVXQ
23. Чеботарёв В. П., Барановский И. В., Князев А. А., Немцев П. М. Анализ тенденций развития современных зерноочистительных и сортировальных машин. Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве: Междунар. научн.-практ. конф. Минск: РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства», 2010. С. 184–189. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32699446> EDN: YUADQZ
24. Ермаков А. И., Литвяк В. В., Росляков Ю. Ф. Исследование работы аспирационной системы универсальной зерноочистительной машины МУЗ-16. Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. 2024;(2):252–259. DOI: <https://doi.org/10.24412/2311-6447-2024-2-252-259> EDN: GLWEVB
25. Хандакова Г. Ж., Балданов В. Б., Цыбенков Ж. Б., Пашинова Н. В., Жигжитов А. О., Гылыкова С. Ж. Современные сепараторы для очистки зерна. Образование и наука: Нац. научн.-практ. конф. Улан-Удэ: Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления, 2023. С. 46–51. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=54503925> EDN: SEUXEN
26. Vnukov S. K., Shcherbakova A. V., Chernyshov A. V. Air sieve machines. Актуальные проблемы аграрной науки, производства и образования: VII Междунар. научн.-практ. конф. Воронеж: Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, 2021. С. 7–11. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46319591> EDN: WMFYCQ
27. Бурков А. И. Тенденции развития воздушно-решётных зерноочистительных машин на современном этапе. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2018;(2(63)):4–15. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2018.63.2.04-15> EDN: XMFYGL
28. Болотова Н. Очистка зерна. Хлебопродукты. 2010;(5):32–33. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=15117442> EDN: MSVEUT
29. Orobinsky V. I., Gievsky A. M., Baskakov I. V., Gulevsky V. A., Chernyshov A. V. Analysis and features of operation of fractional grain cleaners and secondary seed cleaning separators. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021;845:012064. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/845/1/012064>
30. Orobinsky V. I., Gievsky A. M., Gulevsky V. A. Prospects for Improving the Technology of Post-harvest Grain and Seed Processing and Technical Means to Implement it. BIO Web of Conferences. 2021;37:00140. DOI: <https://doi.org/10.1051/bioconf/20213700140>

References

1. Varavin V. I., Kotok K. A. Improving the efficiency of technological processes of fractional cleaning of grain and seeds. Youth and science: a step towards success: 4th All-Russian scientific conf. Kursk: *Yugo-Zapadny gosudarstvennyy universite*, 2020. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=42627470>
2. Tarasenko A. P., Orobinskiy V. I., Gievskiy A. M., Merchalova M. E., Chernyshov A. V., Chernyshov S. V. et al. Improvment of mechanization of cereal seeds production. Moscow: *FGBNU Rosinformagrotekh*, 2014. 60 p. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22588485>
3. Ovchinnikov D. N., Ovchinnikova Yu. I. Improving the efficiency of grain cleaning systems. *Vestnik Kurganskoy GSKhA*. 2018;(4(28)):68–71. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37351765>
4. Pakhomov V. I., Boyko A. A., Podlesnyy D. S., Babenko O. S., Koryakin M. V. Analysis of grain cleaning aggregates of type ZAV for injuries to grain. State and development prospects of the agro-industrial complex: XII Int. scientific-practical conf. Rostov-na-Donu: *Obshchestvo s ogranichennoy otvetstvennost'yu «DGTU-PRINT»*, 2019. pp. 435–438. DOI: <https://doi.org/10.23947/interagro.2019.6.435-438>
5. Pakhomov V. I., Boyko A. A., Podlesnyy D. S., Sarkisyan D. S. Ways to reduce injury to the grain of the material bucket elevators in a grain- cleaning units of the type head. State and development prospects of the agro-industrial complex: XII Int. scientific-practical conf. Rostov-na-Donu: *Obshchestvo s ogranichennoy otvetstvennost'yu «DGTU-PRINT»*, 2020. pp. 554–558. DOI: <https://doi.org/10.23947/interagro.2020.2.554-558>
6. Tishaninov K. N. Problems of modern post-harvest grain cleaning. *Nauka v tsentral'noy Rossii* = Science in Central Russia. 2020;(1(43)):27–35. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35887/2305-2538-2020-1-27-35>
7. Orobinskiy V. I., Vorokhobin A. V., Kornev A. S., Golovin A. D., Bachurin I. G., Pozhidaev I. A. Fraction composition of the grain heap and its influence on the level of grain damage and sowing qualities of seeds. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Vestnik of Voronezh state agrarian university. 2021;14(3(70)):12–17. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2021_3_12
8. Feydengold V. B., Beletskiy S. L. Causes injury to the grain and remedial action. *Innovatsionnye tekhnologii proizvodstva i khraneniya material'nykh tselestey dlya gosudarstvennykh nuzhd*. 2016;(6(6)):204–217. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29901384>
9. Saitov V. E., Suvorov A. N. Assessment of model adequacy of the process of grain impurities separation from the fraction of light waste in settling chamber to experimental results. *Traktory i sel'khoz mashiny*. 2016;(8):26–29. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26499260>
10. Tarasenko A. P., Orobinskiy V. I., Gievskiy A. M., Baskakov I. V., Chernyshov A. V., Kharitonov M. K. Reducing grain trauma during post-harvest handling. *Vestnik agrarnoy nauki Dona*. 2019;(1(45)):63–68. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?edn=vdyier>
11. Merchalova M. E., Tarasenko A. P., Myasnyankin K. V. New generation seed cleaning unit. Modern trends in the development of technologies and technical means in agriculture: Int. scientific-practical conf. Voronezh: *Voronezhskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet im. Imperatora Petra I*, 2017. pp. 164–171. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=28909864>
12. Savinykh P. A., Sychugov Yu. V., Kazakov V. A., Moshonkin A. M. Improvement of the post-harvest grain processing process during the reconstruction of a grain-cleaning and drying facilities. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela* = Machinery and Equipment for Rural Area. 2019;(8(266)):10–14. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2019-8-10-14>
13. Savinykh P. A., Sychugov Yu. V., Kazakov V. A. Fractional technology and tools for post-harvest grain treatment and processing with crushing. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii* = Agricultural Machinery and Technologies. 2018;12(4):16–21. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2018-12-4-16-21>
14. Burkov A. I., Glushkov A. L., Lazykin V. A. Bevelopment of grain-cleaning machines working on fractional technology. *Permskiy agrarnyy vestnik* = Perm Agrarian Journal. 2018;(3(23)):12–19. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36415056>
15. Kuznetsov N. N., Shushkov R. A., Vershinin V. N. Simulation modeling of the operation of a technological line for post-harvest processing of seed grain. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Izvestiya Saint-Petersburg State Agrarian University. 2019;(57):235–240. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/2078-1318-2019-14235>
16. Patrino P. A., Ustyakhin D. A., Kolunin A. D., Pokazanov K. A., Abakirov D. R. Substantiation of the method of fractionation of grain heap. Theory and practice of modern agricultural science: IV All-Russian scientific conf. Novosibirsk: *Izdatel'skiy tsentr Novosibirskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta «Zolotoy kolos»*, 2021. pp. 539–543. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44893486>
17. Sysuev V. A., Aleshkin A. V., Sychugov Yu. V., Isupov A. Yu. Combined calculation schemes in mathematical models the fractionation of grain. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya* = Theoretical and Applied Ecology. 2018;(4):24–29. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2018-4-024-030>
18. Saitov V. E., Kurbanov R. F., Saitov A. V. Technical solutions to improve efficiency functioning pneumatic winnowing machines. *Sovremennye naukoemkie tekhnologii* = Modern High Technologies. 2015;(6):36–40. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24846028>

19. Lachuga Yu. F., Izmaylov A. Yu., Zyulin A. N. Development and implementation of highly efficient, resource- and energy-saving technologies and technical means for post-harvest grain processing and seed preparation. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii* = Agricultural Machinery and Technologies. 2009;(1):2–9. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=11778292>
20. Beletskiy S. L., Priyatkin N. S., Arkhipov M. V., Gusakova L. P. Novel principles and technical solutions of seeds sorting. *Khranenie i pererabotka sel'khozsyrya*. 2018;(3):89–97. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=yvsgyh>
21. Rezuev S. B., Bakaev I. V., Rezuev V. S. Grain separators. Current status and development trends. *Khranenie i pererabotka zerna*. 2011;(9(147)):36–41. (In Russ.). URL: <http://www.graintechno.com/files/separatory.pdf>
22. Oleynik N. N., Averin A. G., Sabiev U. K., Golovin A. Yu. Features of processing flax seeds. Scientific and technical support of the agro-industrial complex, state and development prospects: IV International scientific-practical conference. Omsk: *Omskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet imeni P. A. Stolypina*, 2020. pp. 166–171. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43154767>
23. Chebotarev V. P., Baranovskiy I. V., Knyazev A. A., Nemtsev P. M. Analysis of trends in modern grain cleaning and sorting machines. Scientific and technological progress in agricultural production: International scientific and practical conference. Minsk: *RUP «NPTs NAN Belarusi po mekhanizatsii sel'skogo khozyaystva»*, 2010. pp. 184–189. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32699446>
24. Ermakov A. I., Litvyak V. V., Roslyakov Yu. F. Study of the operation of the aspiration system of the universal grain cleaning machine MUZ-16. *Tekhnologii pishchevoy i pererabatyvayushchey promyshlennosti APK – produkty zdorovogo pitaniya* = Technologies of Food and Processing Industries of Agro-industrial Complex– Healthy Food. 2024;(2):252–259. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24412/2311-6447-2024-2-252-259>
25. Khandakova G. Zh., Baldanov V. B., Tsybenov Zh. B., Pashinova N. V., Zhigzhitov A. O., Gylykova S. Zh. Modern separators for grain cleaning. Education and Science: National Scientific and Practical Conf. Ulan-Ude: *Vostochno-Sibirskiy gosudarstvennyy universitet tekhnologii i upravleniya*, 2023. C. 46–51. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=54503925>
26. Vnukov S. K., Shcherbakova A. V., Chernyshov A. V. Air sieve machines. Current issues of agricultural science, production and education: VII International scientific-practical conference. Voronezh: *Voronezhskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet im. Imperatora Petra I*, 2021. pp. 7–11. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46319591>
27. Burkov A. I. Trends in development of air screen grain cleaners at present stage. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2018;63(2):4–15. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2018.63.2.04-15>
28. Bolotova N. Grain cleaning. *Khleboprodukty*. 2010;(5):32–33. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=15117442>
29. Orobinsky V. I., Gievsky A. M., Baskakov I. V., Gulevsky V. A., Chernyshov A. V. Analysis and features of operation of fractional grain cleaners and secondary seed cleaning separators. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021;845:012064. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/845/1/012064>
30. Orobinsky V. I., Gievsky A. M., Gulevsky V. A. Prospects for Improving the Technology of Post-harvest Grain and Seed Processing and Technical Means to Implement it. BIO Web of Conferences. 2021;37:00140. DOI: <https://doi.org/10.1051/bioconf/20213700140>

Сведения об авторе

✉ Глушков Андрей Леонидович, кандидат техн. наук, зав. лабораторией зерно- и семяочистительных машин, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Ленина, д. 166а, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1448-9930>, e-mail: glandrey@yandex.ru

Information about the author

✉ Andrei L. Glushkov, PhD in Engineering, Head of the Laboratory of Grain and Seed Cleaning Machines, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Lenin str., 166a, Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1448-9930>, e-mail: glandrey@yandex.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author