

На правах рукописи



ПАШИНОВА Надежда Валерьевна

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА СЕПАРАЦИИ ЗЕРНА
В ВЕРТИКАЛЬНЫХ ПНЕВМОКАНАЛАХ**

Специальность 05.20.01 – Технологии и средства механизации
сельского хозяйства

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Улан-Удэ, 2013

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления» (ФГБОУ ВПО ВСГУТУ) в период с 2008 по 2013 г.

Научный руководитель

доктор технических наук, профессор
Ямпилов Сэнгэ Самбуевич

Официальные оппоненты:

Дринча Василий Михайлович,
доктор технических наук, профессор
ведущий научный сотрудник, ГНУ «Все-
российский селекционно-технологический
институт садоводства и питомниковод-
ства»

Абидуев Андрей Александрович,
кандидат технических наук, доцент
кафедры «Эксплуатация машинно-
тракторного парка и безопасности жизне-
деятельности» ФГБОУ ВПО «Бурятская
государственная сельскохозяйственная
академия им. В.Р. Филиппова»

Ведущая организация

ФГБОУ ВПО «Иркутская государственная
сельскохозяйственная академия»

Защита состоится «11» октября 2013 г. в 15⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета ДМ 212.039.06 при ФГБОУ ВПО «Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления» по адресу: 670013, г. Улан-Удэ, ул. Ключевская 40 в, ауд. 8-124.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления.

Автореферат разослан «10» сентября 2013 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Б.Д. Цыдендоржиев

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Известные изменения в сельскохозяйственном производстве нашей страны, прошедшие за последние годы, оказали существенное влияние на технологию послеуборочной обработки зерна.

Имеющаяся в сельском хозяйстве зерноочистительная техника морально устарела, так как не соответствует современным условиям зернопроизводства и физически изношена на 70 – 90%. Обеспеченность крупных и средних хозяйств не превышает 35%, а малые и фермерские хозяйства вообще не имеют требуемой техники.

Обеспечение хозяйств полнопоточными линиями послеуборочной обработки зерна, как это предполагалось в доперестроечный период, в настоящее время не представляется возможным. С одной стороны, по недоступным инвестиционным вложениям для хозяйств, а с другой, в нецелесообразности оснащения хозяйств во многих случаях лишними машинами.

В последнее время в большинстве хозяйств широкое применение находят пневматические сепараторы. Это объясняется тем, что этот класс машин является наиболее доступным по ценовым параметрам, а также по достигаемому технологическому эффекту. Однако в большинстве случаев, стремление хозяйств к упрощению технологий послеуборочной обработки и простой заменой их пневмосепарирующими машинами приводит к большим потерям зерна.

В связи с этим поиск путей повышения эффективности сепарации зерна, в воздушных сепараторах, без особого их удорожания, является актуальной народнохозяйственной задачей, диверсификации материально-технической базы обработки зерна и уменьшения потерь зернового материала.

Работа выполнена в рамках госбюджетной научно-исследовательской работы ВСГУТУ по теме: «Исследование и разработка пневмосепарирующего канала для очистки зерна» (гос. регистрация № 01201254456).

Цель работы– повышение эффективности сепарации зерна в пневматических вертикальных каналах от легковесных, щуплых, мелких и битых зерен.

Объект исследования – зерно, органическая и минеральная примесь, пневматический вертикальный канал с перегородками.

Предмет исследований – технологический процесс сепарации зерна по аэродинамическим свойствам в вертикальном канале, выравнивание скорости воздушного потока в вертикальном канале.

Научная новизна:

- математическая модель процесса сепарации зерна в вертикальном пневмоканале с перегородками;
- закономерности изменения полноты выделения компонентов в вертикальном пневмоканале с перегородками в зависимости от основных кон-

структивно-технологических параметров (скорости воздушного потока, удельной нагрузки и количества перегородок).

На вертикальный пневмоканал с перегородками получен патент РФ № 2438781.

Практическая ценность работы.

Конструктивно-компоновочная схема пневматического сепаратора, включающая вертикальный пневмоканал с перегородками.

Оптимальные конструктивно-технологические параметры вертикального пневмоканала с перегородками.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Математическая модель процесса сепарации зерна от легковесных, щуплых, мелких и битых зерен в вертикальном пневмоканале с перегородками. Переменными параметрами модели являются физико-механические свойства компонентов зернового материала и конструктивные параметры пневмоканала и его перегородки. Применение модели позволяет определить полноту выделения компонентов из зернового материала в вертикальных пневмоканалах с перегородками.

2. Основные оптимальные конструктивно-технологические параметры воздушного сепаратора с вертикальным пневмоканалом с перегородками:

- удельные зерновые нагрузки – 29 кг/см²ч;
- количество установленных перегородок – одна;
- высота перегородки – 250 мм ;
- скорость воздушного потока – 5,5 м/с.

3. Установка перегородок в пневмоканале дает возможность увеличить эффективность очистки легких примесей на 9–19 % и использовать его на очистке зернового материала от легковесных, щуплых, мелких, битых зерен основной культуры и шелухи.

Реализация результатов работы.

На основании проведенных исследований разработан воздушный сепаратор, включающий вертикальный пневмоканал с перегородками. Сепаратор внедрен в СПК «Гигант» Заиграевского района и СХПК «Эдэрмык» Кижингинского района Республики Бурятия.

Апробация работы.

Материалы исследований докладывались и обсуждались на заседаниях кафедры «БМТ ПАПП» ВСГУТУ (г. Улан-Удэ) в 2010-2013 гг., на научно-практических конференциях ВСГУТУ (г. Улан-Удэ) в 2009-2012 гг., на Байкальском молодежном форуме «Здоровая молодежь – будущее России» (г. Улан-Удэ) в 2009 г., на I Международной научно-практической конференции «Качество как условие повышения конкурентоспособности и путь к устойчивому развитию» (г. Улан-Удэ) в 2009 г., на всероссийской молодежной научно-технической конференции «Молодые ученые Сибири» (г. Улан-Удэ) в 2010 г., на международной научно-практической конференции, посвященной 80-летию БГСХА и 50-летию инженерного фа-

культета Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филиппова, «Инженерное обеспечение и технический сервис в АПК» (г. Улан-Удэ) в 2011 г., на международной заочной научно-практической конференции «Современные тенденции в науке: новый взгляд» (г. Тамбов) в 2011 г., на III региональном научно-производственном семинаре «Чтения И.П. Терских» «Техника и технологии инженерного обеспечения АПК» (г. Иркутск) в 2011 г.

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 10 печатных работ, в том числе 1 статья в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, патент РФ на изобретение «Пневмоканал для очистки зерна».

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, основных выводов, списка использованной литературы и приложения. Работа изложена на 134 страницах машинописного текста, включает 13 таблиц, 48 рисунков, список литературы из 107 наименований и 4 приложений.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы исследования и дана краткая характеристика работы.

В первой главе дан анализ исследований зерноочистительных машин и пневмосепарирующих систем как отечественных, так и зарубежных компаний, а так же описаны патенты на изобретение пневмоканала для очистки зерна от легких примесей, изучена сепарация зернового материала в пневмосепарирующих каналах с восходящим воздушным потоком. Дан анализ урожайности и валового сбора зерновых культур в Республике Бурятия с 2006 по 2010 г. Проведен анализ конструкций пневмосепарирующих каналов.

Вопросам сепарации зернового материала посвящены работы П.М. Василенко, И.П. Безручкина, В.В. Гортинского, Н.Н. Колышева, И.Е. Кожуховского, А.С. Матвеева, А.Я. Малис, А.Р. Демидова, А.Н. Зюлина, Н.А. Урханова, В.М. Дринчи, Г.Ф. Ханхасаева, В.Г. Хамуева и других ученых.

На основе анализа всех существующих зерноочистительных машин, а также новых разработанных машин, можно сделать вывод о том, что наиболее перспективным направлением по разработке машин для очистки зерна восходящим воздушным потоком является воздушный сепаратор для очистки зерна, в пневмоканале которого установлены перегородки для выравнивания скорости воздушного потока, благодаря чему увеличивается эффективность очистки зернового материала от легких примесей, а также предварительное перераспределение компонентов зерновой смеси при подаче в пневмоканал.

На основании вышеизложенного были сформулированы следующие задачи исследования:

- разработать математическую модель процесса сепарации зернового материала в вертикальном пневматическом канале с перегородками;
- изучить влияние основных параметров на эффективность выделения легких примесей в вертикальном пневматическом канале с перегородками и экспериментально обосновать его основные параметры;
- провести хозяйственные испытания воздушного сепаратора с вертикальным пневматическим каналом.

Во второй главе приведены теоретические исследования пневмосепарации зернового материала в восходящем воздушном потоке, разработана математическая модель процесса сепарации зернового материала на воздушном сепараторе с установленными перегородками в пневмоканале.

Очистка зерна от легких примесей восходящим воздушным потоком с установленными перегородками в пневмоканале с целью выравнивания скорости воздушного потока, а также предварительные экспериментальные исследования очистки зернового материала в пневмоканале с перегородками позволяют выявить новые возможности существенной интенсификации данного процесса с целью обеспечения лучшей эффективности очистки зернового материала от легких примесей.

На рисунке 1 показано распределение частиц по высоте пневмосепарирующего канала, где D – глубина пневмосепарирующего канала; V – скорость воздушного потока; $h_1, h_2, h_3...h_n$ – уровни, на которых находятся препятствия (частицы зерна основной культуры, витающие в пневмоканале).

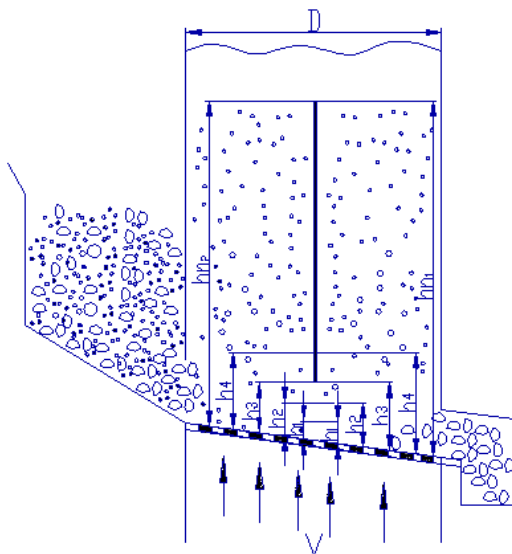


Рис. 1. Распределение частиц по высоте пневмосепарирующего канала

Интенсивность процесса выделения легких частиц в момент времени t определяется формулой:

$$\mu \stackrel{\text{с}}{=} \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{Q \stackrel{\text{с}}{\leftarrow}(t, t + \Delta t)}{Q_0^n - Q \stackrel{\text{с}}{\leftarrow}(t, t + \Delta t)}, \quad (1)$$

где $Q \stackrel{\text{с}}{\leftarrow}(t, t + \Delta t)$ – количество легких частиц выделившихся в следующий за t малый промежуток времени Δt ;

Q_0^n – количество легких частиц в общем потоке зернового материала поступивших в пневмоканал в момент времени $t=0$.

Вероятность выделения $P \stackrel{\text{с}}{\leftarrow}$ легких частиц через интенсивность выделений определяется по формуле:

$$P \stackrel{\text{с}}{\leftarrow} = 1 - e^{-\int_0^t \mu \stackrel{\text{с}}{\leftarrow} dt}. \quad (2)$$

В этом случае интенсивность выделения легких частиц $\mu \stackrel{\text{с}}{\leftarrow}$ характеризует индивидуальное свойство выделения данных частиц, и для различных легких частиц она может быть различной.

Вероятность выноса легкой частицы, находящейся на некотором уровне h_i , можно описать уравнением (2), но так как свойства легкой частицы не меняются в течение времени, когда она поднимается вверх по пневмоканалу, то интенсивность ее выделения не изменяется и принимает вид:

$$P = 1 - e^{-\mu t} \text{ при } t \geq 0, \quad (3)$$

где μ_1 – интенсивность выноса легких частиц в первом отсеке.

Разделим высоту пневмоканала от 0 до h на n равные уровни $h_1, h_2, h_3, \dots, h_n$ и предположим, что препятствия (частицы зерна основной культуры, витающие в пневмоканале) могут появляться только на этих n уровнях.

Время пребывания легкой частицы на любом уровне h_i ($i=1, 2, 3, \dots, n$) имеет показательное распределение, показанное выражением (3).

Согласно теореме о распределении суммы взаимно независимых случайных величин, имеющих одинаковое показательное распределение, суммарная вероятность выноса легких частиц при прохождении n_1 – уровни имеют вид:

$$P_{n_1} \stackrel{\text{с}}{\leftarrow} = 1 - e^{-\mu t} \cdot \left(1 + \frac{\mu_1 t}{1!} + \frac{\mu_1^2 t^2}{2!} + \dots + \frac{\mu_1^{n_1-1} t^{n_1-1}}{(n_1-1)!} \right) \text{ при } t > 0. \quad (4)$$

Тогда количество легких частиц, поступивших во второй отсек, определяется выражением:

$$P \stackrel{\text{с}}{\leftarrow} = Q_0^n - \varepsilon_{n_1} \stackrel{\text{с}}{\leftarrow}, \quad (5)$$

где $\varepsilon_{n_1} \stackrel{\text{с}}{\leftarrow}$ – полнота выделения легких частиц в первом отсеке

$$\varepsilon_{n_1} \stackrel{\text{с}}{\leftarrow} = P_{n_1} \stackrel{\text{с}}{\leftarrow}$$

Вероятность выноса легких частиц при прохождении n_2 – уровни во втором отсеке имеют вид:

$$P_{n_2} \left(\leftarrow \right) = Q_0^n - \varepsilon_{n_1} \left(\leftarrow \right) e^{-\mu_2 t} \cdot \left(1 + \frac{\mu_2 t}{1!} + \frac{\mu_2^2 t^2}{2!} + \dots + \frac{\mu_2^{n_2-1} t^{n_2-1}}{(n_2-1)!} \right) \text{ при } t > 0. \quad (6)$$

Если подставить полноту выделения легких частиц в первом отсеке в формулу (6) то получим:

$$P_{n_2} \left(\leftarrow \right) = Q_0^n \cdot \left[1 - e^{-\mu_1 t} \left(1 + \frac{\mu_1 t}{1!} + \frac{\mu_1^2 t^2}{2!} + \dots + \frac{\mu_1^{n_1-1} t^{n_1-1}}{(n_1-1)!} \right) \right] - \left[e^{-\mu_2 t} \cdot \left(1 + \frac{\mu_2 t}{1!} + \frac{\mu_2^2 t^2}{2!} + \dots + \frac{\mu_2^{n_2-1} t^{n_2-1}}{(n_2-1)!} \right) \right] \text{ при } t > 0. \quad (7)$$

Полнота выделения легких частиц определяется формулой:

$$\varepsilon = \frac{P_{n_2} \left(\leftarrow \right)}{Q_0^n}. \quad (8)$$

Вводя коэффициент учитывающий пространство препятствий, который зависит от концентрации витающего слоя зерновок, безразмерная величина:

$$K = C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot C_4 \cdot q, \quad (9)$$

где C_1 – масштабный коэффициент, размерность которого обратно пропорциональна размерности q ;

C_2 – коэффициент, учитывающий физико-механические свойства компонентов зернового материала, безразмерный;

C_3 – коэффициент, учитывающий конструкцию пневмосепарирующего канала, безразмерный;

C_4 – коэффициент, учитывающий перераспределение компонентов зернового материала в слое при подаче в пневмоканаал, безразмерный;

q – удельная зерновая нагрузка, кг/см²·ч.

$$\varepsilon = \frac{1}{K} \left\{ \frac{Q_0^n \cdot \left[1 - e^{-\mu_1 t} \cdot \left(1 + \frac{\mu_1 t}{1!} + \frac{\mu_1^2 t^2}{2!} + \dots + \frac{\mu_1^{n_1-1} t^{n_1-1}}{(n_1-1)!} \right) \right]}{Q_0^n} \right\} -$$

$$\left. - \left[e^{-\mu_2 t} \cdot \left(1 + \frac{\mu_2 t}{1!} + \frac{\mu_2^2 t^2}{2!} + \dots + \frac{\mu_2^{n_2-1} t^{n_2-1}}{(n_2-1)!} \right) \right] \right\} \quad (10)$$

Таким образом, формула (10) описывает процесс сепарации компонентов зернового материала в пневмоканале с перегородками.

Для проверки математической модели и обоснования основных параметров воздушного сепаратора с установленными перегородками в пневмоканале использовали экспериментальную установку (рис. 2).

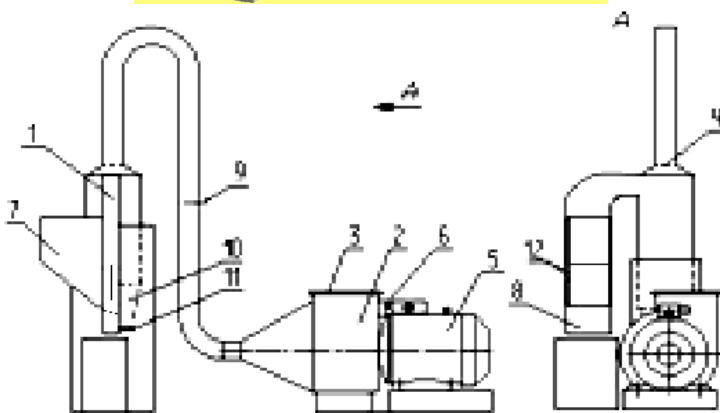
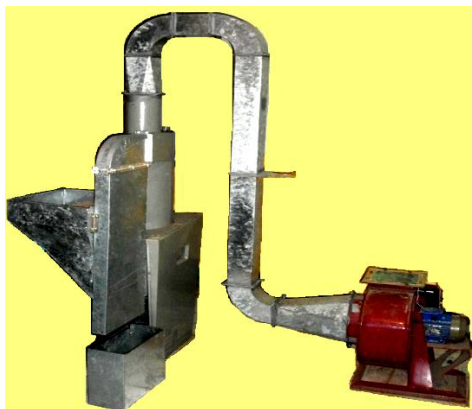


Рис. 2. Общий вид и принципиальная схема экспериментальной установки:
 1 – пневмоканал; 2 – вентилятор; 3 – матерчатый фильтр; 4 – сетчатый фильтр;
 5 – электродвигатель; 6 – автоматический выключатель; 7 – приемный бункер;
 8 – вывод очищенного материала; 9 – заслонка; 10 – осадочная камера;
 11 – разгрузочное устройство, 12 – перегородки

Установка включает следующие узлы и механизмы: пневмоканал 1 прямоугольного сечения для сепарации зерна восходящим воздушным потоком, вентилятор 2, сетчатый фильтр 4, матерчатый фильтр 3, электродвигатель 5, автоматический выключатель 6 для защиты электродвигателя от токов короткого замыкания, магнитный пускатель для управления работой электродвигателя, приемный бункер 7 для ввода исходного материала в канал, канал 8 для вывода очищенного материала, заслонку 9 для регулирования подачи воздуха в пневмоканал, осадочную камеру 10, разгрузочное устройство отхода 11, в пневмоканале установлены прямоугольные перегородки 12 высотой 250 мм и шириной 300 мм, которые делят по ширине пневмоканал на три равные части. Рост скорости на всех участках пневмосепарирующего канала говорит о выравнивании концентрации обрабатываемого материала по поперечному сечению. Увеличение удельной зерновой нагрузки ведет к выравниванию скорости воздушного потока, тем самым создаются условия для наиболее эффективного разделения зернового материала, т.е. при большой скорости воздушного потока, возможно, добиться высокой эффективности разделения.

В пневмосепарирующем канале, в отличие от всех существующих, установлены перегородки, которые способствуют выравниванию скорости воздушного потока, что повышает эффективность разделения зернового материала.

Нижний лоток питающего бункера оснащен вибратором. Выпускное отверстие питающего бункера 7 оборудовано регулировочной задвижкой. Устройство для регулирования расхода воздуха представляет собой заслонку 9, которую, двигая по горизонтали, можно регулировать подачу воздушного потока в пневмосепарирующий канал.

В качестве генератора воздушного потока использован центробежный вентилятор 2 с электродвигателем 5.

Исходный зерновой материал после тщательного перемешивания загружается в приемный бункер 7, из приемного бункера – вибрирующим питающим лотком зерновой материал, на котором происходит перераспределение частиц зернового материала в слое, подается в пневмосепарирующий канал 1. Под действием воздушного потока примеси, скорость витания которых меньше скорости витания зерен основной культуры, поднимаются вверх по пневмосепарирующему каналу 1 и поступают в осадочную камеру 10. Из осадочной камеры примеси выгружаются с помощью клапана 11, который закрывает выпускное отверстие с помощью замка, благодаря этому заслонка плотно прижата к выпускному отверстию, и открывают его только при наполнении отходом осадочной камеры 10. Очищенное от легких и трудноотделимых примесей зерно выводится через канал 8. Воздушный поток из осадочной камеры 10, пройдя через сетчатый фильтр 4, расположенный в осадочной камере и очищаясь от пыли, поступает в вентилятор 2 и выходит наружу через выходной патрубок, на котором установлен матерчатый фильтр 3.

Далее взвешивали легкую примесь, попавшую в осадочную камеру, и проводили анализ эффективности очистки зернового материала.

Обработываемый зерновой материал пшеница 2011 года, влажностью 12,8%, с содержанием легкой примеси 4,42% (битые зерна основной культуры, трудноотделимые сорняки, шелуха и т.д.).

Испытания проводили на трех различных уровнях подачи от 8 до 10 т/ч. Количество установленных перегородок варьируется от 0 до 2, скорость воздушного потока в пневмоканале изменяется от 3,5 до 5,5 м/с, загрузка пневмоканала зерновым материалом от 29,62 до 37 кг/см²·ч.

Скорость воздушного потока в канале определяли через его динамическое давление, которое замеряли трубкой Пито-Прандля, подсоединяемой к микроманометру ММН, через отверстия в боковых стенках канала. Также определили скорость воздушного потока в пневмоканале с помощью чашечного анемометра МС-13, установив его горизонтально навстречу воздушному потоку и электронным термоанемометром testo 405, который определяет скорость воздуха с точностью до сотых единиц.

В третьей главе изложены программа и методика исследований.

Показатели эффективности выделения легкой примеси Е определяли по формуле В.Г. и Г.В. Ньютонов.

В четвертой главе приведены результаты экспериментальной проверки математической модели процесса очистки зернового материала от легкой примеси в пневмоканале с перегородками, а так же экспериментального обоснования основных параметров воздушного сепаратора с установленными перегородками в пневмоканале.

Результаты исследований процесса сепарации зернового материала в воздушном сепараторе с установленными перегородками в пневмоканале позволили установить высокую эффективность его использования при очистке зерна от легких примесей.

Эксперименты проводились на специально приготовленном зерновом материале, содержащем 95,58% основного зерна и легкой примеси.

Основное зерно – пшеница влажностью 12,8%, очищенная от примесей всех видов. В качестве легких примесей использовали легковесные, щуплые, мелкие, битые зерна основной культуры, шелуху и трудноотделимые сорняки.

Предварительными экспериментальными исследованиями установлено, что эффективность очистки зерна от легких примесей увеличивается на 4-8%, за счет использования в приемном бункере вибрирующего питающего лотка.

В задачу данной работы входила оценка влияния количества перегородок установленных в пневмоканале, загрузки пневмоканала зерновым материалом и скорости воздушного потока на эффективность очистки пшеницы от легких примесей с использованием вибрирующего питающего лотка.

С целью обоснования количества и высоты перегородок, установленных в пневмоканале, были проведены экспериментальные исследования по

изучению влияния высоты перегородок на эффективность очистки зерна от легких примесей, а затем и количества перегородок. Анализ влияния установленных перегородок показал, что максимальная эффективность очистки зерна от легких примесей 99,46% при одной установленной перегородке (рис. 3).

Влияние скорости воздушного потока на эффективность очистки зерна от легких примесей. Исследования показали, что при увеличении скорости воздушного потока в пневмосепарирующем канале увеличивается эффективность очистки зерна от легких примесей, а при уменьшении скорости воздушного потока уменьшается эффективность очистки зерна.

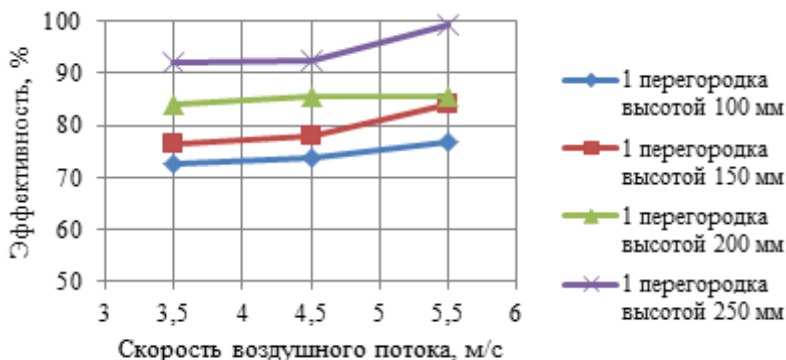


Рис. 3. Эффективность очистки зернового материала в пневмоканале с одной перегородкой в зависимости от скорости воздушного потока

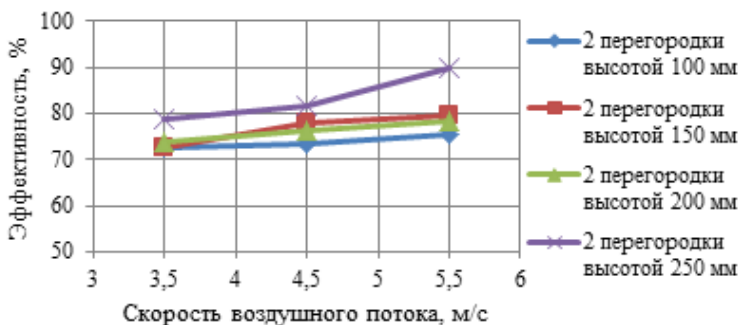


Рис. 4. Эффективность очистки зернового материала в пневмоканале с двумя перегородками в зависимости от скорости воздушного потока

Влияние удельной подачи зернового материала на эффективность очистки зернового материала от легких примесей изучали при подаче зернового материала 29,62 кг/см²·ч; 33,3 кг/см²·ч и 37 кг/см²·ч, что соответ-

ствуется 8 т/ч; 9 т/ч и 10 т/ч. Исследования очистки зернового материала от легких примесей показали, что с увеличением загрузки пневмоканала зерновым материалом уменьшается эффективность очистки зернового материала, а при уменьшении загрузки увеличивается эффективность его очистки с 96,18 до 99,46%.

Изучение процесса очистки зерна от легких примесей заключалось в определении оптимальной скорости воздушного потока в пневмоканале, загрузке пневмоканала зерновым материалом и количестве перегородок установленных в пневмоканале для выравнивания скорости воздушного потока, при которой обеспечивается высокая эффективность очистки зерна от легких примесей в пневмосепараторе.

Для решения поставленной задачи было произведено планирование эксперимента при помощи полного факторного эксперимента (ПФЭ-3³). Уровни варьируемых факторов определяли на основе анализа научно-технической информации по состоянию вопроса.

Установлено, что скорость воздушного потока в пневмоканале может варьироваться от 3,5 до 5,5 м/с, поэтому при планировании эксперимента необходимо учесть этот фактор.

Кроме того, было установлено, что следует проводить эксперименты в пневмоканале без перегородки, а также с одним и двумя установленными перегородками.

В качестве параметра оптимизации была выбрана эффективность очистки зернового материала, характеризующая способность разделения зернового материала от легких примесей и потери зерна в отходы.

В таблице 1 представлены уровни варьирования факторов процесса очистки зернового материала от легких примесей.

Таблица 1 – Уровни варьирования факторов процесса очистки зернового материала от легких примесей

Фактор	Уровень		
	-1	0	+1
X ₁ – скорость воздушного потока в пневмоканале, м/с	3,5	4,5	5,5
X ₂ – количество установленных перегородок в пневмоканале, шт.	1	0	2
X ₃ – загрузка пневмоканала зерновым материалом, кг/см ² ·ч	29,62	33,3	37

Построив план полного факторного эксперимента при изучении процесса очистки зернового материала от легких примесей, осуществили эксперимент. Получив экспериментальные данные, выполнили статистическую обработку результатов.

В результате обработки экспериментальных данных трехфакторного эксперимента получены уравнения регрессии следующего вида:

$$y = 116,2733 + 5,861 \cdot X_2 - 16 \cdot X_1 - 6,641 \cdot X_2^2 + 0,6108 \cdot X_2 \cdot X_1 + 2,2215 \cdot X_1^2;$$

$$y = 103,4414 - 0,2189 \cdot X_3 + 8,5519 \cdot X_2 - 0,0048 \cdot X_3^2 + 0,0017 \cdot X_3 \cdot X_2 - 6,6413 \cdot X_2^2.$$

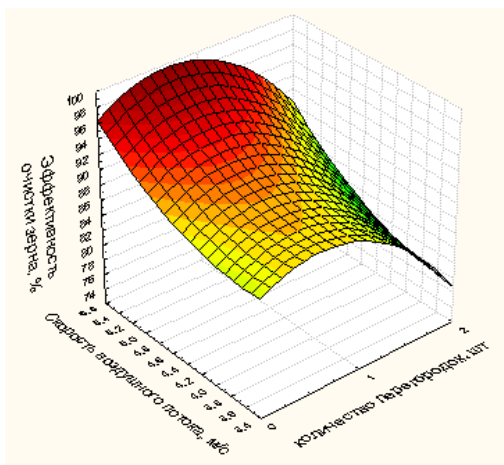


Рис. 5. Зависимость эффективности очистки зернового материала от скорости воздушного потока и количества перегородок

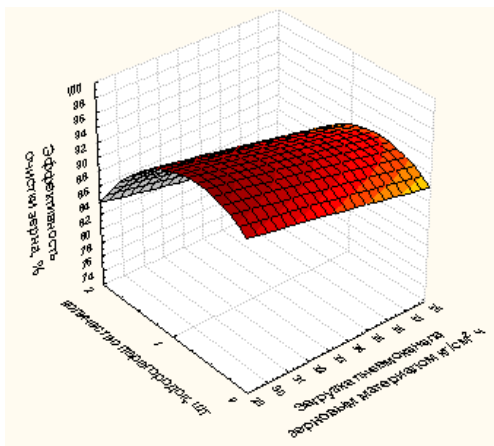


Рис. 6. Зависимость эффективности очистки зернового материала от количества установленных перегородок и загрузки пневмоканала зерновым материалом

Получив экспериментальные данные, уравнение регрессии и выполнив статистическую обработку результатов с помощью программы Statistica 6.0 построили график зависимости эффективности очистки зернового материала от скорости воздушного потока и количества установленных перегородок (рис. 5). Из графика видно, что максимальная эффективность очистки зернового материала 96,44% при одной установленной перегородке и скорости воздушного потока 5,5 м/с, а минимальная эффективность очистки 80,1% при двух установленных перегородках и скорости воздушного потока 3,5 м/с.

При помощи той же программы Statistica 6.0, построили график зависимости эффективности очистки зернового материала от количества установленных перегородок и загрузки пневмоканала зерновым материалом (рис. 6). Из графика видно, что максимальная эффективность очистки зернового материала 96,44% при одной установленной перегородке и загрузке пневмоканала зерновым материалом 29,62 кг/см²·ч, а минимальная эффективность очистки 80,1% при двух установленных перегородках и загрузке пневмоканала зерновым материалом 37 кг/см²·ч.

Таким образом, экспериментально обоснованы рациональные параметры процесса очистки зернового материала от легких примесей в пневмоканале с перегородками: загрузка пневмоканала зерновым материалом – 29 кг/см²ч, количество установленных перегородок – одна, высота перегородок – 250 мм и скорость воздушного потока – 5,5 м/с.

Анализ эффективности выделения легкой примеси в зависимости от влажности зернового материала показал, что с увеличением влажности зернового материала уменьшается эффективность выделения легкой примеси. Так при скорости воздушного потока 3,5 м/с эффективность выделения легкой примеси при влажности зернового материала $W=27,4\%$ составляет 68,3%, а при влажности зернового материала $W=12,8\%$ эффективность выделения легкой примеси 88,89%.

При увеличении содержания легкой примеси в зерновом материале уменьшается эффективность выделения легкой примеси. Так, при содержании легкой примеси в зерновом материале $C_0=4,42\%$ эффективность выделения легкой примеси составляет 99,4%, а при содержании легкой примеси в зерновом материале $C_0=10\%$ эффективность их выделения составила 57,12%.

Испытания макетного образца воздушного сепаратора, в пневмоканале которого установлены перегородки, показали на работоспособность в хозяйственных условиях.

В пятой главе представлена экономическая эффективность внедрения воздушного сепаратора с установленными перегородками в пневмоканале.

Годовой экономический эффект составляет более 200 тыс. руб.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Анализ исследований показал, что применение пневмоканалов становится эффективным при использовании конструктивных решений, обеспечивающих равномерное распределение скорости воздушного потока за счет установки перегородок по глубине пневмоканала.

2. Установка перегородок дает возможность увеличить эффективность очистки легких примесей на 9 – 19% и использовать его на очистке зернового материала от легковесных, щуплых, мелких, битых зерен основной культуры и шелухи.

3. Разработана математическая модель процесса сепарации компонентов зернового материала в вертикальном пневмоканале с перегородками (10), которая учитывает физико-механические свойства компонентов зернового материала, конструкцию пневмоканала и перераспределение компонентов в слое при подаче в пневмоканал. Применение данной модели позволяет определять полноту выделения компонентов из зернового материала в вертикальных пневмоканалах с перегородками.

4. Эффективность выделения легких примесей увеличивается при увеличении скорости воздушного потока в пневмоканале от 3,5 до 5,5 м/с

на 3 – 10%. А при увеличении загрузки зернового материала, подаваемого в пневмоканал, уменьшается.

5. Обоснованы рациональные параметры процесса очистки зернового материала от легких примесей в пневмоканале с перегородками: загрузка пневмоканала зерновым материалом – 29 кг/см²ч, количество установленных перегородок – одна, высота перегородок – 250 мм и скорость воздушного потока – 5,5 м/с.

8. Хозяйственные испытания разработанного воздушного сепаратора с вертикальным пневматическим каналом и с перегородкой подтвердили устойчивость процесса сепарации на разных зерновых материалах при удельных зерновых нагрузках до 29 кг/см²ч.

9. Ожидаемый годовой экономический эффект от воздушного сепаратора для очистки зерна от легкой примеси с установленными перегородками в пневмоканале составил более 200 тыс. руб. на одну машину.

Основные материалы диссертации опубликованы в следующих печатных работах.

В изданиях, рекомендованных ВАК:

1. Пашинова Н.В. Моделирование аэродинамических свойств семян основных зерновых культур [Текст] / С.С. Ямпиллов, Н.В. Пашинова // Вестник ИрГСХА. Вып. 42 – Иркутск: ИрГСХА, 2011, С.123-133.

В других изданиях:

2. Пашинова Н.В. Урожайность и валовой сбор зерновых культур в Республике Бурятия [Текст] / С.С. Ямпиллов, Н.В. Пашинова // Сборник научных трудов. Серия: Технология и средства механизации в АПК. Вып. 5. – Улан-Удэ: Изд-во ВСГТУ, 2009, С. 39-42.

3. Пашинова Н.В. Посевные площади и валовой сбор зерна в Республике Бурятия [Текст] / Н.В. Пашинова // Байкальский молодежный форум «Здоровая молодежь – будущее России» (15-19 июня 2009 г.): сборник статей и проектов. – Улан-Удэ: НоваПринт, 2009, С. 63-66.

4. Пашинова Н.В. Новые селекционные машины для очистки зерна [Текст] / С.С. Ямпиллов, Г.Ж. Дондокова, Н.В. Пашинова // Сборник научных докладов I Международной научно-практической конференции «Качество как условие повышения конкурентоспособности и путь к устойчивому развитию». – Улан-Удэ: Изд-во ВСГТУ, 2009, С. 198-206.

5. Пашинова Н.В. Разработка нового пневмоканала для очистки зерна [Текст] // С.С. Ямпиллов, Н.В. Пашинова // Сборник научных трудов. Серия: Технология и средства механизации в АПК. Вып. 6. – Улан-Удэ: Изд-во ВСГТУ, 2010, С. 155-158.

6. Пашинова Н.В. Очистка зерна в пневмоканале [Текст] / С.С. Ямпиллов, Н.В. Пашинова // Сборник научных докладов международной научно-

практической конференции, посвященной 80-летию БГСХА и 50-летию инженерного факультета (9-12 июня 2011 г.) «Инженерное обеспечение и технический сервис в АПК» – Улан-Удэ: Изд-во БГСХА им. В.Р. Филиппова, 2011, С. 106-110.

7. Пашинова Н.В. Исследование пневмоканала с боковым отверстием и барьерами [Текст] / С.С. Ямпиров, Г.Ж. Дондокова, Н.В. Пашинова // Сборник научных трудов. Серия: Технология и средства механизации в АПК. Вып. 7. – Улан-Удэ: Изд-во ВСГТУ, 2011, С. 133-138.

8. Пашинова Н.В. Анализ теоретических исследований очистки зернового материала в пневмоканале [Текст] / С.С. Ямпиров, Г.Ж. Дондокова, Н.В. Пашинова // Сборник научных трудов. Серия: Технология и средства механизации в АПК. Вып. 7. – Улан-Удэ: Изд-во ВСГТУ, 2011, С. 154-164.

9. Пашинова Н.В. Очистка зерна в пневмоканале с барьерами [Текст] / С.С. Ямпиров, Н.В. Пашинова, Г.Ж. Дондокова // Современные тенденции в науке: новый взгляд: сборник научных трудов по материалам международной заочной научно – практической конференции 29 ноября 2011 г.: в 9. частях. Часть 4; М-во обр. и науки РФ. Тамбов: Изд-во ТРОО «Бизнес-Наука-Общество», 2011. С. 160-162.

10. Патент РФ № 2438781, МПК С1, В02В 1/00. Пневмоканал для очистки зерна / С.С. Ямпиров, Н.В. Пашинова, Ж.Б. Цыбенков, Ц.Ц. Цыдыпов, В.Б. Балданов (РФ) Опубл. 10.01.2012; Бюл. №1.

11. Пашинова Н.В. Результаты экспериментальных исследований очистки зерна от легких примесей в воздушном сепараторе [Текст] / С.С. Ямпиров, Н.В. Пашинова, Г.Ж. Дондокова // Сборник научных трудов. Серия: Технология и средства механизации в АПК. Вып. 8. – Улан-Удэ: Изд-во ВСГУТУ, 2012, С. 145-149.

Подписано в печать 10.09. 2013 г. Формат 60x84 1/16
Усл. печ. л. 1,16. Тираж 100 экз. Заказ 269.

Издательство ВСГУТУ
670013, г. Улан-Удэ, ул. Ключевская, 40 в