ОБЗОРЫ

УДК 631.362.3

doi: 10.30766/2072-9081.2018.63.2.04-15

Тенденции развития воздушно-решётных зерноочистительных машин на современном этапе

А.И. Бурков

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

Представлены результаты анализа конструкций и процесса работы воздушно-решётных зерноочистительных машин ведущих российских (ОАО ГСКБ «Зерноочистка», ОАО «Мельинвест», ОАО «Воронежсельмаш», завод «Ротак», ООО «Осколсельмаш», ФГУП ПКБ НИИСХ Северо-Востока, предприятие «Техноград» (Пермский край), ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока) и зарубежных фирм («Petkus», «Happle», «Buhler», (Германия), «Denis» (Франция), «Westrup», «Cimbria» (Дания), «Buhler Schmidt-Seeger» (Швейцария). Основными направлениями совершенствования зерноочистительных машин являются: повышение производительности до 200...250 т/ч и более, улучшение качества очистки зерна, расширение функциональных возможностей, снижение энерго- и металлоёмкости. Повышение производительности достигается за счёт увеличения ширины рабочей части, площади сортировальных и подсевных решёт, производительности вентиляторов, применения фракционной технологии очистки по скорости витания и размерам частиц, использования для очистки от грубых примесей дополнительного плоского или цилиндрического решета (скельператора). Улучшение качества очистки зерна обеспечивается путём совершенствования технологического процесса и рабочих органов, применения диаметральных вентиляторов, питающих устройств активного типа, пневмосепарирующих каналов (ПСК) предварительной (до решёт) и основной (после решёт) очистки. Расширение функциональных возможностей – это создание зерноочистительных машин для работы в режимах предварительной и первичной очистки, первичной и вторичной очистки, универсальных зерноочистительных машин для выполнения предварительной, первичной и вторичной очистки. Малыми энерго- и металлоёмкостью обладают самотёчные гравитационные воздушно-решётные сепараторы, зерноочистительные машины с замкнутыми и замкнуто-разомкнутыми воздушными системами со встроенными внутри диаметрными вентиляторами и инерционными пылеуловителями. Результаты исследования могут быть полезны научным сотрудникам и конструкторам при разработке новых зерноочистительных машин.

Ключевые слова: очистка зерна от примесей, тенденции развития конструкций воздушно-решётных зерноочистительных машин

Важнейшей задачей в агропромышленном комплексе является обеспечение потребностей страны в продовольственном и фуражном зерне и формировании семенных фондов [1]. Валовое производство зерна определяется главным образом количеством посевных площадей и урожайностью, которая в свою очередь зависит от сортовых и посевных качеств семян, применения минеральных и органических удобрений, соблюдения севооборотов, технологии возделывания.

Зерновой ворох, поступающий с полей на послеуборочную обработку, состоит из полноценного, щуплого и повреждённого зерна основной культуры, семян других культурных и сорных растений, органических и минеральных примесей. При послеуборочной обработке зерновой материал очищается от различного рода примесей и сушится до кондиционной влажности. Чистота семян должна соответствовать требованиям ГОСТ Р 52325-2005 по содержанию обрубленных семян, семян других растений, в том числе сорных, головнёвых

образований и склеротий спорыньи [2]. Для продовольственного зерна установлены базисные и ограничительные кондиции по влажности и содержанию сорной и зерновой примеси. При очистке зерна и сортировании семян используют различия физико-механических свойств компонентов: аэродинамические, геометрические (длина, ширина, толщина и форма), плотность вещества, состояние поверхности, объёмная масса, упругость, цвет и др. [3, 4, 5].

По способу разделения компонентов зернового материала машины подразделяют на пневмосепараторы, воздушно-решётные, триеры, горки, магнитные, пневмостолы, отражательные столы, фотосепараторы и др. По назначению машины различают для предварительной, первичной и вторичной очистки зерна, универсальные и специальные машины для очистки семян от трудноотделимых примесей.

К настоящему времени как в нашей стране, так и за рубежом разработано большое количество зерноочистительной техники, предназначенной для определённых этапов очистки

и использующей различные физико-механические свойства компонентов зернового материала. Поэтому в данной публикации остановимся на особенностях конструкции и технологического процесса только воздушно-решётных зерноочистительных машин, составляющих основу всей техники для послеуборочной обработки зерна.

Цель обзора – выявить тенденции развития конструкций и процесса работы воздушно-решётных зерноочистительных машин на современном этапе.

Главными задачами совершенствования зерноочистительных машин являются обеспечение требуемой производительности, повышение качества очистки зерна и семян, снижение энерго- и металлоёмкости при соблюдении санитарно-гигиенических требований.

Машины предварительной очистки МПО-50, -50С, -100 (ОАО ГСКБ «Зерноочистка», Россия¹) производительностью 50 и 100 т/ч соответственно содержат в своём составе приёмную камеру и воздушную часть [6, 7]. В приёмной камере с помощью сетчатого транспортёра (МПО-50, -100) или барабанного скельператора (МПО-50С) выделяются крупные и грубые примеси, в воздушной системе – лёгкие. Воздушная система замкнутого типа включает установленный в осадочной камере диаметральный вентилятор [8] и наклонный пневмосепарирующий канал (ПСК) глубиной 0,24 м и шириной 1,5 м с устройством ввода в виде двух наклонных плоскостей. Производительность машины МПО-100 увеличена за счёт совершенствования конструкции ПСК и устройства ввода. ПСК выполнен комбинированным – нижняя часть канала расположена до места ввода материала вертикально, верхняя – наклонно. Глубина канала увеличена до 0,32 м. Устройство ввода материала представляет собой лопастной питающий валик с верхней подачей. Преимущества данной серии машин заключаются в простоте конструкции, высокой эффективности очистки от лёгких примесей благодаря применению диаметрального венти-

лятора, создающего равномерный воздушный поток по ширине машины, оптимальным конструктивным параметрам ПСК и устройства ввода материала в канал. Замкнутый цикл воздушного потока снижает затраты электроэнергии на очистку зерна и отработанного воздуха. Для уменьшения концентрации запылённости циркулирующего в пневмосистеме воздуха до 10% его отсасывается в централизованную воздушную систему агрегата. Аналогичные по технологическому процессу машины предварительной очистки производительностью от 50 до 400 т/ч выпускает завод «Romax» (Россия)². Недостатком рассмотренных машин является отсутствие рабочего органа для выделения мелкой примеси. Этот недостаток устранён в машине МПР-50С. Она включает два автономных блока – машину МПО-50С и решётную приставку РП-50, содержащую двухъярусный решётный стан, на котором очищаемый материал разделяется на три фракции: основное зерно, фураж и мелкую сорную примесь.

Для грубой очистки зернового вороха компания «Buhler» (Германия)³ производит высокопроизводительные барабанные скельператоры серий МКЗМ и RCDA производительностью от 100 до 800 т/ч. Подобные машины созданы в ОАО «Мельинвест» (Россия)⁴. Преимущества данных машин, помимо высокой производительности, заключаются в надёжности, простоте конструкции и техническом обслуживании. Главный недостаток этих машин – отсутствие рабочих органов для выделения лёгких и мелких примесей. Предприятие «Техноград» (Пермский край, Россия) выпускает машину предварительной очистки зерна БЦР-6/20⁵ производительностью 20 т/ч, содержащую барабан из сменных штампованных решёт и камеру аспирации с установленным на ней радиальным вентилятором. В отличие от скельператоров фирмы «Buhler» и ОАО «Мельинвест» сепаратор БЦР-6/20 выделяет не только крупные примеси, но и мелкие, и лёгкие.

¹Зерноочистка, ОАО ГСКБ [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.zernoochistka.ru/oborudovanie/mashinizernoochistitelnie> (дата обращения: 01.02.2018).

²Машины предварительной очистки серии ALFA [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.zavodromax.ru/products/liniya_alfa/433/ (дата обращения: 05.02.2018).

³Сепараторы компании BUHLER [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://agroservers.ru/b/separatory-buhler-byler-5> (дата обращения: 05.02.2018).

⁴Барабанный скельператор А1-БЗО [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.agrometall.ru/zernosushilnoe_oborudovanie (дата обращения: 07.02.2018).

⁵Ворохоочиститель с цилиндрическим решетом БЦР-6 [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.melinvest.ru/catalog/zernoochistitelnoe_oborudovanie...s...bcr/ (дата обращения: 07.02.2018).

Фирмы «Denis» (Франция) и «Buhler-Schmidt-Seeger» (Швейцария) выпускают барабанные сепараторы CR⁶ и SDS⁷ производительностью от 5 до 250 т/ч, осуществляющие однократную очистку зернового материала воздушным потоком от лёгких примесей перед поступлением его в барабан. Количество секций цилиндрических решёт и их диаметр изменяется в зависимости от номинальной производительности. Зерновой материал за один пропуск через сепаратор можно разделить по размерам на несколько фракций. Недостаток данных сепараторов состоит в том, что площадь решёт используется не более чем на 50%. В связи с этим при равном качестве очистки и производительности увеличиваются габаритные размеры машин.

Машина предварительной очистки

МПО-25Ф (ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, Россия), технологическая схема которой представлена на рисунке 1, содержит приёмную камеру, воздушную и решётную части [9]. Воздушная система аспирационная, снабжена диаметральной вентилятором 8 с устойчивой характеристикой [8], наклонным ПСК 2 с устройством ввода в виде питающего валика 1, разделительной 5 и осадочной 12 камерами, инерционным жалюзийно-противоточным пылеуловителем [10]. Решётная часть состоит из верхнего и нижнего решётных станов, включающих соответственно два и один ярус решёт. Очистка и равномерная загрузка верхнего яруса решёт осуществляется скребковым транспортёром 31, очистка решёт среднего и нижнего ярусов от застрявших частиц производится щётками (на рис. 1 условно не показаны).

Рис. 1. Технологическая схема машины предварительной очистки зерна МПО-25Ф: 1 – питающий валик; 2 – наклонный пневмосепарирующий канал; 3 – приемная камера; 4 – шнек загрузочно-распределительного устройства; 5 – разделительная камера; 6 – отражательная плоскость; 7 – переключатель режима работы; 8 – диаметральный вентилятор; 9 – регулятор расхода воздуха; 10 – всасывающее окно осадочной камеры; 11 – инерционный жалюзийно-противоточный пылеуловитель; 12 – осадочная камера; 13, 14 – шлюзовые затворы; 15, 16, 19, 20, 26 – приемники фракций; 17, 27, 28 – скатные доски; 18, 24, 30 – решета; 22, 23 – скатные плоскости; 21, 25 – шнеки; 29 – съемный лоток; 31 – скребковый транспортёр; 32 – перепускной лоток

⁶Denis, GmbH [Электронный ресурс]. France: Brou, 2014 Режим доступа: <http://www.denis.fr/nettoyage/gamme> (дата обращения: 12.02.2018).

⁷Buhler Schmidt-Seeger, GmbH [Электронный ресурс]. Schweiz: Uzwil, 2014. Режим доступа: <http://www.buhler-group.com/europe/ru/> (дата обращения: 12.02.2018).

Машина обеспечивает при производительности до 25 т/ч высокое качество очистки зернового вороха от примесей за счёт равномерного распределения зернового материала и воздушного потока в зоне сепарации, работы ПСК с повышенными скоростями и последующим выделением фуражной фракции в разделительной камере 5, осаждением лёгких примесей в осадочной камере 12. Тяжёлая фракция зернового материала очищается от крупных и грубых примесей на верхнем ярусе решёт, от мелких примесей – на среднем и нижнем ярусах. Отработанный воздушный поток очищается от пыли и лёгких примесей в инерционном жалюзийно-противоточном пылеуловителе 11, горизонтальный участок жалюзийного очистителя которого, с целью уменьшения габаритных размеров, расположен в выходном патрубке диаметрального вентилятора 8. Фуражная фракция выводится из машины шнеком 25 в приёмник 26. Недостатком, сдерживающим применение данной машины, является потребность в оборудовании для сушки и дополнительной очистки фуражной фракции в случае несоответствия ограничительным требованиям.

Фирмой «Petkus» (Германия) создан воздушно-решётный сепаратор К-560А [11] с воздушной системой замкнутого типа со встроенным радиальным вентилятором. Некоторая часть наиболее запылённого воздуха вытяжным вентилятором отсасывается и очищается в двух циклонах. Воздушная система работает как у машины МПО-25Ф – делит зерновой материал на тяжёлую, фуражную и лёгкую фракции. Тяжёлая фракция обрабатывается на решётах, где выделяются крупные и мелкие примеси, а очищенный материал сортируется на фракции крупного и мелкого зерна. Фуражная фракция выводится из воздушной системы наружу и чаще всего требует дополнительной обработки. Преимущества машины К-560А по сравнению с машиной МПО-25Ф заключаются в уменьшении объёма очищаемого отработанного воздуха и снижении связанных с этим затрат энергии.

Фирмой «Happle» (Германия) разработана серия универсальных воздушно-решётных зерноочистительных машин производительностью от 40 до 150 т/ч [7]. Машина АKN-200 имеет воздушную систему замкнутого типа, которая содержит встроенный радиальный вентилятор, пневмосепарирующую и осадочную камеры, циклон, приёмный бункер с питающим валиком. Особенностью технологического процесса машины является деление зернового материала воздушным потоком на тяжёлую, сред-

нюю и лёгкую фракции, которые затем очищаются от крупных примесей на соответствующих секциях верхнего колосового решета и от мелких примесей на четырёх ярусах подсевных решёт, а из лёгкой фракции на дополнительном подсевном решете выделяется щуплое зерно. Таким образом, все фракции доводятся до целевого назначения за один пропуск через машину. Замкнутая воздушная система снижает загрязнение окружающей среды. Недостатком машины является сложность настройки воздушной системы на рабочий режим.

Машина предварительной очистки МПУ-70 (ОАО ГСКБ «Зерноочистка»¹⁾) имеет производительность 50 т/ч и состоит из приёмной камеры, аспирационной воздушной системы, решётной части [12]. Воздушная система содержит один канал дорешётной аспирации и два параллельно работающих канала послерешётной аспирации, одну осадочную камеру. Радиальный вентилятор системы аспирации монтируется отдельно от машины. По технологическому процессу машина МПУ-70 аналогична серии машин S1 фирмы «Kamas» (Швеция) производительностью от 50 до 80 т/ч [7]. Решётная часть снабжена двумя двухъярусными параллельно работающими станами и отдельным приёмным колосовым решетом. Частота колебаний решётных станов регулируемая. Очистка решёт – шариковая. К положительным моментам технологического процесса следует отнести дополнительную очистку зернового материала от крупных примесей на приёмном колосовом решете и от лёгких примесей обоих потоков отдельно в каналах послерешётной аспирации. Недостатком является сложность настройки воздушной системы из-за параллельной работы трёх аспирационных каналов от одного вентилятора и осаждением лёгких примесей в одной осадочной камере.

Машины предварительной очистки МПО-30Р (ФГУП ПКБ НИИСХ Северо-Востока, Россия) и К-523Б фирмы «Petkus» (Германия) содержат двухъярусный решётный стан, воздушную систему, включающую два ПСК, радиальный вентилятор и циклон [13]. Верхний ярус решёт очищается скребковым транспортёром, нижний – щётками. Недостаток воздушной системы – отсутствие осадочной камеры и связанное с этим ограничение скорости воздушного потока в ПСК. Существенным недостатком машин является также высокая динамическая неуравновешенность, возникающая от работы решётного стана. Этот недостаток устранён в машине МПО-30Р «Велес» за счёт установки

двух одноярусных решётных станов одинаковой массы, работающих в противофазах [14].

В ФГБНУ ФНАЦ ВИМ разработаны гравитационные сепараторы ЗГ-5, ЗГМ-20, СЗГ-25, ЗГ-30 и СМВО-10 производительностью от 5 до 30 т/ч [15, 16, 17]. Сепараторы состоят из приёмного устройства, блоков решётной и воздушной сепарации. Решётный гравитационный сепаратор очищает зерновой материал от крупных и мелких примесей при самотёчном перемещении его по неподвижным самоочищающимся консольно закреплённым прутковым решёткам без затрат электроэнергии. Блок воздушной сепарации удаляет из зернового вороха лёгкие примеси. Наиболее эффективная воздушная очистка осуществляется в машине СМВО-10, укомплектованной пневмосортировальным блоком от машины ПСМ-10. Гравитационные сепараторы отличаются высокой надёжностью, простотой обслуживания. В сравнении с аналогами характеризуется меньшими в 2,3-3,2 раза металлоёмкостью и в 1,5-2,0 раза энергоёмкостью. Общий недостаток гравита-

ционных сепараторов заключается в низкой чёткости сепарации решётного блока, обусловленной непостоянством рабочего зазора из-за вибрации консольно закреплённых прутков.

Машина предварительной очистки зерна МПЗ-50 (ФГБНУ ФНАЦ Северо-Востока) производительностью 50 т/ч состоит из малогабаритной воздушной системы и решётной части (рис. 2), имеющие собственные рамы и механизмы привода [11, 18].

Воздушная система содержит сепарирующие каналы предварительной 10 и основной 4 очистки. Оба канала выполнены наклонными, имеют общую смежную стенку и последовательно обрабатывают зерновой ворох до решёт. Устройство ввода материала в ПСК – питающий валик 5 с верхней подачей. Воздушный поток, поступающий в ПСК из атмосферы, создаётся диаметральной вентилятором 13, установленным в верхней части осадочной камеры. Отработанный воздух нагнетается диаметральной вентилятором в малогабаритный инерционный жалюзийно-противоточный пылеуловитель 17 [19].

Рис. 2. Технологическая схема машины предварительной очистки зерна МПЗ-50: 1, 2 – нижний и верхний решётные станы; 3 – делитель; 4 – пневмосепарирующий канал основной очистки; 5 – питающий валик; 6 – смежная стенка; 7 – окно; 8 – приемная камера; 9 – загрузочно-распределительное устройство; 10 – канал предварительной очистки; 11, 15 – дроссельные заслонки; 12 – осадочная камера; 13 – диаметральный вентилятор; 14 – выхлопной патрубок; 16, 18 – устройства вывода фракций; 17 – инерционный жалюзийно-противоточный пылеуловитель; 19...24 – приемники фракций; 25 – съемный наклонный материалопровод

Решётная часть содержит два параллельно работающих двухъярусных стана 1 и 2 с классической схемой расположения решёт: верхний ярус – решёта Б1 и Б2 (выделяют крупные примеси), нижний – В и Г (выделяют мелкие примеси). В каждом ярусе установлено по четыре решета размером (990×740 мм), по два решета в кассете. Для уменьшения площади обслуживания машины кассеты с решётами вставляются в решётный стан сбоку.

Расположение обоих каналов до решёт, применение одной осадочной камеры и малогабаритного пылеуловителя уменьшают габаритные размеры машины по длине и высоте. Кроме того, при обработке зернового вороха в канале 10 предварительной очистки часть лёгких примесей удаляется в осадочную камеру 12, а остальные перемещаются в сторону смежной стенки 6 и укладываются в желобки питающего валика 5 поверх зернового материала, что обеспечивает более эффективную работу канала основной очистки. Недостатком можно считать потребность в дополнительной очистке большого количества отработанного воздуха (до 10000 м³/ч) при высокой запылённости исходного зернового вороха.

Одним из главных направлений развития зерноочистительной техники в последние годы является создание универсальных воздушно-решётных машин высокой производительности, способных работать в режимах предварительной, первичной и вторичной очистки.

Фирма «Westrup» (Дания)⁸ разработала широкий спектр универсальных воздушно-решётных машин различной производительности. Модульные серии SB и UR с рабочей шириной 1,0; 1,25; 1,5; 1,75 и 2,0 м имеют производительность до 60 т/ч при одном решётном стане. В машине SB установлены три яруса решёт общей площадью до 11,2 м², в машине UR – четыре при площади до 16,0 м². Дополнительный ярус решёт может работать по параллельной схеме с вышестоящим ярусом или для выделения мелких примесей при разделении зерна на два сорта. Воздушная система снабжена двумя аспирационными ПСК (до и после решёт) с постоянной или регулируемой глубиной, одной или двумя осадочными камерами и радиальным вентилятором. Универсаль-

ные воздушно-решётные машины серии SR этой фирмы содержат два решётных стана по четыре яруса в каждом с общей площадью от 16 до 40 м² при рабочей ширине от 1,0 до 2,5 м. Производительность машин при предварительной очистке с выделением крупных, мелких и лёгких примесей составляет от 100 до 250 т/ч. Машины содержат два ПСК. Канал предварительной очистки может быть соединён с атмосферой или работать с замкнутой рециркуляцией воздуха. Второй ПСК двойной с регулируемой глубиной.

Универсальные сепараторы TAS фирмы «Buhler-Schmidt-Seeger» (Швейцария)⁹ по технологическому процессу схожи с универсальными воздушно-решётными машинами серии SR фирмы «Westrup» (Дания). Сепараторы TAS имеют производительность 60; 120; 160 и 250 т/ч, их общая площадь решёт составляет соответственно 12; 24; 32 и 48 м², максимальный объём удаляемого из машины отработанного воздуха – 8,4; 11,7; 15,6 и 23,4 м³/ч. Воздушная система замкнуто-разомкнутого типа, содержит два ПСК, две осадочные камеры и подключается к отдельно функционирующему генератору воздушного потока. Первый ПСК работает с замкнутой циркуляцией воздуха, второй – в режиме аспирации. Решётная часть состоит из двух параллельно работающих станков, содержащих по три двухъярусных блока решёт, выделяющих крупные и мелкие примеси. Крупное зерно из решётных станков двумя потоками поступает во второй ПСК. Воздушный поток из атмосферы последовательно поступает во второй ПСК, вторую осадочную камеру, первый ПСК, первую осадочную камеру и удаляется из машины. Работа первого ПСК с рециркуляцией отработанного воздуха из второй аспирации в некоторой степени снижает качество очистки зернового материала от лёгких примесей и пыли до решёт, которое компенсируется при его обработке чистым атмосферным воздухом во втором ПСК и уменьшением общего количества расходов воздуха. Недостатком сепараторов TAS является увеличенная масса по сравнению с аналогами, а также сложность компоновки элементов воздушной системы и большая её протяжённость.

⁸Westrup A/S [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.westrup.com/Products/> (дата обращения: 15.02.2018).

⁹Buhler Schmidt-Seeger, GmbH [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.buhlergroup.com/europe/ru/> (дата обращения: 21.02.2018).

Фирма «Petkus Technologie GmbH» (Германия)¹⁰ выпускает воздушно-решётные сепараторы различного назначения: предварительно-первичной очистки V 12 3.6 и V 15 3.6 производительностью 120 и 150 т/ч, первично-вторичной очистки M 12 3.6 и M 15 3.6 производительностью 50 и 60 т/ч, универсальные очистители U 12 2.4, U 15 2.4¹¹ производительностью 60 и 80 т/ч и A 09, A 12 производительностью 40 и 50 т/ч [14]. Воздушные системы сепараторов снабжены аспирационными каналами до и после решёт, двумя осадочными и одной промежуточной камерами, питающим устройством в виде профилированного валика, закрытого качающейся заслонкой с грузами, радиальным вентилятором. Второй ПСК в нижней части двойной с регулируемой заслонкой на входе. Регулирование скорости воздушного потока в ПСК выполняется заслонками, расположенными на верхних стенках осадочных камер. Радиальные вентиляторы сепараторов серий V 12, M 12, U 12 имеют объёмный расход воздуха 9000 м³/ч, серий V 15, M 15, U 15 – 12000 м³/ч, сепараторов серий A 09 и A 12 – 8500 и 11000 м³/ч. Все сепараторы имеют по два решётных стана, кроме универсальных очистителей A 09 и A 12, у которых установлен один решётный стан. Решётные станы сепараторов серии V одинаковые по конструкции и содержат по три яруса решёт. На верхнем ярусе решёт выделяются крупные примеси, на нижнем – мелкие, на среднем – или крупные, или мелкие. Очистка решёт осуществляется резиновыми шариками, а верхнего яруса дополнительно скребковым транспортером. Верхний решётный стан очистителей M 12 3.6 и M 15 3.6 содержит два параллельно работающих яруса решёт для выделения крупных примесей, нижний – четыре параллельно работающих яруса решёт для очистки мелких или крупных примесей или калибрования зерна. Решётные станы имеют наклон в одну сторону. После очистки от крупных примесей материал по поддону поступает на начало решёт нижнего стана. Решётная система универсальных очистителей U 12 3.6 и U 15 3.6 отличается от очистителей серии M конструкцией нижнего решётного стана, содержащего два яруса решёт. По технологическому процессу они схожи. Решётный стан универсальных очистителей

A 09 и A 12 содержит три яруса решёт. Верхний ярус служит для отделения крупных примесей, нижний – мелких примесей, средний может использоваться как верхний или как нижний. Высокая производительность сепараторов достигается за счёт увеличения их рабочей ширины, мощности вентиляторов, а также количества колосовых и сортировальных решёт. Недостатком воздушно-решётных сепараторов серий V, M, U следует признать большую установленную мощность (20...25 кВт) и габаритные размеры по высоте (3,25...4,15 м).

Из российских разработок высокопроизводительных универсальных зерноочистительных машин заслуживают рассмотрения универсальный сепаратор вороха СВУ-60 (ОАО «Воронежсельмаш») [6] и фракционный очиститель зерна ОЗФ-80/40/20 (ООО «Осколсельмаш»)¹². Сепаратор СВУ-60 имеет производительность 60, 40, и 20 т/ч соответственно при предварительной, первичной и вторичной очистке зернового материала. Содержит две воздушные системы и решётную часть (рис. 3).

Первая воздушная система замкнутого типа, очищает зерновой материал от пыли и лёгких примесей до решёт. Вторая воздушная система разомкнутого типа, очищает материал после решёт. Воздушные системы соединены между собой рециркуляционным каналом 8, по которому до 10% объёма воздуха отсасывается из первой системы во вторую и устраняется пыление в местах ввода и вывода материала. Воздушный поток создаётся высокоэффективными диаметрными вентиляторами 7 и 11 [8]. Скорость воздуха в ПСК регулируется поворотом жалюзи устройств 6 и 12, расположенных на смежной стенке вентилятора. Поперечный размер первого ПСК составляет 0,15×1,4 м², второго ПСК – 0,14×1,4 м². Отработанный воздух удаляется из машины в аспирационную систему технологической линии.

Приёмно-питающее устройство 5 содержит разравнивающий шнек и питающий валик с верхней подачей. Решётная часть состоит из распределительного устройства 2 и четырёх одинаковых ярусов решёт, соединённых попарно в два решётных стана 1 и 3, работающих в противофазах. Очистка решёт осуществляется резиновыми шариками. В ярусах последова-

¹⁰PETKUS Wutha Technologie, GmbH [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://russian.petkus.de/produkte/-/info/sortieren/reiniger> (дата обращения: 27.02.2018).

¹¹PETKUS Wutha Technologie, GmbH [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://russian.petkus.de/DB_Universalreiniger_U12_U15_RU_Web (дата обращения: 05.03.2018).

¹²Очиститель зерна фракционный [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://oskolselmach.ru/production/ozf_80 (дата обращения: 14.03.2018).

тельно установлены подсевное В, сортировальное Г и колосовое Б решёта общей площадью 17 м². Мелкие примеси выводятся из машины через приёмники 25, 26, 27, 28, мелкое и щуплое фуражное зерно – через приёмники 21, 22,

23, 24, крупные примеси – через приёмники 17, 18, 19, 20. Очищенное зерно со всех ярусов решёт одним потоком поступает во второй ПСК 16, где дополнительно очищается от лёгких примесей, щуплого и дроблёного зерна.

Рис. 3. Технологическая схема универсального сепаратора вороха СВУ-60: 1, 3 – нижний и верхний решётные станы; 2 – распределительное устройство; 4, 16 – ПСК; 5 – приемно-питающее устройство; 6, 12 – устройства для регулирования скорости воздуха; 7, 11 – диаметральный вентилятор; 8 – рециркуляционный канал; 9, 14 – устройства вывода фракций; 10, 13 – осадочные камеры; 15 – выхлопной патрубок; 17...28 – приемники фракций

Применение двух воздушных систем со своим диаметральный вентилятором обеспечивает практически независимую их работу и быструю настройку на технологический режим. Однако применение двух вентиляторов и наличие рециркуляционного канала усложняет конструкцию и протяжённость воздушной системы и увеличивает удельные затраты энергии на процесс очистки зерна. Последовательное расположение подсеивного, сортировального и колосового решёт в одном ярусе позволяет увеличить их общую площадь, но ухудшает условия просеивания мелких примесей и щуплого зерна через более толстый слой материала при высокой зерновой нагрузке.

Фракционный очиститель зерна ОЗФ-80/40/20 (ООО «Осколсельмаш») обеспечивает производительность 80, 40 и 20 т/ч при предварительной, первичной и вторичной

очистке [20]. Состоит из двух решётных станов 1 и 2 (рис. 4) и воздушной системы.

Решёта стана расположены в двух ярусах, по три кассеты в каждом. Длина кассеты решёт 0,96 м, ширина – 1,50 м. Общая площадь решёт составляет 17 м². Очистка решёт производится резиновыми шариками. При первичной и вторичной очистке зерна в верхнем ярусе последовательно устанавливают кассеты с сортировальными решётами Г1, Г2 и колосовым решётом Б, в нижнем ярусе последовательно устанавливают кассеты с подсеивными решётами В1, В2 и сортировальным решётом Г3. При предварительной очистке зерна в верхнем ярусе располагают только колосовые решёта Б, в нижнем ярусе – только подсеивные решёта В. Воздушная система состоит из двух вертикальных ПСК 3 и 4, параллельно обрабатывающих зерновой материал до решёт, и третьего вертикального

ПСК 15, очищающего материал после решёт, двух осадочных камер 9, 12 и расположенного в них диаметрального вентилятора 11. Между каналами 3 и 4 размещено приёмно-питающее устройство 7 и делитель 5 потока материала. Скорость воздуха в ПСК 15 регулируется изменением частоты вращения колеса вентилятора с помощью частотного преобразователя, а в ПСК 3 и 4 дополнительно заслонками 6 и 8.

Установка двух сортировальных решёт Г1 и Г2 в начале верхнего яруса увеличивает производительность машины, а в совокупности с подсевными решётами В1, В2 в начале и сортировального решета Г3 в конце нижнего яруса решёт позволяет выделить фуражную

фракцию, которая объединяется с фуражной фракцией, выделяемой вторым ПСК. Воздушная система не «пылит», поскольку все её элементы работают под разрежением. Применён наиболее экономичный способ регулирования общих расходов воздуха частотой вращения колеса вентилятора с помощью частотного преобразователя. К недостаткам машины следует отнести потребность дополнительного оборудования для очистки отработанного воздуха, что связано с большими материальными и энергетическими затратами, а также перегруженность колосового решета Б и сортировального Г3 при высоких удельных подачах.

Рис. 4. Технологическая схема очистителя зерна фракционного ОЗФ-80/40/20: 1, 2 – нижний и верхний решетчатые станы; 3, 4, 15 – ПСК; 5 – делитель; 6, 8 – регулировочные заслонки; 7 – приемно-питающее устройство; 9, 12 – осадочные камеры; 10, 13 – устройства вывода фракций; 11 – диаметральный вентилятор; 14 – выходной патрубок; 16, 17, 19, 20, 25, 26 – приемники фракций; 18 – клапан; 21, 22 – поддоны; 23, 24 – разгрузочные каналы

Возможность использования универсальных машин в различных режимах сокращает их номенклатуру, облегчает эксплуатацию. Однако при обработке сильно засорённого зернового вороха фуражная фракция нуждается в дополнительной очистке, а при работе в режиме вторичной очистки существенно возрастают значения

энерго- и металлоёмкости. Универсальные машины по этим показателям уступают машинам вторичной очистки.

Российские машины вторичной очистки МС-4,5, МС-4,5С (ОАО «Воронежсельмаш»), МВУ-1500, СВУ-5Б (ОАО ГСКБ «Зерноочистка») [6, 12], МЗУ-20Д (ФГУП ПКБ НИИСХ

Северо-Востока) [13] имеют производительность от 4,8 до 20,0 т/ч. Содержат воздушные системы с двумя ПСК, одной или двумя осадочными камерами, встроенным диаметральной вентилятором или отдельно смонтированным радиальным вентилятором, устройствами для предварительной очистки отработанного воздуха. Особенностью конструкции воздушной системы машины МВУ-1500 является то, что второй ПСК дополнительно снабжён разделительной камерой для улавливания фуражной фракции по аналогии с машиной DELTA 108 фирмы «Cimbria» (Дания)¹³. Решётные части машин МС-4,5 и МС-4,5С имеют один решётный стан, остальные – по два последовательно работающих решётных стана с разным количеством решёт согласно заданной производительности. Применяется щётчатая и шариковая очистки решёт.

Выводы. В результате анализа конструкций и процесса работы российских и зарубежных воздушно-решётных зерноочистительных машин выявлены следующие тенденции их развития:

- повышение производительности до 200...250 т/ч и более за счёт увеличения ширины рабочей части, площади сортировальных и подсевных решёт, производительности вентиляторов, применения фракционной технологии очистки по скорости витания и размерам частиц, использования для очистки от грубых примесей дополнительного плоского или цилиндрического решета (скельператора);

- улучшение качества очистки зерна путём совершенствования технологического процесса и рабочих органов, применения диаметральных вентиляторов, питающих устройств активного типа, пневмосепарирующих каналов (ПСК) предварительной (до решёт) и основной (после решёт) очистки;

- расширение функциональных возможностей – разработка зерноочистительных машин для предварительной и первичной очистки, первичной и вторичной очистки, универсальных зерноочистительных машин для выполнения предварительной, первичной и вторичной очистки;

- снижение энерго- и металлоёмкости за счёт разработки самотёчных гравитационных воздушно-решётных сепараторов, использования замкнутых и замкнуто-разомкнутых воздушных систем со встроенными внутри диа-

метральными вентиляторами и инерционными пылеуловителями, регулирования скорости воздушного потока в ПСК изменением частоты вращения колеса вентилятора частотным преобразователем, размещения до решёт двух последовательно обрабатывающих зерновой материал ПСК.

Список литературы

1. Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Продовольственная безопасность. Раздел 1. М.: МГФ «Знание», 2000. 554 с.
2. Малько А.М. Качество семян важнейших сельскохозяйственных растений в РФ. М.: ЗАО «Издательство ИКАР», 2005. 70 с.
3. Дринча В.М. Исследование сепарации семян и разработка машинных технологий их подготовки. Воронеж: изд-во НПО «МОДЕК», 2006. 384 с.
4. Ермольев Ю.И. Перспективы развития технологий и технических средств очистки зерна // Инновация, экология и ресурсосберегающие технологии (ИнЭРТ-2012): труды X Международного научно-технического форума. Ростов н/Д: ИЦ ДГТУ, 2012. С. 235-245.
5. Сычугов Н.П., Сычугов Ю.В., Исупов В.И. Механизация послеуборочной обработки зерна и семян трав. Киров: ФГУ ИП «Вятка», 2003. 368 с.
6. Тарасенко А.П. Современные машины для послеуборочной обработки зерна и семян. М.: Колос, 2008. 232 с.
7. Бурков А.И., Сычугов Н.П. Зерноочистительные машины. Конструкция, исследование, расчёт и испытание. Киров: НИИСХ Северо-Востока, 2000. 261 с.
8. Бурков А.И. Диаметральные вентиляторы зерно- и семяочистительных машин. Исследование и применение. Киров: НИИСХ Северо-Востока, 2008. 164 с.
9. Бурков А.И., Глушков А.Л. Машина предварительной очистки зерна // Сельский механизатор. 2007. №1. С. 8.
10. Бурков А.И. Инерционные пылеуловители зерно- и семяочистительных машин. Разработка, исследование, применение. Киров: ГНУ НИИСХ Северо-Востока, 2013. 156 с.
11. Бурков А.И. Разработка и совершенствование пневмосистем зерноочистительных машин. Киров: ФГБНУ «НИИСХ Северо-Востока», 2016. 380 с.
12. Федоренко В.Ф., Ревякин Е.Л. Зерноочистка – состояние и перспективы. М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2006. 204 с.
13. Сычугов Ю.В. Модернизация объектов послеуборочной обработки зерна: монография. Киров: ФГБОУ ВО Вятская ГСХА, 2015. 188 с.

¹³Cimbria Heid, GmbH [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.cimbria.com/en-GB/Home/Solutions/Seed-Processing.aspx> (дата обращения: 28.03.2018).

14. Сычугов Н.П., Сычугов Ю.В., Исупов В.И. Машины, агрегаты и комплексы послеуборочной обработки зерна и семян трав: монография /под ред. Н.П. Сычугова. Киров: ООО «ВЕСИ», 2015. 404 с.

15. Зюлин А.Н., Гозман Г.И. Зерноочиститель СЗГ-25 // Техника в сельском хозяйстве. 1997. №6. С. 30-31.

16. Еров Ю.В., Нуруллин Э.Г., Каримов Х.З., Салахияев Д.З. Инновации в послеуборочной обработке зерна и семян. Казань: «Слово», 2009. 104 с.

17. Еров Ю.В., Хадеев Т.Г., Исаев М.Д., Салахияев Д.З. Система семеноводства зерновых культур. Казань: Центр инновационных технологий, 2005. 328 с.

18. Бурков А.И., Глушков А.Л., Булдаков Д.С. Как уменьшить габаритные размеры пневмосистемы машины предварительной очистки зернового вороха // Сельский механизатор. 2008. №11. С. 12.

19. Бурков А.И., Глушков А.Л., Булдаков Д.С. Малогабаритный инерционный жалюзийно-противочувствительный пылеуловитель для зерноочистительных машин // Достижения науки и техники АПК. 2010. №12. С. 73-76.

20. Тарасенко А.П., Орбинский В.И., Гиевский А.М. Показатели работы фракционных очистителей зерна // Техника в сельском хозяйстве. 2010. №1. С. 5-7.

Сведения об авторе:

Бурков Александр Иванович, доктор техн. наук, главный научный сотрудник лаборатории 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

Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka, 2018. Vol. 63, no. 2, pp. 4-15.

doi: 10.30766/2072-9081.2018.63.2.04-15

Trends in development of air screen grain cleaners at present stage

A.I. Burkov

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

The article provides the results of the analysis of designs and the process of work of air screen grain cleaners by leading Russian companies OAO "Zernoochistka", OAO "Melinvest", OAO "Voronezhselmash", "Romax" plant, ООО "Oskolselmash", FSUE North-East, "Tekhnograd" enterprise (Perm Krai), FSAC VIM, FARC North-East; and foreign companies "Petkus", "Happle", "Buhler" (Germany), "Denis" (France), "Westrup", "Cimbria" (Denmark), "Buhler Schmidt-Seeger" (Switzerland). The main directions of improving grain cleaners are increased productivity up to 200 - 250 t / h and more, improved quality of grain cleaning, extended functional capabilities, reduced energy and metal consumption. Increased productivity is achieved by enlarged width of the working part and of the area of grading and seed sieves, by raising the fan performance and applying cleaning with division into fractions by fly speed and particle size. Improving the quality of grain cleaning is provided by improving the process and working bodies, application of cross-flow fans and feed devices of the active type, use of pneumatic separating channels of preliminary and main cleaning. Expansion of functionality is provided by the creation of grain cleaning machines for operation in the pre-and primary treatment modes of cleaning, primary and secondary treatment modes, universal grain cleaning machines for preliminary, primary and secondary cleaning. Gravity air screen cleaners, grain cleaners with closed and closed-open air systems with integral cross-flow fans and inertial dust collectors have low energy and metal consumption. The results of the study can be useful for researchers and designers in the development of new grain cleaning machines.

Key words: *cleaning of grain from impurities, trends in development of air screen grain cleaners design*

References

1. *Bezopasnost' Rossii. Pravovye, sotsial'no-ekonomicheskie i nauchno-tehnicheskie aspekty. Prodoval'stvennaya bezopasnost'.* [Security of Russia. Legal, socio-economic and scientific-technical aspects. Food security]. Section 1. Moscow: MGF "Znanie", 2000. 554 p.

2. Mal'ko A.M. *Kachestvo semyan vazhnykh sel'skokhozyaystvennykh rasteniy v RF.* [Quality of seeds of the most important agricultural plants in Russia]. Moscow: ZAO "Izdatel'stvo IKAR", 2005. 70 p.

3. Drincha V.M. *Issledovanie separatsii semyan i razrabotka mashinnykh tekhnologiy ikh podgotovki.* [Study of the separation of seeds and the development of machine technologies for their preparation]. Voronezh: iz-vo NPO "MODEK", 2006. 384 p.

4. Ermol'ev Yu.I. *Perspektivy razvitiya tekhnologiy i tekhnicheskikh sredstv ochistki zerna.* [Prospects of development of technologies and technical means of grain cleaning]. *Innovatsiya, ekologiya i resursosberegayushchie tekhnologii (InERT-2012): trudy X Mezhdunarodnogo nauchno-tehnicheskogo foruma.* [Innovation, ecology and resource-saving technologies (Inert-2012): proceedings of the X International scientific and technical Forum]. Rostov n/D: ITS DGTU, 2012. pp. 235-245.

5. Sychugov N.P., Sychugov Yu.V., Isupov V.I. *Mekhanizatsiya posleuborochnoy obrabotki zerna i semyan trav.* [Mechanization of post-harvest processing of grain and grass seeds]. Kirov: FGU IP "Vyatka", 2003. 368 p.

6. Tarasenko A.P. *Sovremennye mashiny dlya posleuborochnoy obrabotki zerna i semyan*. [Modern machines for post-harvest processing of grain and seeds]. Moscow: Kolos, 2008. 232 p.
7. Burkov A.I., Sychugov N.P. *Zernoochistitel'nye mashiny. Konstruktsiya, issledovanie, raschet i ispytanie*. [Grain cleaning machines. Design, research, calculation and testing]. Kirov: NIISKh Severo-Vostoka, 2000. 261 p.
8. Burkov A.I. *Diametral'nye ventilyatory zerno- i semyaochisti-tel'nykh mashin. Issledovanie i primeneniye*. [Cross-flow fans of grain and seed cleaning machines. Research and application]. Kirov: NIISKh Severo-Vostoka, 2008. 164 p.
9. Burkov A.I., Glushkov A.L. *Mashina predvaritel'noy ochistki zerna*. [Grain precleaning machine]. *Sel'skiy mekhanizator*. 2007. no.1. p.8.
10. Burkov A.I. *Inertsionnye pileuloviteli zerno- i semyaochisti-tel'nykh mashin. Razrabotka, issledovanie, primeneniye*. [Inertial dust collectors of grain and seed cleaning machines. Development, research, application]. Kirov: GNU NIISKh Severo-Vostoka, 2013. 156 p.
11. Burkov A.I. *Razrabotka i sovershenstvovanie pnevmosistem zernoochistitel'nykh mashin*. [Development and improvement of pneumatic systems of grain cleaning machines]. Kirov: FGBNU "NIISKh Severo-Vostoka", 2016. 380 p.
12. Fedorenko V.F., Revyakin E.L. *Zernoochistka – sostoyaniye i perspektivy*. [Grain cleaning: condition and prospects]. Moscow: FGNU "Rosinformagrotekh", 2006. 204 p.
13. Sychugov Yu.V. *Modernizatsiya ob"ektov posleuborochnoy obrabotki zerna: monografiya*. [Modernization of post-harvest grain processing facilities: monograph]. Kirov: FGBOU VO Iyatskaya GSKhA, 2015. 188 p.
14. Sychugov N.P., Sychugov Yu.V., Isupov V.I. *Mashiny, agregaty i komplekсы posleuborochnoy obrabotki zerna i semyan trav: monografiya*. [Machines, aggregates and complexes of post-harvest handling of grain and seeds of herbs: a monograph]. *Pod red. N.P. Sychugova*. Kirov: OOO "VESI", 2015. 404 p.
15. Zyulin A.N., Gozman G.I. *Zernoochistitel' SZG-25*. [Grain cleaner SZG-25]. *Tekhnika v sel'skom khozyaystve*. 1997. no.6. pp. 30-31.
16. Erova Yu.V., Nurullin E.G., Karimov Kh.Z., Salakhiev D.Z. *Innovatsii v posleuborochnoy obrabotke zerna i semyan*. [Innovations in post-harvest processing of grain and seeds]. Kazan': "Slovo", 2009. 104 p.
17. Erova Yu.V., Khadeev T.G., Isaev M.D., Salakhiev D.Z. *Sistema semenovodstva zernovykh kul'tur*. [System of seed production of grain crops]. Kazan': Tsentr innovatsionnykh tekhnologiy, 2005. 328 p.
18. Burkov A.I., Glushkov A.L., Buldakov D.S. *Kak umen'shit' gabaritnye razmery pnevmosistemy mashiny predvaritel'noy ochistki zernovogo vorokha*. [How to reduce the overall dimensions of the pneumatic machine for pre-cleaning of grain heap]. *Sel'skiy mekhanizator*. 2008. no.11. pp 12.
19. Burkov A.I., Glushkov A.L., Buldakov D.S. *Malogabaritnyy inertsionnyy zhalyuziyno-protivotochnyy pileulovitel' dlya zernoochistitel'nykh mashin*. [Compact inertial louver-countercurrent dust collector for grain cleaning machines]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2010. no.12. pp. 73-76.
20. Tarasenko A.P., Orobinskiy V.I., Gievskiy A.M. *Pokazатели raboty fraktsionnykh ochistiteley zerna*. [Performance indicators of fractional grain cleaners]. *Tekhnika v sel'skom khozyaystve*. 2010. no.1. pp. 5-7.

Information about the authors:

A.I. Burkov, DSc in engineering, professor, Principal Research Scientist of laboratory of grain cleaning machines Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V.Rudnitsky, Lenina str., 166a, Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru