

## Сепараторы для зерна. Современное состояние и тенденции развития

Сепараторы для зерна как вид техники имеют историю развития, практически неразделимую с эволюцией человеческой цивилизации. Развитию этого вида техники посвящали свои труды лучшие умы человечества –

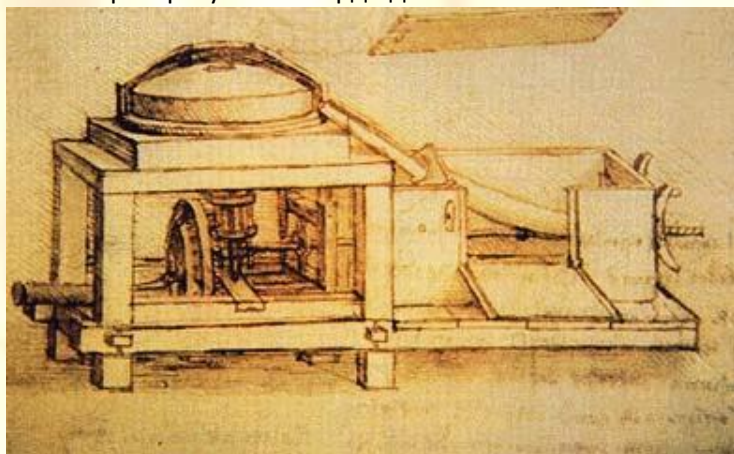


Леонардо да Винчи, Николай Егорович Жуковский, ... Однако последние «новинки», предлагаемые для сепарирования зерна, скорее, путь назад, чем следующий шаг в эволюции развития данного вида техники. Сепарирование зерна - это разноплановая сложная научно-техническая проблема, которая в зависимости от постановки задачи имеет многообразные решения. В рамках данной публикации ограничимся рассмотрением вопросов очистки, сортировки зерна на этапе послеуборочной обработки, подготовки партий зерна до требуемых кондиций различных производств и подготовки семенного материала. Этот выбор сделан из соображений максимального объема сепарируемого зерна. Можно смело сказать, что сепарированию на

данных этапах подвергается 100% урожая России.

На этапе послеуборочной обработки объектом сепарирования является свежесобранное зерно, поступающее непосредственно из-под комбайна. Задача сепарирования заключается в максимальной очистке зерна от примесей, отличающихся от зерен основной культуры геометрическими размерами (ширина, толщина) и аэродинамическими свойствами (скорость витания). В качестве осложняющих факторов рассматривается большая засоренность исходного зерна (до 15-20%), высокая влажность до 20-25% и масличность. Учитывая изменяющуюся конъюнктуру, севооборот и высокие темпы уборки в российском сельском хозяйстве, сепараторы на предварительной подготовке должны очищать зерно и семена различных культур с большой производительностью и эффективностью. Таким образом, сепаратор для послеуборочной обработки зерна должен обладать высокой производительностью (не менее 100 т/ч), работать с любой сельскохозяйственной культурой (пшеница, ячмень, рожь, овес, кукуруза, подсолнечник, рапс, горох, соя и т.д.) с высокой степенью засоренности и влажности.

Сепаратор муки Леонардо да Винчи



На этапе подготовки зерна до требуемых кондиций по условиям рынка перед сепараторами ставится задача не столько выделения примесей, сколько сортировка по размерам зерен основной культуры. Примером могут служить требования солодовенных компаний по крупности пивоваренного ячменя, экспортеров - к содержанию мелкой фракции в фуражном зерне, калибровка подсолнечника с получением фракций для кондитерских целей. Эта задача значительно сложнее, потому что необходимо достигать высокой эффективности процесса. Далек не каждый сепаратор способен решить эту задачу, и компромиссом между качеством и количеством

является снижение производительности сепараторов в 2-3 раза.

Подготовка семян включает высокую степень очистки и сортировки семенного материала. К семяочистительным сепараторам предъявляются самые высокие требования по эффективности процесса (до 85-90%). Несмотря на небольшую производительность (10-15 т/ч), уровень сложности конструкции и качество изготовления таких машин самое высокое. Поэтому семяочистительные сепараторы смело можно назвать вершиной технического прогресса в развитии такого вида оборудования, как зерновые сепараторы.

В эволюции сепараторов для зерна сложилась вполне определенная последовательность технологических операций, которая гарантирует надежную работу и высокую эффективность. Первой технологической операцией является выделение легких примесей с помощью воздуха. Это важно, потому что легкие примеси составляют до 70% от массы всех примесей, и их отделение на первом этапе значительно упрощает задачу на последующих этапах. Кроме того, такие легкие примеси, как солома, стебли и ости растений, могут застревать в отверстиях, и современные способы очистки решет перед ними бессильны. На второй технологической

операции из зерновой массы с помощью решет с большими отверстиями отделяются крупные примеси. Очень важно на этой технологической операции, чтобы все зерно основной культуры прошло через отверстия решета. В противном случае зерно вместе с крупными примесями будет потеряно, как негодные отходы. Этот фактор является основным ограничителем в производительности зерновых сепараторов. На третьей технологической операции с помощью решет с малыми отверстиями (подсевные решета) из зерна удаляются мелкие примеси. На подсевном решете сходовой фракцией является основное зерно, а проходовой – мелкие примеси. Содержание мелких примесей в зерне относительно невелико (2-5%) и их выделение происходит через отверстия малого размера. Из-за малой вероятности прохождения частиц в плотном зерновом слое через отверстия решета эффективность выделения мелких примесей не может быть высокой. По показателю эффективности выделения мелких примесей можно судить о техническом уровне машины в целом. Четвертая и последняя операция представляет собой воздушную очистку зерна от легких примесей. В отличие от первой воздушной очистки, целью которой является извлечение максимального количества легких примесей, окончательная воздушная очистка позволяет за счет разницы в аэродинамических свойствах извлекать трудноотделимые примеси, щуплые и дефектные зерна основной культуры, которые называются низконатурной фракцией зерна. Для этой операции в зерновых сепараторах имеется возможность тонкой настройки воздушного потока.

Обсудим критерии оценки конструкций и технических характеристик зерновых сепараторов, а для этого обратимся к теории сепарирования зерновых смесей или точнее сказать к ее выводам. Для этого рассмотрим условия прохождения частицы через отверстие решета продолговатой формы (рис. 1).

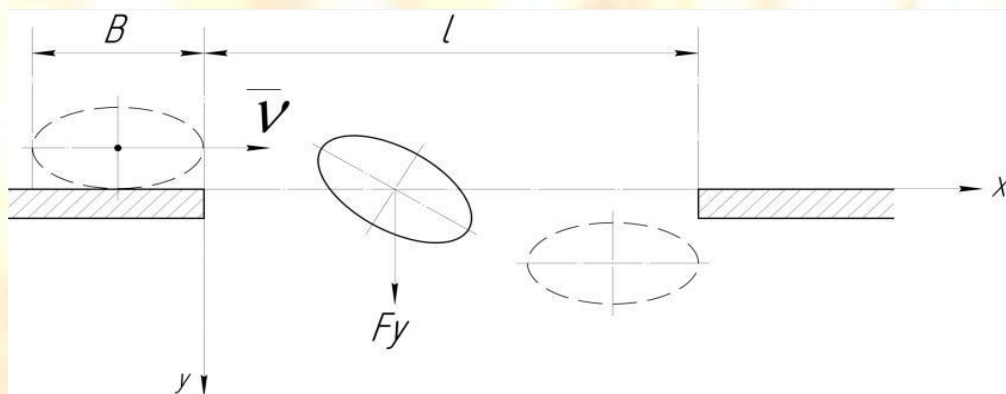
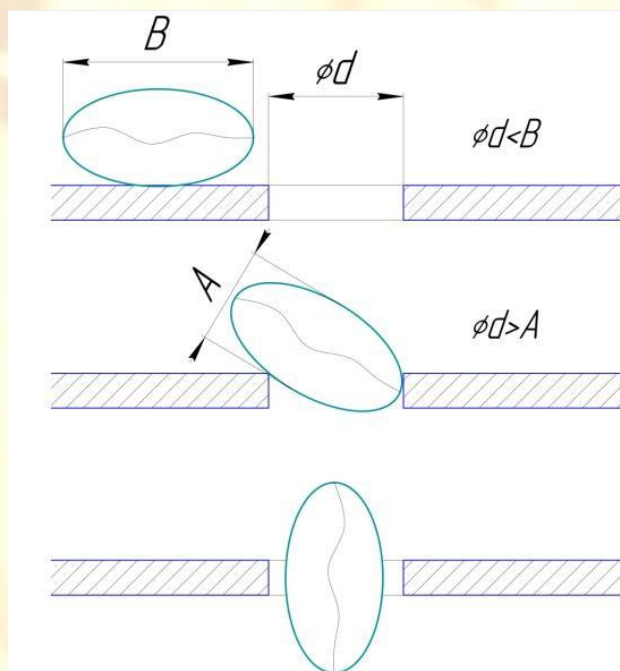


Рис. 1. Схема к определению условий выделения проходовой частицы.

1. Частица должна обладать размерами меньше размеров отверстия. Меньший из размеров поперечного сечения частицы принято называть толщиной, а больший – длиной. Через отверстие прямоугольной формы пройдут частицы, которые меньше размеров отверстия по толщине, т.к. длина прямоугольных

отверстий заведомо больше длины любой частицы (15-20 мм). Через круглое отверстие проходят только частицы, толщина и ширина которых меньше диаметра отверстия. Очень важно заметить, что в круглое отверстие частица проходит, когда ее длинная ось перпендикулярна плоскости отверстия (рис. 2).



Такое условие расположения частиц над отверстием при движении зерновой массы по плоскости решета достаточно затруднительно и становится возможным в режимах с подбрасыванием. Поэтому эффективность сепарирования злаковых культур с зернами вытянутой формы на решетках с круглыми отверстиями невелика. Приятное исключение составляют такие культуры как горох, рапс, кукуруза.

2. Частица должна располагаться над отверстием. Это условие, казалось бы, совершенно очевидно, но оно вводит ограничение на величину зернового слоя на решете, который не должен превышать размер 1-2 частиц. В противном случае частицы верхних слоев не имеют шансов пройти через отверстия. Кроме того, решето между отверстиями имеет перемычки. Частица над перемычкой в отверстие конечно не попадает. Отсюда стремление изготовителей решет повышать суммарную площадь отверстий относительно общей

Рис. 2. Схема прохода частицы в круглое отверстие.

площади решета, что оценивается коэффициентом «живого сечения».

3. Немаловажное значение имеет ориентация продолговатых частиц над прямоугольными отверстиями (рис. 3).

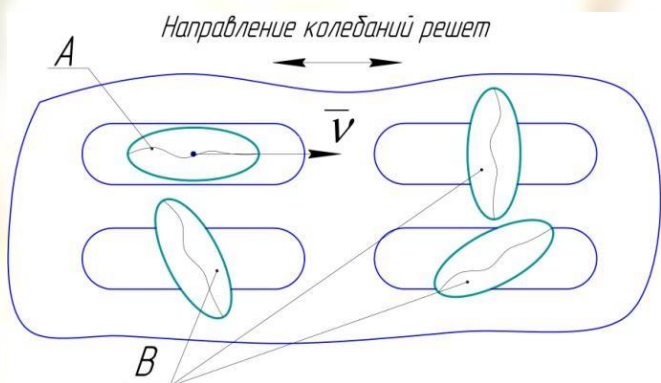


Рис. 3. Ориентация продолговатых частиц над прямоугольными отверстиями:  
 А – ориентированное зерно;  
 В – неориентированное зерно.

Совершенно очевидно, что продолговатая частица (зерно пшеницы, ячменя, ржи, овса) пройдет через прямоугольное отверстие, если ее длинная ось совпадает с длинной осью отверстия. Поскольку движение продолговатых частиц в зерновом слое происходит длинной осью в направлении вектора скорости, то в зерновых сепараторах продукт должен двигаться по решету прямолинейно вдоль отверстий.

4. Скорость движения продукта, с одной стороны, определяет производительность сепаратора, а с другой – эффективность его работы. С увеличением скорости естественно растет производительность, а эффективность снижается. Это объясняется тем, что с увеличением скорости резко снижается вероятность просеивания отдельной частицы (рис. 4).

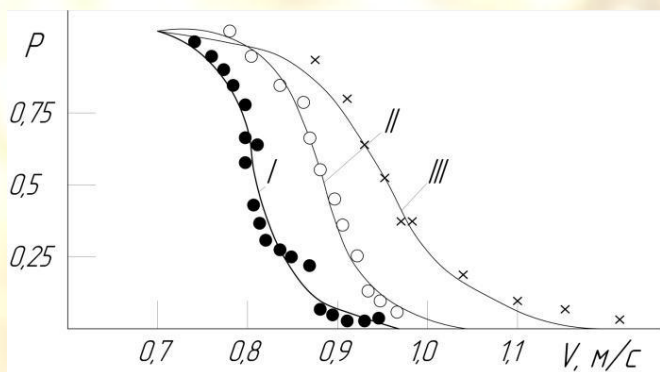


Рис. 4. Кривые зависимости вероятности просеивания отдельной частицы от ее скорости над горизонтальным отверстием (кривые получены расчетом; точками нанесены экспериментальные данные):  
 I – при  $R=0.43$ ; II – при  $R=0.59$ ; III – при  $R=0.66$

Из графика видно, что при достижении скорости 1 м/с процесс прохождения частиц через решето прекращается.

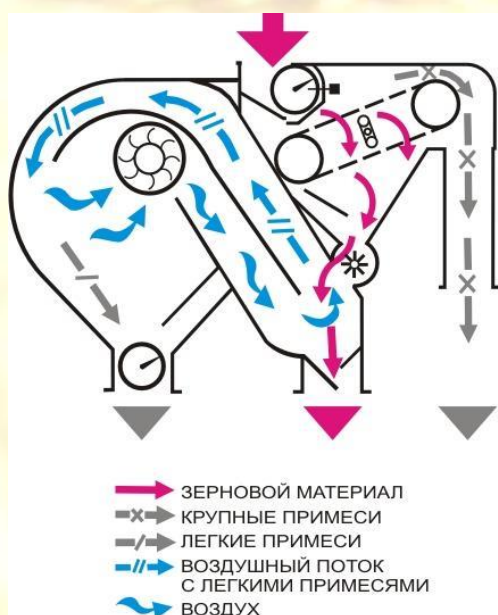
5. Процесс сепарирования зерна по своей природе является вероятностным. Вероятность совпадения многих случайных событий-условий ( $P_1, P_2, P_3, P_4$ ) по теории вероятности:  $P = P_1 \times P_2 \times P_3 \times P_4$ .

Учитывая, что вероятность каждого события-условия меньше 100%, вероятность прохождения частицы через отверстие решета крайне мала. Для того чтобы это генеральное событие состоялось, необходимо как можно больше возможностей для его реализации, а для зерновых сепараторов – большое количество отверстий на пути частицы. Из этого следует важный вывод: эффективность сепарирования повышается при увеличении длины решета.

В условиях современного состояния зернового рынка практически каждый производитель зерна должен иметь полный набор техники не только для возделывания полей и сбора урожая, но и для обработки зерна, в частности, зерновые сепараторы. На первый взгляд, казалось бы необходимо купить для каждой технологической операции необходимое оборудование. Однако три вида сепараторов не только потребуют

значительных денежных средств на покупку оборудования, но их установка приведет к капитальным затратам, которые могут значительно превышать стоимость сепараторов. Естественно, что инвесторы в стремлении оптимизировать затраты обращают прежде всего внимание на универсальные сепараторы, позволяющие решать все три задачи. В ответ на запрос рынка каждый производитель техники для очистки зерна позиционирует свою продукцию как универсальную, но на практике это далеко не так. Проанализируем конструкции сепараторов, представленных на российском рынке, с точки зрения соответствия условиям прохождения частиц через отверстия решета, технологических операций и места в системе послуборочной обработки и подготовки семян, хранения и переработки зерна.

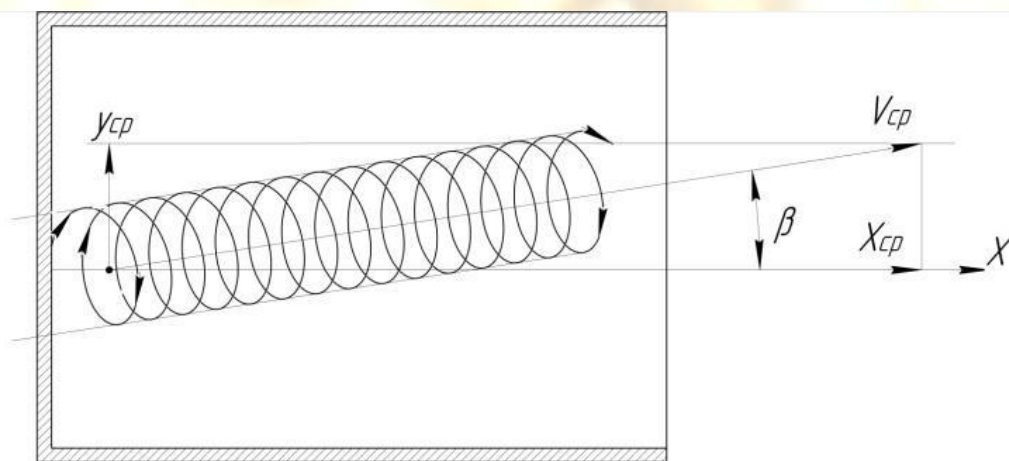
Машины предварительной очистки представлены моделями МПО-50 (Воронежсельмаш), МПО-100 (Зерноочистка), СПО-50 (Хорольский машзавод). Они имеют идентичную технологическую схему (рис. 5),



- ➔ ЗЕРНОВОЙ МАТЕРИАЛ
- ➔x➔ КРУПНЫЕ ПРИМЕСИ
- ➔-➔ ЛЕГКИЕ ПРИМЕСИ
- ➔//➔ ВОЗДУШНЫЙ ПОТОК С ЛЕГКИМИ ПРИМЕСЯМИ
- ➔➔ ВОЗДУХ

которая включает скальператор в виде бесконечной сетки рабица и пневмосепаратор с замкнутым циклом воздуха. Скальператор имеет сетку рабица с номинальным размером ячейки в диапазоне 15-20 мм, поэтому об очистке от крупных примесей речь не идет. С помощью скальператора выделяются только случайные предметы, но это еще не все крупные примеси. Пневмосепаратор имеет относительно невысокую эффективность (50%). Схема замкнутого цикла воздуха не требует дополнительной аспирационной сети, что является несомненным преимуществом данного сепаратора. Место машины предварительной очистки в технологии послеуборочной обработки зерна – это очистка зернового вороха перед временным непродолжительным хранением или перед сушкой. Невысокая стоимость, надежная работа и отсутствие необходимости дополнительных устройств обусловили достаточную популярность в применении машин предварительной очистки, как самостоятельной единицы оборудования, так и в сочетании с другими сепараторами в составе зерноочистительных линий.

Сепараторы А1-БИС-100, А1-БЛС-150 (Мельинвест), БСХ-100, СБП-100-01 (Хорольский машзавод), Р6-СВС-100 (Могилев-Подольский машзавод), SMA-20 (Schmidt-Seeger AG Германия) имеют практически одинаковую конструкцию и предназначены для элеваторной очистки зерна. Отсутствие в них первой технологической операции выделения легких примесей не позволяет их использовать для предварительной обработки свежееубранного зерна (вороха). Поэтому производители этих машин рекомендуют в технологической схеме ставить перед сепараторами либо машины для предварительной очистки, либо скальператоры. В этих сепараторах есть еще одна особенность – ситовой корпус совершает вращательные возвратно-поступательные движения. По расчетам отца русской авиации Жуковского Н.Е., траектория движения зерна по решетам в этом случае представляет линию, напоминающую собой спираль (рис. 6).



Продолговатые частицы, двигаясь по спирали, ориентированы длинной осью по траектории, направление которой постоянно меняется относительно продолговатых отверстий решета. Таким образом, не выполняются 2 и 3 условия и вероятность попадания частиц в отверстия решета настолько мала, что эффективность по выделению мелкой фракции

Рис. 6. Траектория частицы в относительном движении с учетом динамического подпора продукта

не превышает 30-50%. Другими словами, за один проход через сепаратор может выделиться только половина примесей. В попытке устранения этого системного недостатка отверстия в решетках выполняют в шахматном порядке, в виде шеврона и т.п., но эффективности это не добавляет. Для повышения общей эффективности в данном случае есть только один путь – увеличение общей площади ситовой поверхности за счет большего количества сит и их компоновки по типу рассева. Однако результат заведомо известен: в итоге получится сепаратор, подобный зерновому рассеву А1-БСФ-50. В подтверждение этого вывода предлагаем обратить внимание на сепараторы БСХ-200, БСХ-300 (Хорольский машзавод) и ТАС. В модели ТАС-2104-01 (Schmidt-Seeger AG Германия) общая площадь решет доходит до 44 м<sup>2</sup>, а длина не более 2 м. При этом

производительность на предварительной очистке 120 т/ч, а на сортировке пивоваренного ячменя 40-50 т/ч. Для такой оснащенности более чем скромные результаты. Одной из распространенных конструкций зерновых сепараторов являются цилиндрические бураты типа КБС – 1270 (Карловский машзавод), БЦС (Житомирский завод Вибросепаратор), ОЗБ (Клевер Ростсельмаш). У цилиндрических решет есть очень существенный недостаток – при очень большой площади решет продукт просеивается только на небольшом участке в 15-20% от общей площади (рис. 7).

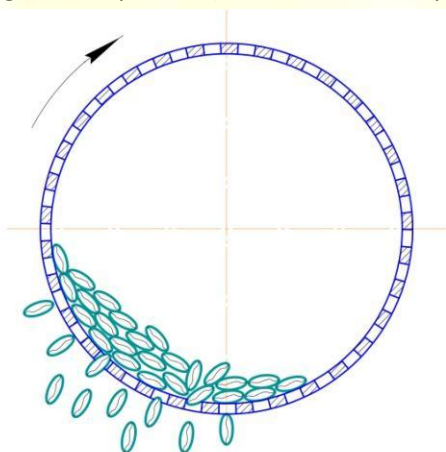
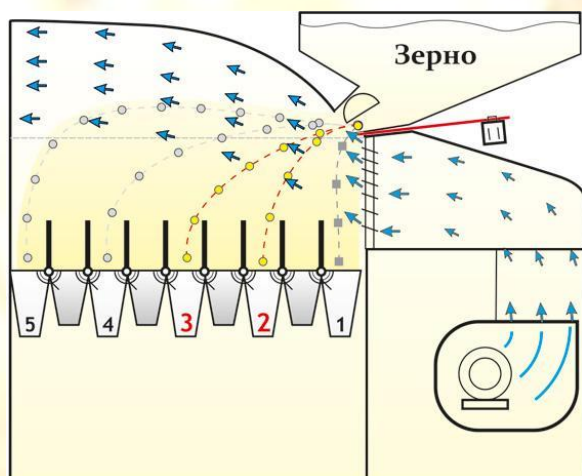


Рис. 7. Схема работы цилиндрического сепаратора

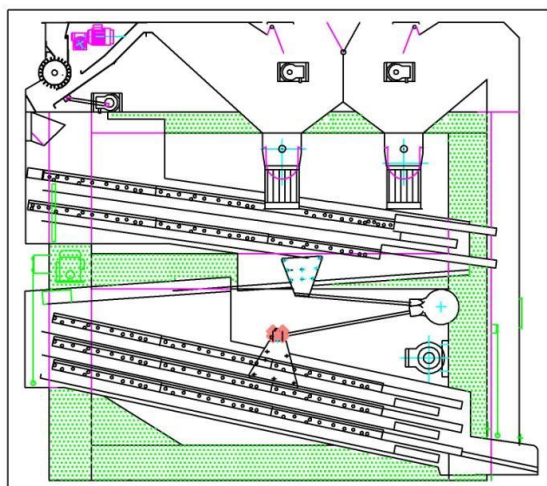
Кроме того, для обеспечения движения зерновой массы от места загрузки к месту выгрузки приходится наклонять ось цилиндра на 2-50 к горизонту или добавлять к вращению вибрации. В одном случае получаются очень громоздкие конструкции при относительно небольшой эффективности. Сепаратор КБС – 1270 имеет 20 м<sup>2</sup> ситовой поверхности при габаритных размерах 7750x2236x3600. Это самый большой сепаратор! В другом случае сепаратор БЦС имеет очень сложный и ненадежный привод и большой расход запасных частей, таких как решета, очистительные валики и т.п. Принципиально к цилиндрическим сепараторам следует отнести и скальператоры типа А1-БЗО, но скальператоры не имеют функцию очищать или сортировать зерно. Они извлекают из зерновой массы только случайные предметы и выполняют функцию предохранительного устройства. Поэтому оставим в нашем анализе скальператоры без внимания. Самым «удивительным» направлением новой техники являются пневмосепараторы типа Алмаз-С (Агротех, Агрохиммаш), СПС-10 (Воронежсельмаш), САД (НПФ Аэромех) и другие подобные конструкции. Принцип работы пневмосепаратора прост и незатейлив. Исходное зерно из приемного бункера по виброротку подается в нормализованный по направлению скорости горизонтальный воздушный поток. Воздушным потоком за счет различия в аэродинамических свойствах частицы относятся на разное расстояние и попадают в соответствующий сборник фракции (рис. 8).



Отличие от большого количества пневмосепараторов в том, что вертикальный (восходящий) поток воздуха заменен на горизонтальный. С точки зрения теории и практики пневмосепарирования ничего нового в данных сепараторах нет и результат вполне прогнозируемый. Достаточно вспомнить провеивание зерновых материалов вручную на легком ветерке, например, семян подсолнечника в домашних условиях. Таким способом можно отделить легкие примеси и щуплые зерна и не более. Обещания о сортировке по плотности (удельному весу) следует воспринимать не более чем удачный маркетинговый ход. Данные в открытом доступе по испытаниям говорят только о том, что две фракции зерна отличаются плотностью в пределах погрешности способа измерений. Но разговоры о разделении по плотности зерна являются основанием для обещаний

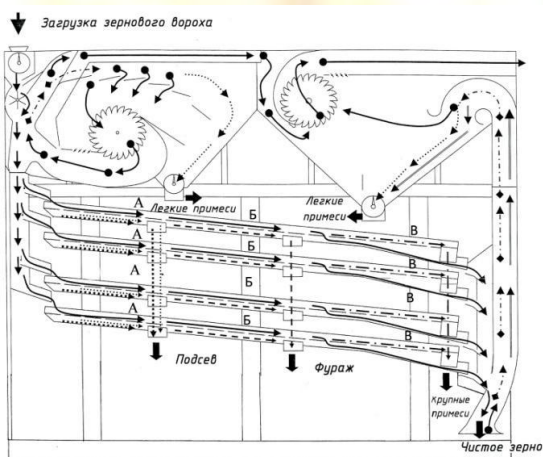
невиданных урожаев. Это некорректно хотя бы из соображений, что урожай зависит не только от плотности семян, но и от множества других факторов. Еще более непонятно, когда пневмосепараторы предлагаются для предварительной очистки, сортировки зерна и в роли семяочистительной линии. Место пневмосепараторов в системе послеуборочной обработки зерна, сортировке и подготовке семян - это финишная воздушная очистка. Однако во многих зерновых сепараторах с полным набором технологических операций есть воздушная очистка, тонкая настройка которой обеспечит такой же технологический эффект. Справедливости ради необходимо отметить одно очень важное преимущество пневмосепараторов данной конструкции. Они очень выгодны для производителей и одновременно имеют приемлемую цену для потребителей. В сочетании с удачной маркетинговой компанией это обеспечивает достаточно большой объем продаж.

Основой огромного парка зерноочистительных машин являются воздушно-решетные сепараторы. Они долгое время производятся и совершенствуются в нашей стране и за рубежом. Не отвлекаясь на историю



развития этого вида техники, сегодня можно с уверенностью назвать фирмы, представляющие данный вид сепараторов на российском рынке: Воронежсельмаш, Cimbria (Дания), Petkus (Германия), DenisDamas (Дания). Для корректного сравнения возьмем из всех моделей сепараторы зерновые, которые предназначены для предварительной очистки, сортировки зерна и подготовки семенного материала. В широком предложении продукции фирмы Cimbria (Дания) обращаем внимание на универсальный сепаратор DELTA 146 Combi (Франция) (рис. 9). Отличительными особенностями этой модели можно назвать полный набор технологических операций и полное соответствие условиям прохождения частиц через отверстия. Решета имеют не только большую площадь и шариковую очистку, но размещение их в двух корпусах позволяет последовательно очищать от

крупных и мелких примесей. Причем для очистки от мелких примесей количество и площадь решет увеличивается в 1,5 раза, что в сочетании тонкой настройкой воздушной очистки заметно увеличивает технологический эффект. В этой модели имеется возможность регулирования угла наклона решет. Для достижения большой производительности решета устанавливаются с наклоном 12-150, а для повышения эффективности сепарирования в режиме сортировки зерна и подготовки семян рекомендуются углы наклона решет 5-70. Большие углы установки увеличивают скорость движения зерна по решетам и обеспечивают большую производительность. Малые углы установки, естественно, снижают скорость и производительность, но повышают вероятность прохождения частиц через отверстия, и в результате эффективность выделения примесей увеличивается. Наиболее известный зарубежный бренд Petkus предлагает мультиочиститель M12/15, по конструкции и техническим характеристикам очень похожий на сепаратор DELTA 146 Combi, но с отсутствием возможности изменения угла наклона решет. Фирма Damas (Дания) производит семейство сепараторов OMEGA, которые различаются комплектацией решет. Более оснащенные модели имеют до 30 м<sup>2</sup> решетной поверхности и рекордную производительность - до 300 т/ч на предварительной очистке. Однако для сортировки зерна и подготовки семенного материала рекомендуются другие модели и вопрос универсальности, как в Cimbria и Petkus, не рассматривается. Фирма DenisNSD2 производительностью 50 т/ч. При более чем скромной комплектации он обладает полным набором технологических операций и приемлемой ценой. (Франция) на российский рынок поставляет модель зернового сепаратора.



Один из немногих отечественных производителей ОАО «Воронежсельмаш» предлагает универсальный сепаратор СВУ-60. Он оснащен всеми технологическими операциями по очистке зерна, и его конструкция максимально отвечает условиям прохождения частиц через отверстия решет. Однако технологическая схема вызывает много вопросов (рис. 10). В СВУ-60 установлены четыре яруса решет, работающих параллельно. В каждом ярусе последовательно размещены три решета с увеличением размеров отверстий по направлению движения зерна так, что на решетке выделяется сорная примесь, на втором — зерновая примесь, на третьем этапе зерно проходит через решето и крупные примеси сходом удаляются из сепаратора.

Эту схему организации технологических операций нельзя признать удачной. Во-первых, на первое решето поступает вся зерновая масса и выделение самых мелких частиц очень затруднительно. В сепараторах Cimbria и Petkus сначала выделяется крупная фракция, что значительно упрощает выделение мелких частиц на нижележащих решетках. Во-вторых, длина каждого решета по направлению движения зерновой массы не более метра, в то время как у зарубежных аналогов общая длина решет с одинаковым размером отверстий минимум 3 м. Естественно в таком сравнении ожидать от зарубежных аналогов лучших технических характеристик.

Из многолетнего опыта строительства, реконструкции и модернизации объектов по хранению и переработке зерна специалисты «НПФ Воронежсельсервис» пришли к выводу, что для инвестора выгоднее покупать универсальную технику с высокими техническими характеристиками, которая решит все задачи в рамках конкретного предприятия с максимальным коэффициентом использования. В капитальных затратах экономия заключается в стоимости дополнительного технологического оборудования (скальператоры, пневмосепараторы и т.п.), транспортного оборудования и аспирации (нории, транспортеры, циклоны, вентиляторы, воздуховоды), самотечных труб, электрооборудования. Но самая большая экономия получается при строительстве зданий и сооружений, где размещается все перечисленное выше оборудование. Если для универсального зернового сепаратора требуется только одна подающая нория и одна аспирационная сеть, то при использовании комплекса машин скальператор+сепаратор+пневмосепаратор потребуются как минимум три нории, четыре транспортера, три аспирационных сети и большое количество металлоконструкций, самотечных труб, электрооборудования. Кроме того, все это оборудование в металлоконструкции ЗАВ-40 вряд ли разместится. При строительстве современных элеваторов для размещения скальператор+сепаратор+пневмосепаратор потребуются строительство рабочей башни размером минимум 18х24х30 м. Стоимость такого сооружения в несколько раз превышает стоимость зернового сепаратора. Из этого следует очень важный вывод, что использование универсального зернового сепаратора с относительно высокой стоимостью при условии решения всех технологических задач позволяет экономить значительные денежные средства в общей смете на строительство или реконструкцию.

**Статья подготовлена АПК-Информ**