

РГП «Научно-производственный центр механизации сельского хозяйства»
(РГП «НПЦ МСХ»)

УДК 664.72:631.362.2/.3]:633.11

На правах рукописи

РАШЕВ САБИТ ДОСМАГАНБЕТОВИЧ

**Совершенствование технологического процесса очистки зерна пшеницы
от сорных примесей в комбинированной зерноочистительной машине**

05.18.12 – Процессы и аппараты пищевых производств

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель
доктор технических наук, профессор
Абдели Д.Ж.

Республика Казахстан
Алматы, 2006

СОДЕРЖАНИЕ

| | стр. |
|--|------|
| НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ | 4 |
| ОПРЕДЕЛЕНИЯ | 5 |
| ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ | 6 |
| ВВЕДЕНИЕ | 7 |
| 1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЯ | 11 |
| 1.1 Анализ процесса очистки зерна от примесей и техника для его осуществления..... | 11 |
| 1.2 Обзор теоретических исследований процесса сепарирования зерновых материалов..... | 22 |
| Выводы по 1 разделу | 31 |
| 2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ОЧИСТКИ ЗЕРНА ОТ СОРНЫХ ПРИМЕСЕЙ В КОМБИНИРОВАННОЙ ЗЕРНООЧИСТИТЕЛЬНОЙ МАШИНЕ | 33 |
| 2.1 Постановка вопроса..... | 33 |
| 2.2 Процесс перемещения и равномерного распределения зернового слоя на поверхности сортировочного сита..... | 38 |
| 2.3 Процесс самосортирования зернового слоя на поверхности подсевного сита..... | 43 |
| 2.4 Процесс перемещения минеральных примесей и зерна по поверхности деки при совместном воздействии колебаний и воздушного потока..... | 46 |
| Выводы по 2 разделу..... | 51 |
| 3 ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ | 52 |
| 3.1 Программа экспериментальных исследований..... | 52 |
| 3.2 Методика экспериментальных исследований..... | 52 |
| 3.2.1 Методика определения физико-механических свойств зерна пшеницы и сорных примесей..... | 53 |
| 3.2.2 Методика исследования процесса очистки зерна пшеницы от сорных примесей в комбинированной зерноочистительной машине..... | 56 |

| | |
|--|------------|
| 3.2.3 Методика исследования скорости погружения модельной частицы в зерновом слое..... | 62 |
| 3.2.4 Выбор оптимальных параметров комбинированной зерноочистительной машины..... | 64 |
| Выводы по 3 разделу..... | 71 |
| 4 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ..... | 72 |
| 4.1 Определение физико-механических свойств зерна пшеницы и сорных примесей..... | 72 |
| 4.2 Определение технологической эффективности процесса очистки зерна пшеницы от сорных примесей в комбинированной зерноочистительной машине..... | 77 |
| 4.3 Результаты исследования скорости погружения модельной частицы в зерновом слое..... | 86 |
| 4.4 Оптимизация параметров комбинированной зерноочистительной машины..... | 87 |
| Выводы по 4 разделу..... | 110 |
| 5 РАСЧЕТ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВНЕДРЕНИЯ КОМБИНИРОВАННОЙ ЗЕРНООЧИСТИТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ..... | 112 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ..... | 119 |
| СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ..... | 121 |
| ПРИЛОЖЕНИЯ..... | 128 |

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность проблемы. Одним из приоритетных направлений Государственной агропродовольственной программы, утвержденной Указом Президента РК, является развитие производства высокоэффективной техники и оборудования для предприятий зерноперерабатывающей промышленности [1].

Согласно статистическим данным валовой сбор зерновых культур ежегодно в республике составляет около 15 млн. тонн, поэтому даже незначительное повышение эффективности процесса очистки может существенно отразиться на экономических показателях работы предприятий. В настоящее время насчитывается более 150000 сельскохозяйственных формирований [2].

Перед зерноперерабатывающей промышленностью Республики Казахстан стоит важнейшая задача интенсификации процесса сепарирования, совершенствование техники и технологии очистки зерновых культур от примесей. Степень очистки основной зерновой культуры в дальнейшем влияет как на качество посевного материала, так и на стабильность качества перерабатываемого зерна, предопределяет нагрузку и эффективность работы технологических машин, что в конечном итоге влияет на производительность и технико-экономические показатели.

Существующие зерноочистительные машины характеризуются недостаточной технологической эффективностью (60-70%), высокой удельной энергоемкостью и большой стоимостью. Используя различие физико-механических свойств зерновых культур и примесей, продукт очищают на отдельных 4-5 видах машин (воздушно-ситовых сепараторах, камнеотделительных машинах, концентраторах, триерах, пневмосепараторах). К тому же некоторые из них на линии обработки зерна используются неоднократно, а многократное прохождение зерна через низкоэффективные зерноочистительные машины приводит к увеличению дробленых зерен и повышению эксплуатационных затрат. В конструкциях зерноочистительных машин из-за нерационального расположения рабочих органов процесс самосортирования зернового слоя и разделения смеси по фракциям происходит на большом участке; тяжелые минеральные частицы испытывают дополнительное сопротивление со стороны зернового потока при их отделении на рабочей поверхности, тем самым создаются условия для взаимного увлечения минеральной примеси зерном в зону выхода очищенного материала и частиц зерна минеральными примесями в зону выпуска отходов; в пневмосепарирующую камеру зерновой материал поступает плотным слоем, т.е. с недостаточным межзерновым пространством для уноса воздушным потоком легких примесей.

Исследованию процесса сепарирования зерна посвящено большое количество научных работ, разработано множество конструкций зерноочистительных машин. Несмотря на то, что по многим основным направлениям данного исследования получены значительные научные результаты, ряд важных вопросов сепарирования зерна в комбинированных

зерноочистительных машинах требует своего решения.

Изложенное позволяет сделать вывод, что разработка высокоэффективного энергосберегающего технологического процесса и создание комбинированной зерноочистительной машины для очистки зерна от сорных примесей, а также определения области оптимальных кинематических, технологических параметров сепарирующего органа являются актуальной проблемой.

Работа выполнялась в соответствии с Республиканской научно-технической программой Министерства сельского хозяйства РК №042 «Прикладные научные исследования в области агропромышленного комплекса», по заданию 02.01.10.04.И, зарегистрированной по научной тематике «Разработать энергосберегающий технологический процесс очистки зерна от сорных примесей и создать высокоэффективные зерноочистительные машины» с присвоением № гос. регистрации 0101РК00269.

Цель и задачи исследований. Целью исследований является повышение технологической эффективности и снижение энергозатрат процесса очистки зерна от сорных примесей (крупная, мелкая, минеральная и легкая) за счет оптимального сочетания параметров процесса очистки в комбинированной зерноочистительной машине.

Для достижения поставленной цели сформулированы следующие задачи исследований:

- обосновать способ сепарирования зерновой смеси в комбинированной зерноочистительной машине;
- разработать теоретические положения к описанию процесса комбинированной очистки зерна от сорных примесей на сортировочном, подсевном ситах и деке;
- изучить физико-механические свойства зерна пшеницы и сорных примесей, характеризующие признаки их делимости;
- определить влияние кинематических, конструктивных параметров комбинированной зерноочистительной машины на эффективность процесса очистки зерна пшеницы от сорных примесей;
- получить регрессионные модели и обосновать оптимальные значения параметров процесса комбинированной очистки зерна от сорных примесей;
- разработать опытно-экспериментальный образец комбинированной зерноочистительной машины и на основе производственных испытаний дать технико-экономическую оценку его использования.

Объектом исследования является комбинированная зерноочистительная машина для выделения частиц сорной примеси из зерновой смеси.

Предметом исследования является процесс сепарирования зерновой смеси на рабочих органах комбинированной зерноочистительной машины.

Научная новизна работы заключается в разработке теоретико-экспериментальных основ создания комбинированной зерноочистительной машины, для которой:

- обоснован и предложен способ комбинированного сепарирования зерновой смеси на сортировочном, подсевном ситах и деке, позволяющий

одновременно выделять большинство видов сорной примеси;

- установлен механизм процесса самосортирования зерновой смеси на ситовой поверхности под действием высокочастотных колебаний;

- теоретически обоснована и экспериментально подтверждена закономерность раздельного выделения тяжелых минеральных примесей и частиц зерна в противоположных направлениях в комбинированной зерноочистительной машине;

- предложены модели, адекватно описывающие реальные процессы очистки зерна пшеницы от крупной, мелкой, минеральной и легкой примесей, позволившие определить область оптимальных параметров комбинированной зерноочистительной машины.

Положения, выносимые на защиту. Теоретико-экспериментальное обоснование эффективности процесса очистки зерна от сорных примесей в комбинированной зерноочистительной машине.

Практическая ценность работы:

- получен предварительный патент РК №11808 на изобретение воздушно-ситового сепаратора-камнеотделителя;

- на основании полученных результатов научно-исследовательских и экспериментальных работ разработаны рекомендации по выбору оптимальных параметров процесса очистки зерна от сорных примесей в комбинированной зерноочистительной машине;

- предложена рациональная схема технологической линии очистки зерна от примесей для внедрения в производственных условиях зерноперерабатывающих предприятий, а также в условиях крестьянских и фермерских хозяйств;

- результаты исследований были использованы конструкторским бюро «НПЦ механизации сельского хозяйства» при разработке технической документации на опытный образец комбинированной зерноочистительной машины;

- годовой экономический эффект от внедрения комбинированной зерноочистительной машины составляет 519600 тенге.

Апробация работы. Основные положения и результаты работы доложены на международной научно-практической конференции, посвященной 10-летию независимости РК, Валихановские чтения-6 (Кокшетау, 2001г.); на 3-ей международной научно-практической конференции «Пищевая промышленность на рубеже веков: состояние, проблемы и перспективы» (Алматы, 2001г.); на международной научно-практической конференции, посвященной Году России в Казахстане «Состояние, проблемы и перспективы развития механизации сельского хозяйства и машиностроения для АПК» (Алматы, 2004г.); на международной научно-практической конференции «Кластерно-индустриальное развитие аграрного производства: основные проблемы и перспективные направления» (Алматы, 2005г.); на международной научно-практической конференции «Пути повышения конкурентоспособности и безопасности продукции пищевой и легкой промышленности» (Алматы,

2005г.); на Ученых советах «НПЦ механизации сельского хозяйства».

Публикации. По теме диссертации опубликовано 12 научных статей, в том числе получен предварительный патент РК на изобретение.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти разделов, заключения, списка использованных источников из 117 наименований и 7 приложений. Работа изложена на 144 страницах, содержит 43 рисунка, 19 таблиц.

1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЯ

1.1 Анализ процесса очистки зерна от примесей и техника для его осуществления

Одно из основных направлений обеспечения сохранности заготавливаемого зерна – своевременная очистка его от примесей.

Для обеспечения сохранности выращенного урожая и доведения его до товарной продукции важное место принадлежит послеуборочной обработке и хранению зерна, т.е. уровень производства зерна будет определяться инфраструктурой, обеспечивающей его послеуборочную обработку и хранение. Эти работы выполняются непосредственно в хозяйствах, на предприятиях элеваторной и мукомольной промышленности.

Процесс послеуборочной обработки зерновых культур включает три основных этапа – предварительная, первичная и вторичная очистка, на которых из состава зерновой массы извлекается сорная и зерновая примесь (рисунок 1.1) [3,4,5,6,7,8].

На первом этапе зерно подвергают предварительной очистке на токах хозяйств. Зерновой материал доводят до ограничительных кондиций [9,10].

Второй этап предусматривает первичную очистку зерна на зерноперерабатывающих предприятиях - элеваторы. Содержание примесей в зерне должно соответствовать нормативным требованиям [11].

Третий этап предусматривает вторичную очистку в зерноочистительном отделении мукомольного завода. Эффективность очистки должна обеспечить остаточное содержание примесей в зерне пшеницы перед направлением в размольное отделение мукомольного завода согласно «Правилам организации и ведения технологического процесса на мукомольных заводах» [11].

Таким образом, разделение зернового материала на составные его части – сепарирование является важным технологическим процессом в сложной цепи переработки сельскохозяйственных культур и производства продуктов питания. В структуре себестоимости зерна на процесс сепарирования зерна приходится до 30% затрат, а в структуре затрат труда эта доля составляет до 40% [7,8,12].

Зерновая смесь после уборки урожая состоит из семян основной культуры и сорных растений, а также содержит примеси минерального и органического происхождения.

Многочисленные исследования, посвященные изучению факторов, влияющих на стойкость зерна при его хранении, свидетельствуют, что влажность и показатели жизнедеятельности семян сорняков, как правило, выше чем свежееубранного зерна. Так, интенсивность дыхания в 2,7...2,9 раза больше, чем зерен пшеницы, при одинаковой их влажности сопровождаемое теплообразованием, оно в сочетании с плохой теплопроводностью приводит к его самосогреванию и порче. Присутствие примесей, ухудшает сыпучесть особенно сырого и влажного зерна и осложняет сушку. Наличие солоmistых



Рисунок 1.1 – Процесс послеуборочной обработки зерновых культур

(рисунок 1.2).

Наиболее важными физико-механическими свойствами при очистке и сортировании зерна, являются: геометрические, аэродинамические и плотность.

Разделение зерновой смеси по геометрическим размерам ее частиц является наиболее распространенным способом очистки и сортирования. По толщине и ширине зерно разделяют на решетках. Принцип разделения зерновой смеси на составные части на решетке основан на том, что сквозь отверстия решета проходят только зерна (семена), размер которых меньше размера отверстия.

Перемещаясь в воздушной среде, любое тело преодолевает сопротивление воздуха, зависящее от его размеров, формы, массы и расположения в воздушном потоке. Чем больше сопротивление воздуха, тем медленнее движется свободно падающее тело. На этом принципе основан процесс выделения примесей и разделения зерна воздушным потоком.

Разделение по удельному весу основано на расслаивании (самосортирования) частиц зерновой смеси по плотности и разведении их в противоположные направления при совместном воздействии вибрирующей плетеной или тканой поверхности решета и восходящего через нее воздушного потока.

Машины предварительной очистки предназначены для быстрой очистки комбайнового зернового вороха от грубых легких, крупных и мелких сорных примесей с полнотой выделения их не менее 50% и потерями полноценного зерна не более 0,05%. Они устанавливаются в линиях, агрегатах, блок-модулях для очистки зерна и семян перед сушкой. Приспособлены для обработки исходного вороха влажностью 30...35% и засоренностью 10...20% [5,6,7,19].

В настоящее время очистку зерновых материалов в сельском хозяйстве проводят на поточных технологических линиях агрегатов и комплексов (ЗАВ-10,20,25,40,100 и КЗС), а также на отдельных машинах передвижного и стационарного типов (МПО-50, ОЗС-50/25/10, ОВС-25, ЗВС-20, БТЦ 700-05, МС-4,5 и др.) [20,21].

Машины первичной очистки служат для очистки зернового материала от примесей, отличающихся от зерна основной культуры размерами и

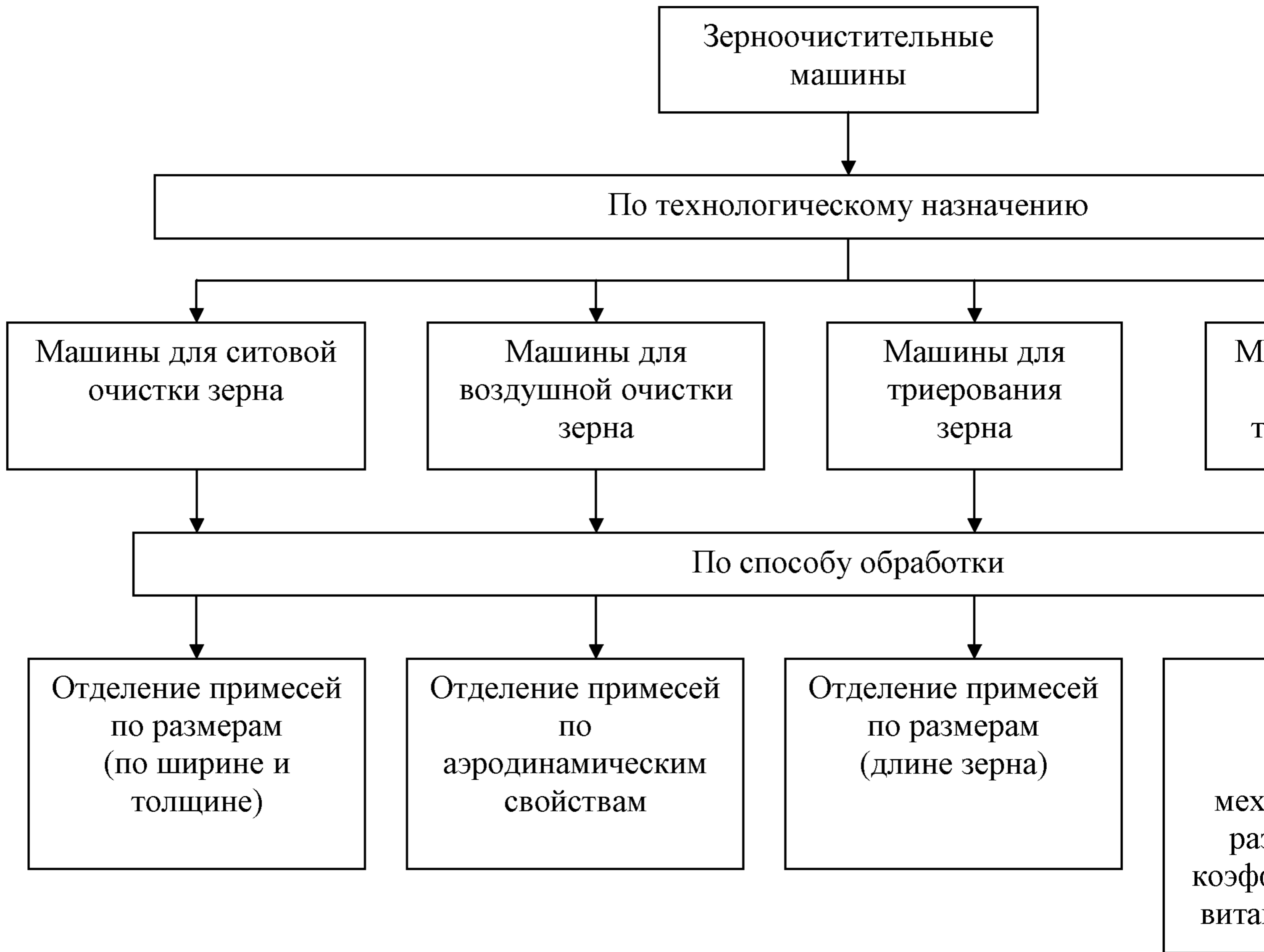


Рисунок 1.2 – Классификация зерноочистительных машин

учетом допустимого содержания полноценного зерна в отходах не более 2% [5,6,7,8].

Машины для вторичной очистки зерна включают в себя значительный парк зерноочистительных устройств: воздушные сепараторы А1-БВЗ, РЗ-БАБ, РЗ-БСД; воздушно-ситовые сепараторы А1-БИС, А1-БЛС; камнеотделительные машины РЗ-БКТ; триера А9-УТК, А9-УТО; обоечные машины РЗ-БМО, РЗ-БГО; концентраторы А1-БЗК, а также оборудование зарубежных фирм “Buhler”, “Satake”, “Forsberg”, “Petkus” и другие [23,24,25,26,27].

За последнее время материально-техническая база зерноперерабатывающей отрасли заметно морально устарела и физически изношена. Степень износа составляет 80-90% [22,28,29,30]. Покупка хозяйствами и предприятиями новых зерноочистительных машин начиная с 90-х годов из-за финансовых трудностей не проводилась, а машиностроительная промышленность с отсутствием платежеспособного спроса производит технику в ограниченном количестве. Использование традиционных технологий очистки, в которых основное зерно подвергается многократным воздействиям рабочих органов воздушно-решетных и триерных машин обуславливает высокое травмирование зерна. В связи с чем резко ухудшилось качество и значительно возросла стоимость обработки зернового материала, до 10-20% от валового сбора возросли его потери [6,7,28,29].

Зарубежные зерноочистительные машины по качеству изготовления, надежности и долговечности заметно превосходят аналогичные машины стран СНГ, однако зарубежные машины слабо приспособлены функционально к специфическим, более тяжелым условиям работы, обусловленным повышенной влажностью и засоренностью поступающего на обработку зернового материала из-за низких агротехнических мероприятий, проводимых хозяйствами. Использование зерноочистительной техники зарубежных фирм оправдывается только при условии более однородного состава поступающего на обработку зернового материала. Кроме того, приобретение и содержание такой техники экономически не оправдывается для их владельцев. Исследование и разработка процессов сепарирования представляет собой одну из наиболее сложных и

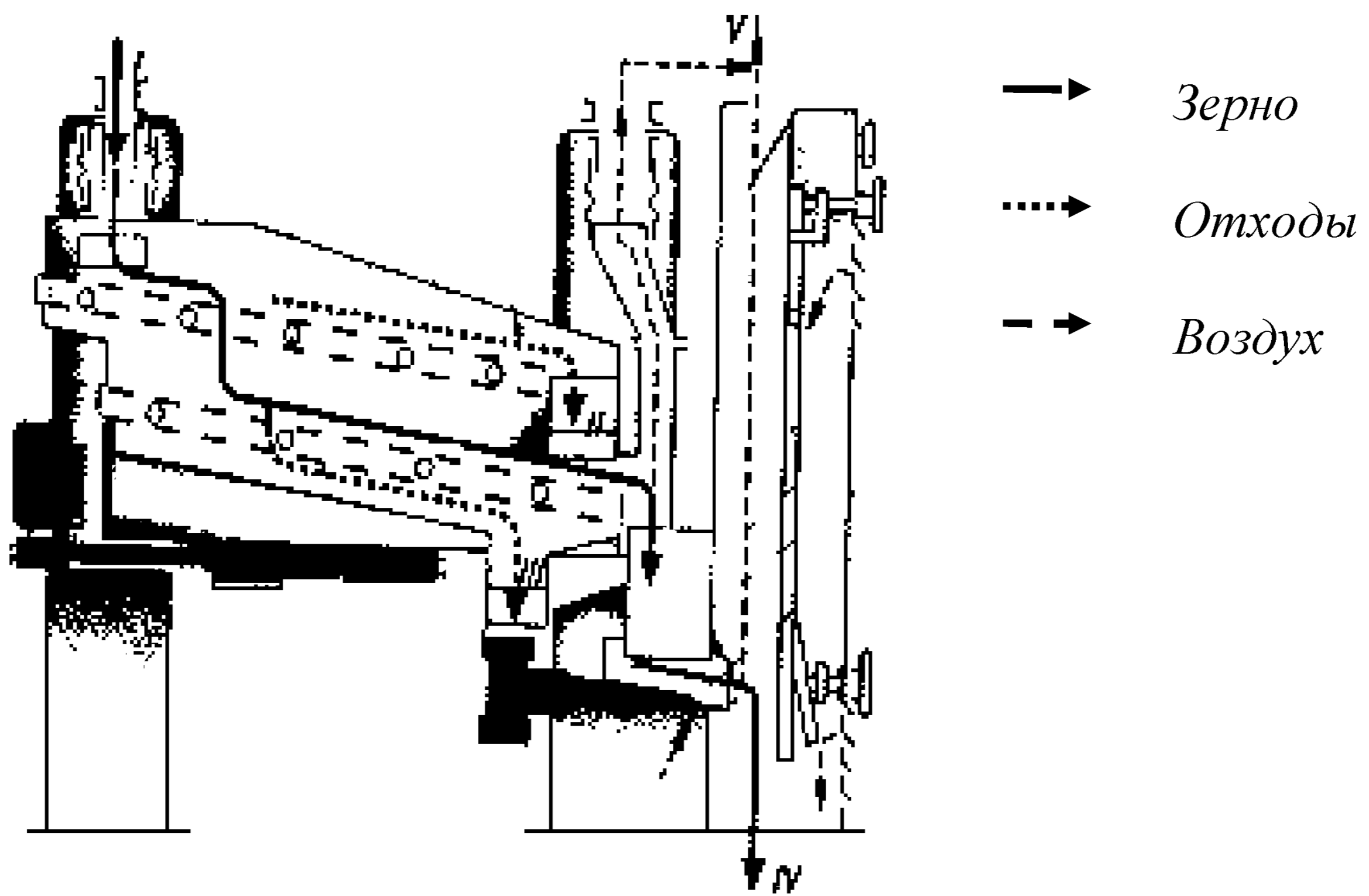
вместе с тем довольно актуальных проблем в современном сельскохозяйственном производстве.

Очистка зерна до кондиций, соответствующих нормативным требованиям, при наименьших затратах труда и с минимальными потерями зависит от правильно выбранных способов и схем технологического процесса сепарирования. В соответствии с этим машины для очистки зерновых культур должны удовлетворять ряду требований: обеспечивать высокую эффективность технологического процесса, компактность и простоту конструкции, применение единого корпуса для всех процессов очистки, универсальность технологической схемы очистки и рабочих органов, возможность использования в гибких производственных процессах, низкое потребление электроэнергии и удобство в обслуживании.

В настоящее время для очистки зерновых культур от сорных примесей на зерноперерабатывающих предприятиях применяют различные виды и конструкции зерноочистительных машин, в основе которых лежат различные принципы разделения зерновой смеси на составные части.

Известен воздушно-ситовой сепаратор (рисунок 1.3) [23], содержащий загрузочный патрубок, сортировочное и подсевное сита, деку, вибралоток, вертикальную пневмосепарирующую камеру и разгрузочный патрубок. Исходное зерно из загрузочного патрубка равномерным потоком направляется на поверхность сортировочного сита. Сход сита – крупные сорные примеси направляются в разгрузочный лоток, а проход – зерно через крупные отверстия сита поступают на подсевное сито. Проход подсевного сита – мелкие примеси выводятся из машины по днищу через выпускной лоток. Зерно, очищенное от примесей, сходом поступает в приемный вибралоток пневмосепарирующей камеры для выделения легких примесей. Недостатком указанного устройства является низкая эффективность сепарирования продукта из-за одинакового углов наклона сортировочного и подсевного сит, проходové мелкие частицы последних участков сортировочного сита не успевают пройти через нижний слой продукта на подсевном сите и через его отверстия. С увеличением толщины слоя продукта эффективность сепарирования снижается в связи с недостаточностью размеров межзернового пространства плотного слоя зерна в пневмосепарирующей камере для свободного перемещения легких частиц вместе с воздушным потоком.

Известна камнеотделительная машина (рисунок 1.4) [23], содержащая загрузочный и выпускные патрубки, корпус, распределитель, вибростол, вибратор, всасывающий патрубок и станина. Вибростол состоит из несущей сварной рамы, в которой смонтирована дека. Процесс выделения из зерна минеральных примесей на рабочем органе – наклонной сортирующей поверхности (деке) осуществляется в условиях восходящего потока (без просеивания). При совместном воздействии вибраций сортирующей поверхности и потока воздуха происходит разрыхление слоя зерна и зерновая смесь переходит в состояние псевдооживления и самосортирования. Тяжелые минеральные частицы опускаются вниз, транспортируются вверх по



I – зерно исходное; II – примеси крупные; III – примеси мелкие; IV – зерно очищенное; V – воздух с мелкими примесями

Рисунок 1.3 – Воздушно-ситовой сепаратор

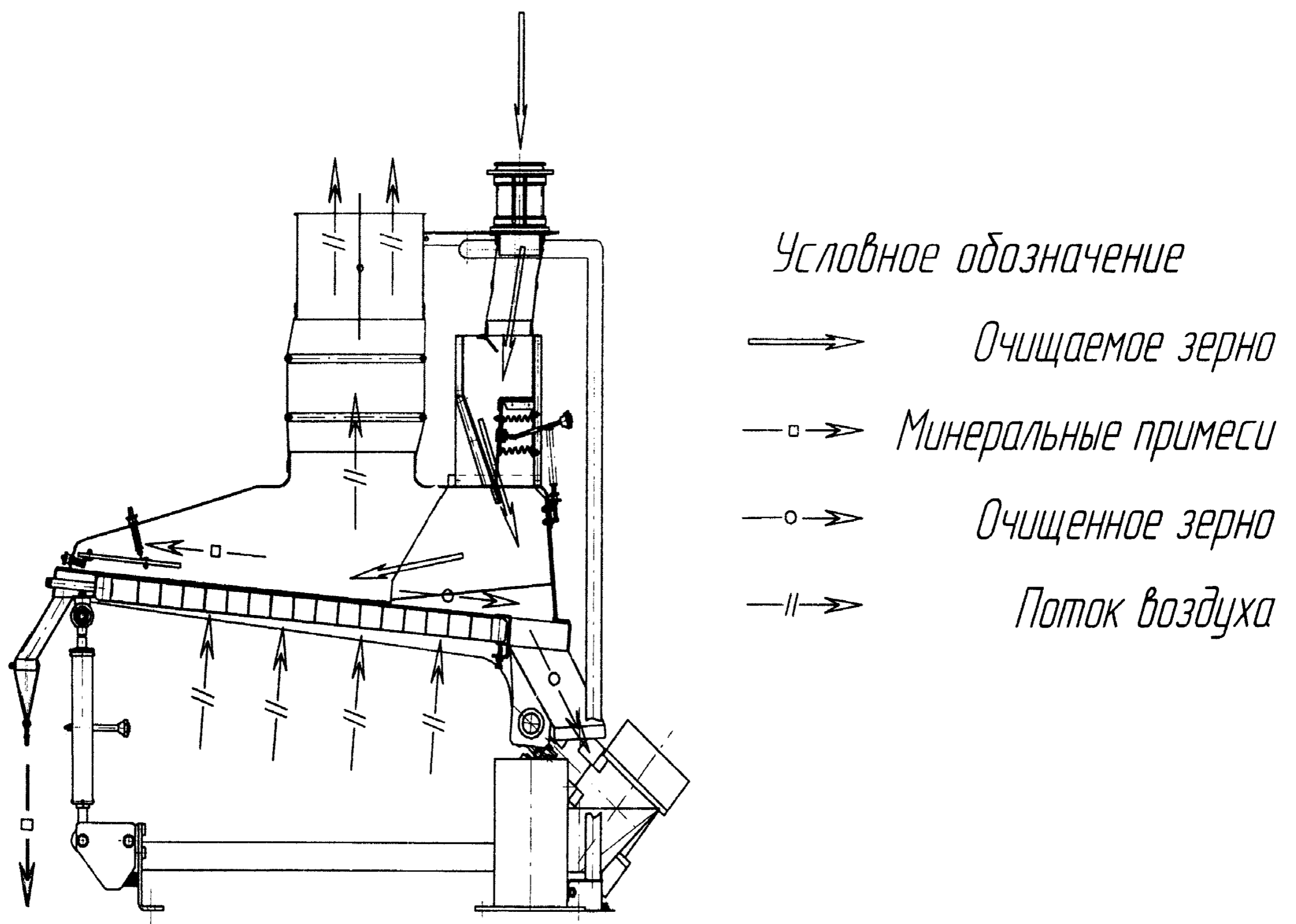


Рисунок 1.4 – Камнеотделительная машина

шероховатой поверхности деки и выводится через верхний выпускной патрубок. Зерно, имея меньшую плотность стремится в верхние слои и практически не подверженный транспортирующему воздействию деки “течет” как жидкость, под уклон и разгружается через нижние выпускные патрубки. Недостатком указанного устройства является то, что процесс самосортирования слоя продукта и разделение минеральных примесей и зерна происходит на большом участке деки и требует больших энергозатрат. Это объясняется тем, что при перемещении зерновой смеси по поверхности распределителя под действием вибраций тяжелые минеральные примеси проходят через псевдооживленный слой зернового продукта вверх по наклонной плоскости, преодолевая дополнительное сопротивление. При этом для создания условий свободному послойному перемещению минеральных примесей и продукта в противоположных направлениях требуется большой расход воздуха, а также увеличение площади рабочей зоны и габаритов машины.

В устройстве для разделения зернистого материала (рисунок 1.5) [31] имеется два пропускающих поток воздуха стола, которые установлены с возможностью колебательного движения и регулирования наклона. Над высоким концом верхнего стола расположено приспособление для подачи зернистого материала, а на нижнем конце – приспособление для выпуска крупной примеси. В результате самосортирования тяжелая фракция зерна и камни соприкасаясь с рабочей поверхностью верхнего стола просеиваются через отверстия решета и по лотку направляются на нижний стол. На высоком конце нижнего стола установлено приспособление для выпуска камней, а на нижнем конце – два приспособления для выпуска зернистого материала по фракциям (крупная и средняя соответственно). Недостатком является одновременное аэрирование воздухом расположенных один над другим рабочих поверхностей, который затрудняет процесс выделения легкой примеси и пыли из пневмосепарирующей камеры машины.

Конструкция машины фирмы “Buhler” (Швейцария) (рисунок 1.6) [32] содержит корпус, внутри которого размещены друг над другом два параллельных вибрационных пневматических стола (ПС), загрузочное приспособление в виде трубопровода и вентилятор для создания воздушного потока, пронизывающего оба ПС. Под трубопроводом параллельно друг под другом расположены два наклонных вибрационных грохота с поддоном. Пространство между нижними торцами грохотов и загрузочная часть верхнего ПС сообщаются между собой посредством перепускного канала. Грохоты и ПС выполнены в виде одной вибрационной группы (ВГ) и расположены друг над другом с возможностью образования между поддоном и верхним ПС V-образной полости. С расширенной частью полости сообщается всасывающая ветвь вентилятора, а с зауженной ее частью – канал. Полость разделена стенкой на верхнюю и нижнюю отсасывающие камеры. В обеих камерах установлены регулируемые воздушные дроссели. Колебания ВГ осуществляются приводом и направлены к плоскости грохотов и ПС. Недостатком данной конструкции является наклонное расположение всасывающего патрубка, который является

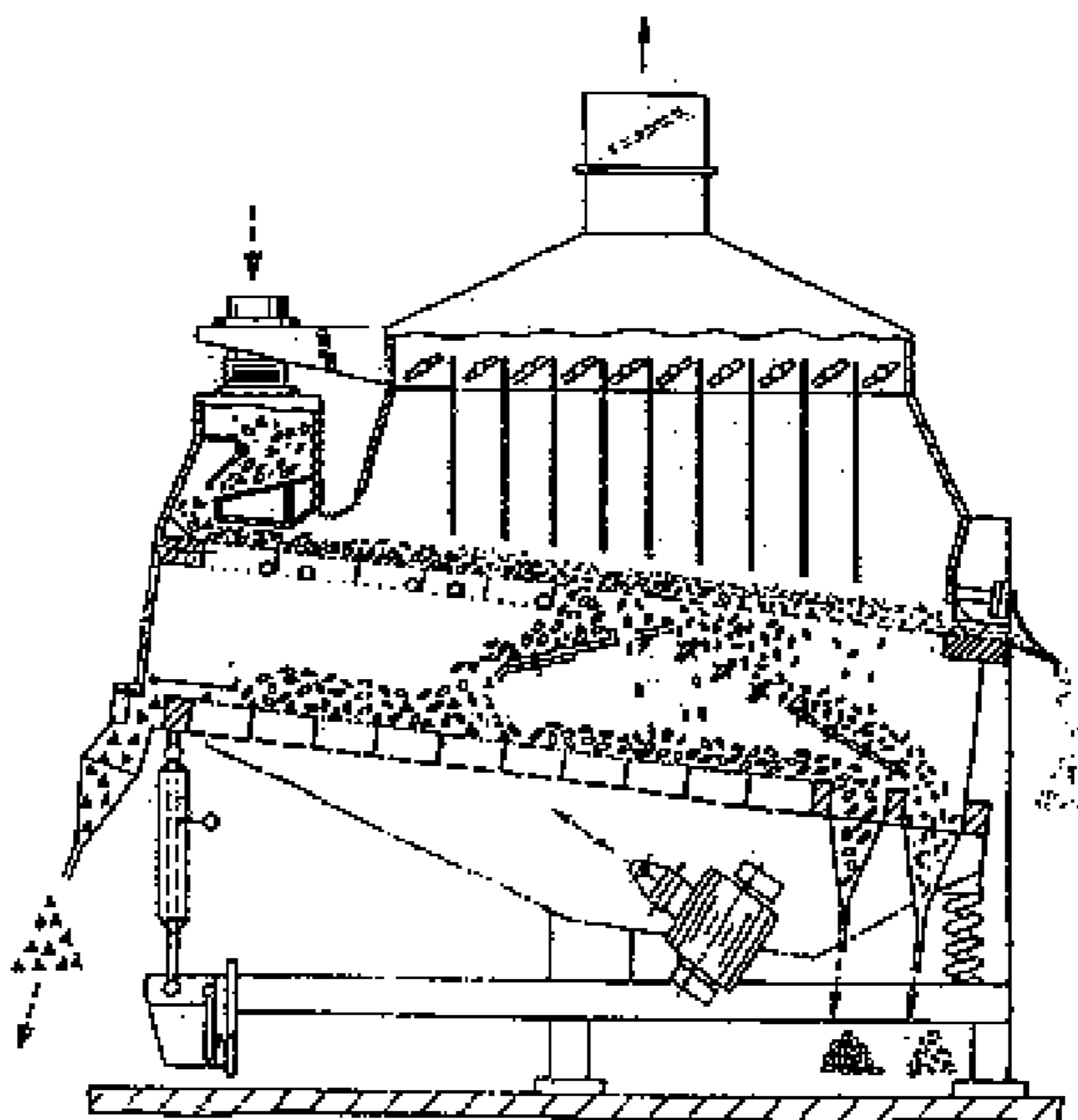


Рисунок 1.5 – Устройство для разделения зернистого материала

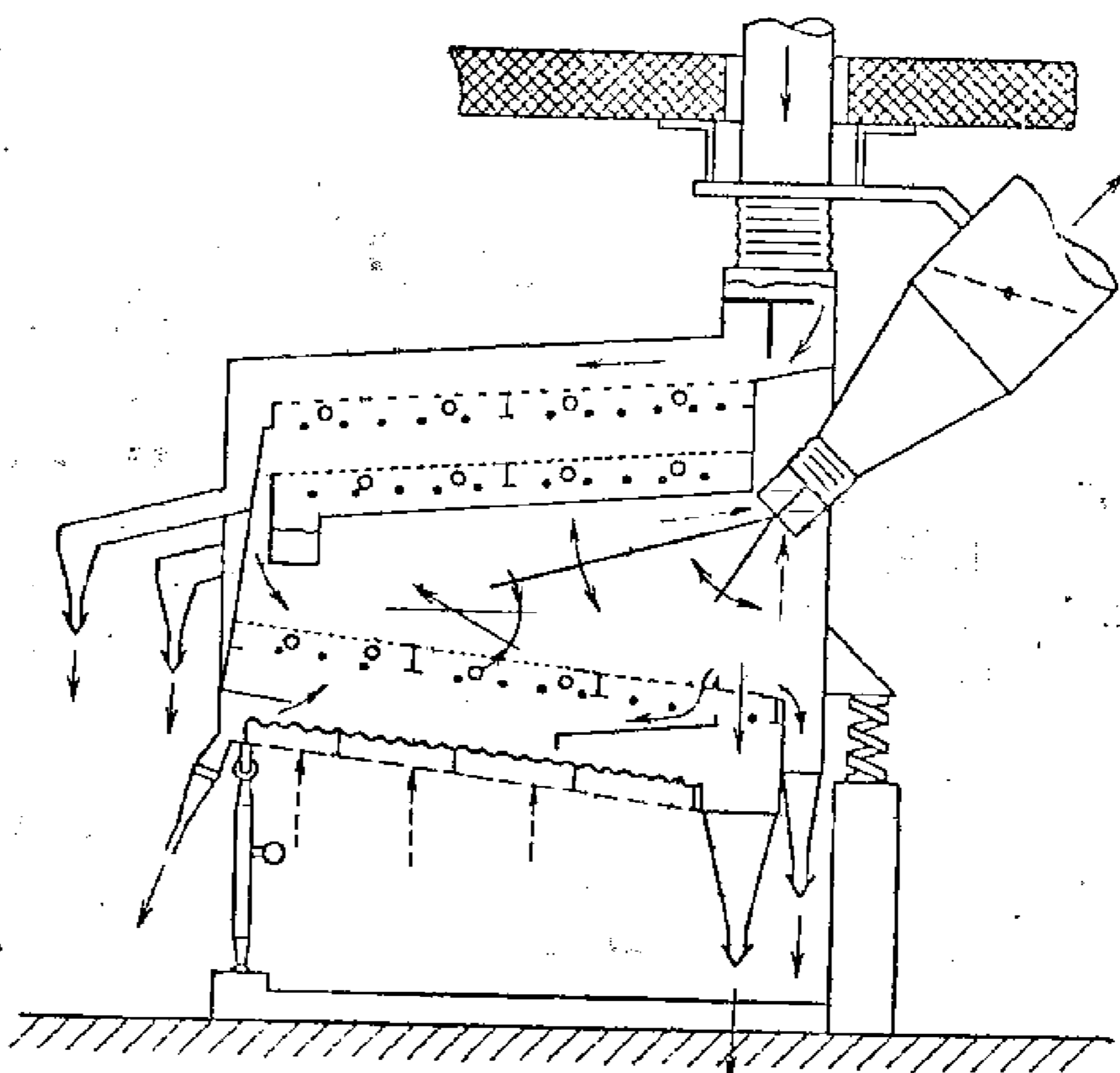


Рисунок 1.6 – Установка для сухой подготовки к помолу зернообразного продовольственного и кормового продукта

недостаточным для эффективного аэрирования слоя зернового материала на пневмосортировальном столе, к тому же зерно поступает плотным слоем, а размеры межзернового пространства в слое не допускают свободного уноса легких примесей воздушным потоком, в отличие от вертикального расположения всасывающего патрубка.

Универсальная очистительная машина фирмы “Petkus” (Германия) представлена воздушно-решетным сепаратором (рисунок 1.7) с тремя решетными плоскостями и двумя пневмосепараторами, предназначенный для предварительной, первичной (интенсивной) и вторичной (семенной) очистки зерновых и зернобобовых культур [24]. Питающее устройство состоит из качающейся заслонки с грузом и прорезиненного профилированного вальца. При помощи этого питающего устройства обеспечивается равномерное распределение материала по всей рабочей ширине. В предварительном пневмосепараторе воздушным потоком отделяются легкие пылевидные частицы. Они осаждаются в осадочной камере и уносятся разгрузочным шнеком. Верхним решетом отделяются крупные примеси. Средними и нижними решетками отделяются более мелкие примеси. Недостатком конструкции машины, является отсутствие операции выделения минеральной примеси, а также высокая стоимость.

Мельинвест (Россия) выпускает зерноочистительную комбинированную машину ЗКМ-1,5 (рисунок 1.8), предназначенная для очистки зерна от посторонних примесей [33]. Машина ЗКМ-1,5 состоит из решетного корпуса, станины, триера-куколеотборника и наждачной машины. Зерно по самотеку поступает в приемное отверстие питателя решетного корпуса (сепаратора) и по наклонным скатам равномерно распределяется по всей ширине сортировочного решета, затем проходом попадает на подсевное решето. Отходы – сход сортировочного (грубые и крупные примеси) и проход подсевного (мелкие примеси) решет объединяются и по патрубку выводятся из машины. Сход с подсевного решета (очищенное зерно) поступает в триер-куколеотборник, где из зерна отбираются куколь, битые мелкие зерна, которые при вращении триерного цилиндра укладываются в ячейки и удерживаются в них дольше, чем целые зерна. При этом куколь, битые и мелкие зерна, выпадая из ячеек в лоток, шнеком удаляются из машины. Вследствие давления поступающего зерна, вращения цилиндра и наклона его зерно перемещается от приема к выходу и по вертикальному патрубку через магнитный аппарат самотеком поступает в обоечную машину для дальнейшей обработки. Зерно в барабане подхватывается вращающимися бичами и отбрасывается на наждачную поверхность. Вращаясь вместе с бичами, зерно перемещается по винтовой линии к выводному патрубку. В результате многократных ударов и трения о наждачную поверхность и бичи от зерна отделяются прилипшие грязь, борода, верхняя плодовая оболочка и частично отбиваются зародыши. Смесь зерна, земли, оболочек и зародышей вращающейся крыльчаткой выбрасывается в патрубок, где подхватывается потоком воздуха и по материалопроводу поступает в пневмосепаратор для очистки зерна от легких примесей.

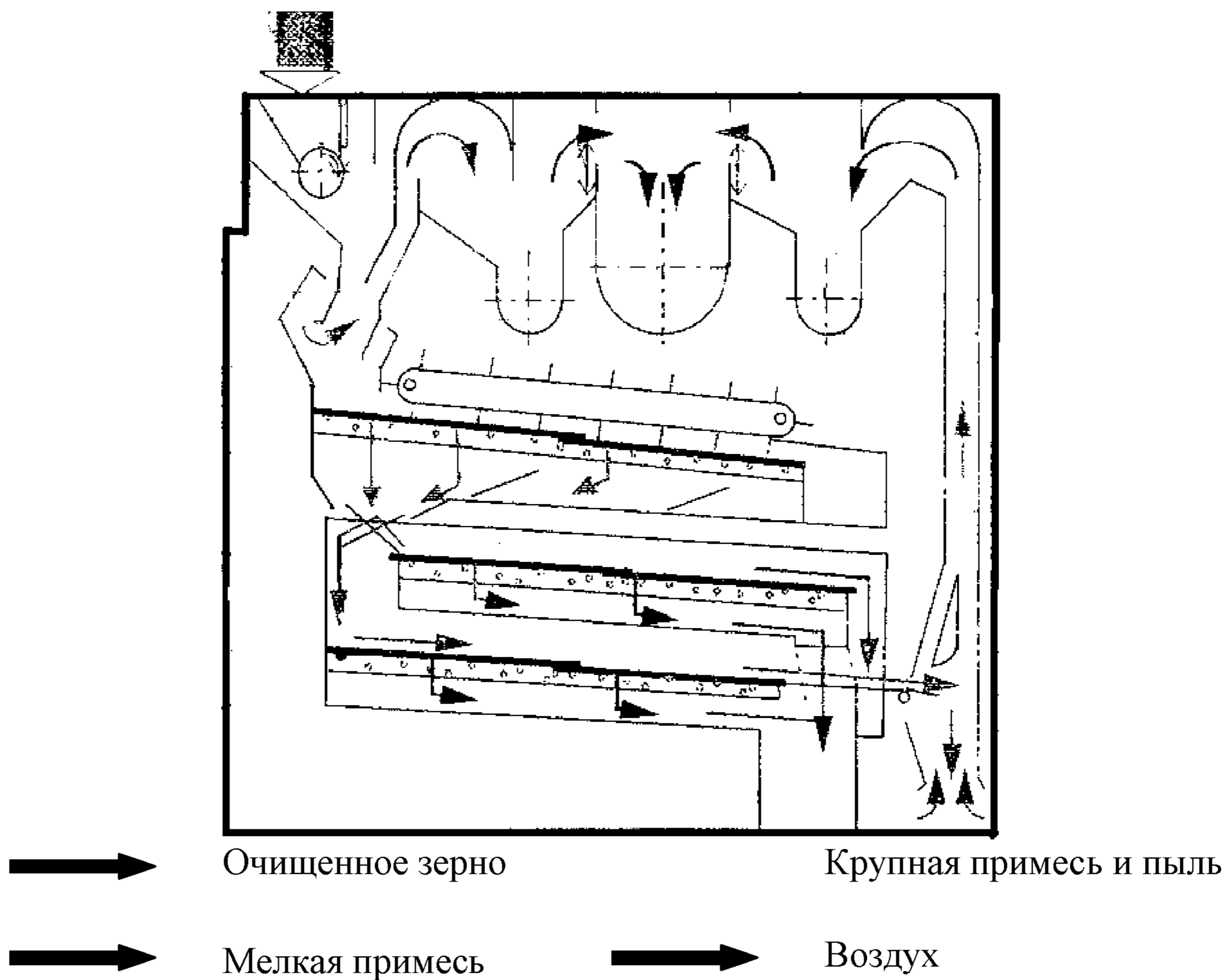


Рисунок 1.7 – Универсальная очистительная машина ПЕТКУС U 60-6 G

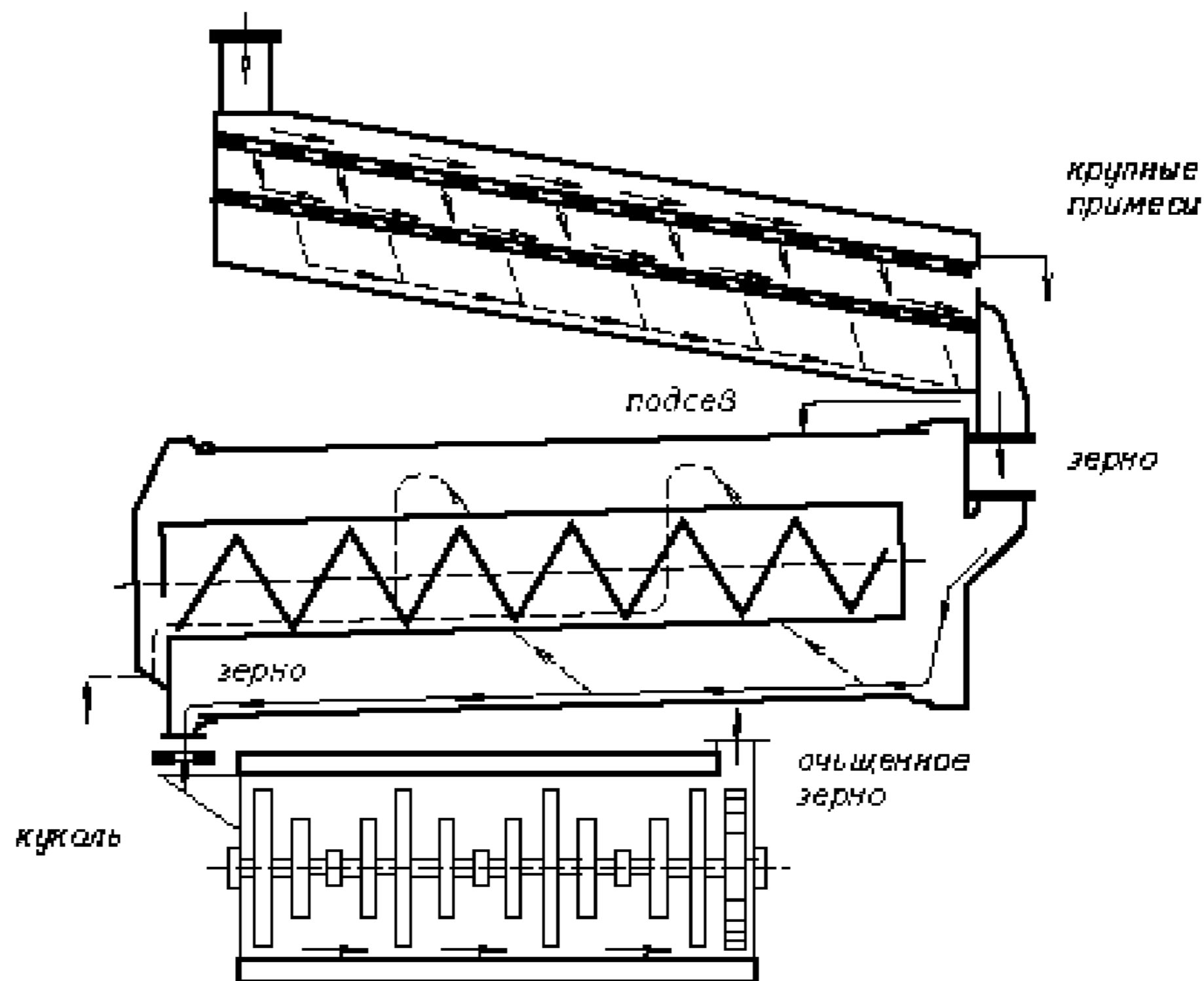


Рисунок 1.8 – Зерноочистительная комбинированная машина ЗКМ-1,5

Недостатком указанной конструкции машины является отсутствие операции по выделению минеральной примеси.

Обзор конструкций зерноочистительных машин, используемых в отрасли, показал, что они характеризуются недостаточной технологической эффективностью и не обеспечивают полного выделения сорных примесей из зерновой смеси, высокой удельной энергоемкостью и большой стоимостью. Используя различие физико-механических свойств зерновых культур и примесей, продукт очищают на отдельных 4-5 видах машин (воздушно-ситовых сепараторах, камнеотделительных машинах, триерах, пневмосепараторах). К тому же некоторые из них на линии обработки зерна используются неоднократно, а многократное прохождение зерна через низкоэффективные зерноочистительные машины приводит к увеличению дробленых зерен и повышению эксплуатационных затрат. В конструкциях зерноочистительных машин из-за нерационального расположения рабочих органов процесс самосортирования зернового слоя и разделения смеси по фракциям происходит на большом участке; тяжелые минеральные частицы испытывают дополнительное сопротивление со стороны зернового потока при их отделении на рабочей поверхности, тем самым создаются условия для взаимного увлечения минеральной примеси зерном в зону выхода очищенного материала и частиц зерна минеральными примесями в зону выпуска отходов; в пневмосепарирующую камеру зерновой материал поступает плотным слоем, т.е. с недостаточным межзерновым пространством для уноса воздушным потоком легких примесей.

Разработка новых конструкций зерноочистительных машин ставит целью расширение его функциональных возможностей, повышение эффективности очистки, универсальности, снижение материалоемкости и энергоемкости, удобство в обслуживании, при котором должно быть обеспечено необходимое качество конечного продукта за однократный пропуск, причем очистка должна осуществляться по комплексу физико-механических свойств: размерам, парусности, удельному весу. В этой связи разработка комбинированной зерноочистительной машины и определение оптимальных параметров её работы представляет значительный интерес.

1.2 Обзор теоретических исследований процесса сепарирования зерновых материалов

Создание новых конструкций и установление оптимальных параметров эффективной работы зерноочистительных машин, а также совершенствование технологических процессов очистки зерна требует глубокого понимания научных представлений о сложном процессе сепарирования.

Большой вклад в исследование процесса сепарирования зерна внесли такие ученые как Горячкин В.П., Летошнев М.Н., Цециновский В.М., Непомнящий Е.А., Блехман И.И., Джанелидзе Г.Ю., Васильев А.М., Листопад Г.Е., Гортинский В.В. и др. [34,35,36,37,38,39,40,41,42,43].

Технологический процесс сепарирования в работах большинства ученых рассматривается во взаимосвязи трех стадий:

- относительное движение зерновой смеси по ситовой поверхности;
- самосортирование – погружение в нижние слои (к поверхности сита) частиц меньших размеров и большей плотности и всплывание в верхние слои частиц больших размеров и меньшей плотности;
- просеивание – прохождение через отверстия сита частиц с размерами меньшими, чем размеры отверстий.

Окончание процесса сепарирования определяется степенью завершенности каждой из этих стадий и интенсивностью их взаимосвязи, которые зависят от параметров и вида движения сепарирующего органа.

Среди различных видов движения сепарирующего органа вибрация занимает особое место как наиболее эффективное средство [39,40,41,42,44,45,46,47].

Роль вибрации состоит в том, что при достаточно интенсивных колебаниях опорной поверхности, вследствие воздействия на сыпучее тело переменных во времени сил инерции, нарушается равновесие сил в слое и происходит взаимное относительное перемещение частиц в горизонтальном и вертикальном направлениях за счет различия в физико-механических свойствах.

Влияние параметров процесса очистки, характеризующие вибросепарирование зерновых смесей, в течение многих лет отмечается многими исследователями как несомненное, однако конкретных данных, уточняющих это влияние и позволяющих обоснованно выбрать эти параметры нет.

Одна из основных задач современной техники и технологии очистки различных видов зерновых культур состоит в обосновании оптимальных параметров технологических процессов и изыскании путей и методов их интенсификации при одновременном повышении степени очистки. Оптимальный режим работы сепарирующей машины характеризуется совокупностью параметров, обеспечивающих необходимый технологический эффект.

Значительный вклад в теорию вибросепарации внес И.И.Блехман [39]. Разработанная им теория вибрационного перемещения используется при расчете и проектировании различного рода вибросепараторов. Автор отметил, что распределение вибраций в сыпучей среде устанавливается достаточно быстро после истечения нескольких периодов колебаний. Затем этот “быстрый” процесс переходит в медленно протекающие процессы – самосортирование и разведение (транспортирование) разделенных потоков. И.И.Блехман детально анализировал механизм “быстрого” процесса, т.е. установившегося разделительного поля, с целью изучения медленно протекающих в среднем процессов. Им отмечено, что при ускорениях $A\omega^2 < g$ для вертикальных и $A\omega^2 < fg$ для горизонтальных колебаний (f – коэффициент трения покоя) материал движется вместе с вибрирующей поверхностью. При ускорениях $A\omega^2 \approx g$ частицы материала приобретают некоторую взаимную подвижность –

начинается его псевдооживление, приводящие сначала к уплотнению, а затем – при дальнейшем увеличении $A\omega^2 \gg g$ – к разрыхлению и перемешиванию. В стадиях псевдооживления и разрыхления происходит интенсивное самосортирование.

Одной из наиболее важных характеристик вибрационных сепараторов является их разделяющая способность. Согласно определению И.И. Блехмана и Г.Ю. Джанелидзе [40], разделяющая способность сепаратора по отношению к какому либо параметру – это чувствительность процесса сепарации к изменению этого параметра, т.е. она характеризует способность вибросепаратора направлять частицы сыпучего материала, различающиеся между собой физико-механическими свойствами, в разные приемники. Поэтому чем выше разделяющая способность сепаратора, тем однороднее состав частиц, выделяемых в каждый приемник.

Большой вклад в теорию и практику вибросепарирования внес В.М.Цециновский [36,37]. Оригинальным в его трудах является то, что оптимальный режим работы вибрационного сепаратора он рекомендует определять не максимальным ускорением $\omega^2 A$ (ω – круговая частота колебаний; A – амплитуда колебаний), а произведением частоты и амплитуды колебаний независимо от значения каждого из параметров. Для выбора кинематического режима вибрационного решета им получена эмпирическая зависимость:

$$nA=300, \quad (1.1)$$

где n – частота колебаний рабочего органа, кол/мин

A – амплитуда колебаний, см

Для раскрытия закономерностей внутрислоевых процессов необходимо определять действующие на частицы усилия, наличие которых является первопричиной перемещения компонентов смеси. В этом аспекте большой интерес представляет работа Г.Е.Листопада [42], где он использовал идею Рейнольдса о единстве тепловой и механической энергии, определил изменение сил внутреннего трения и сцепления в отдельных местах среды в любой момент времени. Им определены силы взаимодействия и параметры процесса перераспределения частиц в сыпучем теле. Г.Е.Листопад при изучении внутрислоевых процессов в зерновых средах указывает, что если сообщаемые сыпучему телу вибрации являются периодическими функциями времени, то и изменение внутрислоевых сил будут также периодическими с периодом, равным периоду колебаний сепарирующего рабочего органа. Экспериментальным путем Г.Е.Листопад определил для некоторых зерновых смесей усилия в слое и изучил влияние на эти усилия кинематических параметров. В результате он резюмировал о том, что степень силового воздействия на зерновую среду при вибрировании тем больше, чем выше амплитуда и частота колебаний рабочего органа.

В своей работе автор также утверждал с некоторым допущением, что оптимальное значение амплитуды колебания равно среднему рабочему размеру

зерен. Это положение имеет большое практическое значение, т.к. позволяет без затруднений определить требуемые амплитуды колебаний при сепарации разнообразных зерновых культур.

На основании результатов исследований Д.Д.Баркан [48] пришел к выводу, что сыпучий материал, находящийся в состоянии вибраций, может приобрести новые, не присущие ему ранее свойства. Опыты показали, что под воздействием вибрации в сыпучем материале уменьшается сила трения и сцепления: частицы во время вибрирования приобретают большую подвижность, и по физико-механическим свойствам сыпучий материал становится похожим на вязкую жидкость.

Механические свойства сыпучего материала при вибрации можно характеризовать коэффициентом вибровязкости, который выражается следующей формулой:

$$\nu = \frac{\alpha}{\eta^k}, \quad (1.2)$$

где α - опытный коэффициент, зависящий от вида материала.

Сыпучие среды, к которым относятся и зерновые смеси, при сообщении им вибрации становятся более «податливыми». По данным Д.Д.Баркана коэффициент внешнего трения при вибрировании сыпучего тела с ускорением, равным двум величинам ускорения силы тяжести, настолько уменьшается, что составляет лишь 3% от коэффициента трения при отсутствии вибрации. Если же ускорение вибрации будет еще большим, то величина коэффициента трения будет приближаться к нулю.

Вибрирование оказывает влияние также на уменьшение внутреннего трения материала. Автор приходит к выводу, что представляется возможным создать такой режим колебаний, когда сопротивление сдвигу тела будет очень малым. Новые свойства сыпучих материалов в вибрирующем состоянии открывает широкие возможности для конструирования более эффективных вибрационных машин и могут быть полезны при выборе их оптимальных параметров.

Р.Н.Воликом [49] теоретически рассмотрены и экспериментально подтверждены закономерности движения частицы в среде сыпучего тела при вертикальных колебаниях опорной поверхности. Экспериментальные исследования, проведенные Р.Н.Воликом, показали, что на процесс расслоения сыпучего материала основное влияние оказывает вертикальная составляющая амплитуды вибрации, горизонтальная же влияет только на перемещение слоя материала по опорной поверхности. Для каждой амплитуды колебаний соответствует определенная частота, при которой процесс самосортирования протекает наиболее эффективно.

Л.И.Мачихина [50,51] теоретически исследуя процесс вибропневматического транспортирования установила, что разделение сыпучих материалов при вибрациях в восходящем потоке воздуха происходит

вследствие различия удельных весов равновеликих частиц и их коэффициентов трения по опорной поверхности.

А.Р.Демидов [52] исследовал влияние кинематических и нагрузочных параметров на ситовые устройства при очистке зерна. Найдены зависимости эффективности работы сит от гранулометрического состава зерновой смеси. Доказано, что средняя скорость движения зерна по ситы может быть различной для одного и того же значения ускорения сита, в зависимости от частных величин, определяющих это ускорение, т.е. частоты и амплитуды колебаний сита. Средняя скорость движения зерновой смеси при прочих равных условиях растет быстрее за счет амплитуды колебаний сита, чем за счет частоты.

П.М.Василенко [53] приводит теоретические предпосылки для решения технических задач, связанных с некоторыми вибрационными процессами. При исследовании движения частиц материала по вибрирующим фрикционным плоскостям им используется составление дифференциального уравнения абсолютного их движения в проекциях на подвижные оси координат. При этом частицы принимаются за изолированные друг от друга материальные точки.

Аэрация воздухом оказывает существенное влияние на закономерности движения зернового продукта. Процесс виброобработки в значительной степени формируется под влиянием воздействия аэрирующего воздуха. В этой связи работы В.Л.Злочевского, Л.А.Борисовой и других ученых представляют значительный интерес в плане рассматриваемого вопроса.

В.Л.Злочевским [54,55] разработаны теоретические основы создания воздушных структур и принципы их взаимодействия с зерновым материалом. Автор принимает, что воздушный поток задан равномерным полем вектора скорости воздушного потока:

$$\vec{v} = v_x \vec{i} + v_y \vec{j} + v_z \vec{k}, \quad (1.3)$$

где v_x, v_y, v_z – постоянные величины.

Уравнение движения зерновки имеет вид:

$$m \frac{d^2 \vec{r}}{dt^2} = \vec{G} + \vec{R} + \vec{\varphi}(\vec{a}, \vec{v}), \quad (1.4)$$

где $\vec{\varphi}(\vec{a}, \vec{v})$ - сила, зависящая от набора некоторых параметров $a_1, a_2 \dots a_n$ зерновки и структуры воздушного потока;

$\vec{R} = k\rho \frac{F_M}{2} \vec{A}(t)$ - сила сопротивления;

k – коэффициент аэродинамического сопротивления;

ρ – плотность воздуха;

F_M - миделево сечение.

Решение уравнения (1.4) позволяет определить при создании равномерной воздушной структуры потока параметры процесса для вертикального, наклонного и горизонтального потоков: время сепарации, ширину каналов, высоту зоны сепарирования, скорость и направление ввода зернового материала, а также скорость воздушного потока. Количественная оценка этих показателей может меняться в зависимости от решаемых технологических задач. В целом результаты теоретических и экспериментальных исследований В.Л.Злочевского получили применение в практике аэродинамического разделения зерновых материалов. Разработанная методика расчета пневмосепарационных систем обеспечивает создание технических средств, которые позволяют формировать целевые функции на стадии предварительной обработки зерновых материалов.

Л.А.Борисова [56] предлагает формулу, описывающую абсолютную скорость уноса частиц массой m за время τ продувки из псевдооживленного слоя:

$$\frac{-dm}{d\tau} = k_0 m^2, \quad (1.5)$$

где k_0 – константа сепарации, $\text{м}^2 \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$

В.В.Гортинский, А.Б.Демский и М.А.Борискин [57] рассматривали пневмосепарирование как физический процесс разделения небольшого числа частиц тяжелого и легкого компонентов вертикальным воздушным оттоком. По значению начальной скорости C_0 зерновки и воздушного потока v определены величина и направление скорости зерновки в относительном движении:

$$u = \sqrt{v^2 + c_0^2 + 2vc_0 \cos(90^\circ + \alpha)} = \sqrt{v^2 + c_0^2 + 2vc_0 \sin\alpha}. \quad (1.6)$$

В.В.Гортинским, В.Ф.Веденьевым, Н.И.Кузнецовой и др. [58,59,60,61,62,63] теоретически и экспериментально обоснован новый способ воздушного сепарирования полидисперсных сыпучих материалов в поступательно движущемся псевдооживленном слое и определены основные параметры сепаратора для разделения продуктов шелушения крупяных культур. Вынос легких частиц происходит по каналам, образующимся между зёрнами тяжелого компонента под действием воздушного потока при скорости фильтрации, превосходящей критическую скорость тяжелого компонента.

Для определения коэффициента извлечения легкого компонента во всем рабочем канале предлагается формула:

$$\eta = 1 - \frac{l}{1 + \frac{\rho}{Aq_T b} \ln\left(1 + \frac{b}{H_0} L_X\right)}, \quad (1.7)$$