



БАЛДАНОВ Вячеслав Баирович

ОБОСНОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ
ГРАВИТАЦИОННОГО СЕПАРАТОРА ДЛЯ ОЧИСТКИ ЗЕРНА

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).

Научный руководитель доктор технических наук, профессор
Ямпиллов Сэнгэ Самбуевич

Официальные оппоненты **Шуханов Станислав Николаевич**
доктор технических наук, профессор
кафедры «Техническое обеспечение
в АПК», ФГБОУ ВПО «Иркутская
государственная
сельскохозяйственная академия»
Друзьянова Варвара Петровна
кандидат технических наук, доцент,
зав. кафедрой «Эксплуатация
автомобильного транспорта и
автосервис» ФГБОУ ВПО «Северо-
Восточный федеральный
университет им. М.К. Аммосова»

Ведущая организация ФГБОУ ВПО «Бурятская
государственная
сельскохозяйственная академия им.
В.Р. Филиппова»

Защита состоится «27» декабря 2013 г. в 15.00 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, 40в, ауд. 8-124.

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

Автореферат разослан « 26 » ноября 2013 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Б.Д. Цыдендоржиев

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Известные изменения, произошедшие за последние годы в сельскохозяйственном производстве, требуют коренных преобразований в послеуборочной обработке зерна.

Зерноочистительная техника, имеющаяся в сельском хозяйстве, морально устарела, так как она не соответствует современным условиям зернопроизводства, физически изношена на 70-80% и количественно недостаточна (обеспеченность техникой средних и крупных хозяйств не превышает 40%, а фермерские хозяйства вообще не имеют требуемой техники).

Поэтому необходимо создание новых зерноочистительных машин, максимально адаптированных к многообразию условий современного сельскохозяйственного производства и обеспечивающих решение задач по очистке зерна при минимальных капитальных и энергетических затратах.

В связи с этим, разработка и обоснование основных параметров новых сепарирующих рабочих органов и машин, адаптированных к многообразию условий производства, на принципах самотечного движения материала под действием гравитационных сил, является актуальной задачей.

Исследования по разработке нового гравитационного сепаратора для очистки зерна, работающего без использования электроэнергии, выполнены в Восточно-Сибирском государственном университете технологий и управления по планам госбюджетных научно-исследовательских работ по теме: «Ресурсо-энергосберегающие технологии и технические средства по обработке и переработке сырья растительного происхождения» (гос. регистрация №01201254456).

Научная гипотеза заключается в том, что эффективность очистки зерна от мелких и крупных примесей гравитационным сепаратором может быть повышена за счет деления зернового материала на два потока, при этом слой зернового материала на гребенках уменьшается в два раза, понижается удельная нагрузка на гребенки, тем самым увеличивается эффективность просеивания мелких компонентов в отверстия гребенок при тех же габаритах сепаратора.

Цель работы и задачи исследования. Целью работы является повышение эффективности очистки зерна от крупных и мелких примесей за счет применения новой конструкции гравитационного сепаратора и обоснования его основных параметров.

Основные задачи исследования:

- разработать математическую модель процесса разделения зерновых смесей на гравитационном сепараторе для очистки зерна;
- изучить влияние основных параметров гравитационного сепаратора для очистки зерна, а также физико-механических свойств зернового материала на эффективность выделения мелких и крупных примесей. Экспериментально обосновать его основные параметры;

- изучить работоспособность гравитационного сепаратора для очистки зерна в хозяйственных условиях.

Объекты исследований. Физико-механические свойства зернового материала и основных примесей, процесс очистки зерновых культур на гравитационном сепараторе.

Предмет исследований. Закономерность процесса очистки зерна от мелких и крупных примесей по размерам на каскаде гребенок.

Методика исследований. Физико-механические свойства зерна и примесей определяли в соответствии с государственными стандартами. Основные параметры разрабатываемого гравитационного сепаратора для очистки зерна были исследованы по специально разработанной методике на экспериментальной установке. Обработка результатов экспериментальных исследований осуществлялась на персональной ЭВМ с использованием программ Microsoft Excel, Statistica 6.0.

Научную новизну представляют:

- математическая модель процесса сепарации зернового материала гравитационным сепаратором, состоящим из двух зигзагообразных каналов, в которых установлены каскады гребенок;

- конструктивно-технологические параметры гравитационного сепаратора для одновременного выделения крупных и мелких примесей из зернового материала, состоящего из двух зигзагообразных каналов, в которых установлены каскады гребенок (защищен патентом РФ № 2465970).

Практическая ценность. Разработаны рекомендации по выбору основных конструктивных параметров и режимов работы гравитационного сепаратора для очистки зерна от мелких и крупных примесей, работающего без использования электроэнергии, производительностью 12 т/ч·м. Обоснована технологическая схема очистки зерна с использованием гравитационного сепаратора.

Основные положения, выносимые на защиту:

- математическая модель процесса сепарации зернового материала гравитационным сепаратором;

- аналитические зависимости качественной и количественной характеристик процесса очистки зерна на гравитационном сепараторе;

- конструктивная, технологическая схемы и основные параметры гравитационного сепаратора для очистки зерна, работающего без использования электроэнергии.

Реализация результатов исследования. В результате проведенных исследований разработан гравитационный сепаратор для очистки зерна и внедрен в СПК «Михайловка» Закаменского района и СПК "Тигант" Заиграевского района Республики Бурятия.

Апробация работы. Материалы диссертации доложены, обсуждены и одобрены на научно-практических конференциях в ВСГУТУ (2010, 2011, 2012, 2013), на международной научно-практической конференции, посвященной 80-летию БГСХА и 50-летию инженерного

факультета Бурятской сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филиппова, «Инженерное обеспечение и технический сервис в АПК» (2011)., на международной заочной научно-практической конференции «Современные тенденции в науке: новый взгляд» (Тамбов) в 2011 г.

Публикации. Основное содержание диссертации опубликовано в 8 печатных работах, в том числе 1 статья в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, патент РФ на изобретение «Сепаратор сыпучих материалов».

Объем и структура работы. Диссертация состоит из 5 глав, общих выводов, списка литературы и приложений. Общий объем работы насчитывает 160 страниц, включая 40 рисунков, 16 таблиц и список литературы из 190 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении показана актуальность темы, дана краткая аннотация работы и сформулированы основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе дается анализ зернового вороха, поступающего на послеуборочную обработку, анализ основных тенденций развития технологий и технических средств для послеуборочной обработки зерна. Обоснована необходимость уменьшения энергетических затрат в процессе послеуборочной обработки зерна.

Вопросам сепарирования зерновых смесей посвящены работы М.Н. Летошнева, И.Е. Кожуховского, Г.Д. Терскова, С.А. Васильева, Н.Н. Ульриха, В.А. Кубышева, В.И. Анискина, В.В. Гортинского, В.М. Цециновского, А.Н. Зюлина, Ю.И. Ермольева, В.М. Дринча, Н.А. Урханова, Н.М. Иванова, Г.Ф. Ханхасаева и многих других.

На основе анализа основных тенденций развития зерноочистительных машин можно сделать вывод о том, что наиболее перспективным направлением по разработке машин для очистки зерна являются гравитационные сепараторы, которые работают без использования электроэнергии и за одну технологическую операцию отделяют мелкие и крупные примеси из зерна одновременно.

Вторая глава посвящена разработке математической модели процесса разделения зерновой смеси гравитационным сепаратором.

Гравитационный сепаратор для очистки зерна работает за счет использования сил гравитации, принципиально отличается от всех существующих гравитационных сепараторов тем, что в нем исходный зерновой материал делится на две части для уменьшения удельной нагрузки на гребенки. Как показали предварительные исследования, уменьшение удельной нагрузки на сепарирующие гребенки позволяет увеличить эффективность выделения мелких и крупных примесей, то есть исходный зерновой материал за счет деления на два потока поступает одновременно на правую и левую стороны сепаратора, в котором зигзагообразно установлены каскады гребенок. Кроме того, под каждым сплошным накопителем установлены поворачивающиеся заслонки для того, чтобы

частицы зернового материала, поступающие с определенной скоростью, не отскакивали от сплошных накопителей. А также имеются боковые каналы, которые расположены спереди и сзади от центрального канала и предназначены для дополнительного выделения мелких примесей.

Технологическая схема, гравитационного сепаратора для очистки зерна, работающего без использования электроэнергии (рис. 1).



Рис.1. Технологическая схема гравитационного сепаратора

Исходный зерновой материал попадает из бункера-питателя на правую и левую стороны сепаратора, то есть исходной зерновой материал делится на два потока. Один поток, попадая на правую сторону сепаратора, поступает в правый зигзагообразный канал, в котором установлен каскад гребенок, а затем на сплошной накопитель, в котором происходит перераспределение частиц зернового материала. Более мелкие частицы мелкой примеси и основное зерно опускаются в нижние слои, а затем поступают на верхнюю первую гребенку. Зазор между прутками гребенки выбран таким образом, что мелкие примеси и основное зерно проходят в отверстия гребенки, а крупные примеси не проходят. Частицы крупной примеси и непрошедшие частицы основного зерна идут сходом с верхней первой гребенки и поступают на скатную доску, при этом направление движения зернового потока меняется.

После скатной доски они поступают на сплошной накопитель, на котором происходит перераспределение частиц в слое. Мелкие частицы зернового материала опускаются в нижние слои зернового материала. А затем - на верхнюю вторую гребенку, где мелкие примеси и основное зерно

проходят в отверстия второй гребенки, а частицы крупной примеси и непрошедшие частицы основного зерна идут сходом и поступают на нижерасположенную скатную доску. Перемещаясь по этой скатной доске, зерновой материал поступает на верхнюю треть гребенку, где частицы мелкой примеси и основного зерна проходят в отверстия гребенки, а частицы крупной примеси попадают в правый канал вывода крупной примеси.

Частицы мелкой примеси и основного зерна, прошедшие в отверстия верхней первой гребенки, поступают на нижерасположенную скатную доску. После нее они поступают на другую скатную доску и при этом меняют направление движения. Происходит перераспределение частиц в зерновом слое. Частицы мелкой примеси опускаются в нижние слои. Затем мелкие примеси и основное зерно поступают на гребенку для выделения частиц мелкой примеси, в которой зазор между прутками гребенки выбран таким образом, что частицы мелкой примеси проходят в отверстия между прутками, а частицы основного зерна не проходят.

Частицы мелкой примеси проходят в отверстия верхней гребенки для выделения частиц мелкой примеси и поступают на скатную доску для вывода в боковую сторону сепаратора. А частицы основного зерна с непрошедшими частицами мелкой примеси поступают на сплошной накопитель, где материал меняет направление движения и происходит перераспределение частиц в слое, далее материал поступает на верхнюю вторую гребенку для выделения частиц мелкой примеси. Частицы мелкой примеси проходят в отверстия гребенки, попадают на скатную доску, а затем направляются на вывод в боковую сторону.

Непрошедший материал (основное зерно с частицами мелкой примеси) поступает на сплошной накопитель, где материал меняет направления движения, а затем поступает на гребенку, где частицы мелкой примеси проходят в отверстия и поступают на скатную доску, а затем в центральный канал вывода мелкой примеси. Непрошедший материал поступает на нижерасположенный сплошной накопитель, а затем на гребенку, на котором идет выделение частиц мелкой примеси, которые попадают в боковой канал вывода мелкой примеси, и так далее.

Вторая часть исходного зернового материала (второй поток) поступает на верхнюю первую гребенку левой стороны, в отверстия которой проходят частицы основного зерна и мелкой примеси. А частицы крупной примеси с частицами мелкой примеси и основного зерна, не прошедшими в отверстия гребенок, идут сходом. Процесс сепарации зернового материала на левой стороне сепаратора, в левом зигзагообразном канале, в котором установлен каскад гребенок аналогичен процессу сепарации на правой стороне сепаратора.

Чтобы определить оптимальные параметры гравитационного сепаратора для очистки зерна, работающего без использования электроэнергии, необходимо представить процесс просеивания с помощью математической модели.

Для описания процесса сепарации зернового материала в гравитационном сепараторе предположим, что процесс просеивания осуществляется в однородных условиях, т.е. частицы компонентов зерна одинаковы и гребенки одинаковы (размеры отверстий между прутками одинаковы и их длина). При этом полнота просеивания проходových частиц (основного зерна) ε_1^0 на участке гребенки длиной x_1 , на верхней правой первой гребенке, где расстояние между прутками в гребенках одинаково и выбрано таким образом, что частицы основного зерна проходят в отверстия гребенок, а частицы крупной примеси не проходят, при подаче зернового материала слоем определенной толщины определяется выражением:

$$\varepsilon_1^0 = P^0 (1 - e^{-\mu_0 x_1}), \quad (1)$$

где μ_0 - интенсивность просеивания проходových частиц (основного зерна), дм^{-1} ; x_1 - длина верхней первой гребенки правой стороны сепаратора, дм ; P^0 - исходное количество основного зерна, поступающего на верхнюю первую гребенку правой стороны сепаратора.

Интенсивность просеивания частиц основного зерна μ_0 зависит от следующих факторов: размеров частиц основного зерна, физико-механических свойств основного зерна, характера распределения материала на гребенке, удельной нагрузки, параметров гребенки (угол наклона гребенок к горизонту, длины гребенок), конструкции гребенок, состоянии поверхности гребенки и на верхнюю вторую гребенку.

Частицы основного зерна и крупная примесь через верхнюю первую гребенку поступают сходом на скатную доску и дальше на сплошной накопитель.

Полнота просеивания частиц основного зерна на верхней второй гребенке определяется следующим выражением:

$$\varepsilon_2^0 = (P^0 - P^0 e^{-\mu_0 x_1})(1 - e^{-\mu_0 x_2}), \quad (2)$$

где x_2 - длина верхней второй гребенки с правой стороны сепаратора, дм .

Непрошедшие частицы основного зерна через верхнюю вторую гребенку и крупные примеси поступают сходом на скатную доску и дальше на сплошной накопитель и верхнюю третью гребенку на правой стороне. Полнота просеивания частиц основного зерна на верхнюю третью гребенку определяется следующей формулой:

$$\varepsilon_3^0 = [(P^0 - P^0 e^{-\mu_0 x_1})(1 - e^{-\mu_0 x_2})](1 - e^{-\mu_0 x_3}), \quad (3)$$

где x_3 - длина верхней третьей гребенки, дм .

Полнота просеивания частиц основного зерна на правой стороне n -ой гребенке определяется выражением:

$$\varepsilon_n^0 = \{[(P^0 - P^0 e^{-\mu_0 x_1})(1 - e^{-\mu_0 x_2})](1 - e^{-\mu_0 x_3})\} \dots (1 - e^{-\mu_0 x_n}), \quad (4)$$

где x_n – длина верхней n-й гребенки, дм.

Сходом с верхней третьей гребенки идут частицы крупной примеси и поступают в правый боковой канал вывода крупных примесей.

Исходное количество частиц мелкой примеси, поступившее на верхнюю первую гребенку правой стороны сепаратора, составляет $P^{(M)}$. Полноту просеивания частиц мелкой примеси на верхней первой гребенке правой стороны сепаратора можно определить:

$$\varepsilon_1^{r(M)} = P^M (1 - e^{-\mu_M x_1}), \quad (5)$$

где μ_M – интенсивность просеивания частиц мелкой примеси через верхнюю первую гребенку, дм⁻¹; x_1 – длина верхней первой гребенки правой стороны сепаратора, дм.

Непрошедшие частицы мелкой примеси через верхнюю первую гребенку поступают сходом на скатную доску и дальше на сплошной накопитель.

Полнота просеивания частиц мелкой примеси на верхней второй гребенке определяется следующим выражением:

$$\varepsilon_2^{r(M)} = (P^M - P^M e^{-\mu_M x_1})(1 - e^{-\mu_M x_2}), \quad (6)$$

где x_2 – длина верхней второй гребенки, дм.

Не прошедшие частицы мелкой примеси через верхнюю вторую гребенку поступают сходом на нижерасположенную скатную доску и дальше на сплошной накопитель и верхнюю третью гребенку. Полнота просеивания частиц мелкой примеси на верхней третьей гребенке определяется следующей формулой:

$$\varepsilon_3^{r(M)} = [(P^M - P^M e^{-\mu_M x_1})(1 - e^{-\mu_M x_2})](1 - e^{-\mu_M x_3}), \quad (7)$$

где x_3 – длина верхней третьей гребенки, дм.

Частицы мелкой примеси, пройдя в отверстие верхней первой гребенки, поступают на скатную доску, а затем на нижерасположенную скатную доску. При этом материал меняет направление движения и попадает на сплошной накопитель, а затем на гребенку для выделения мелкой примеси. То есть в этой гребенке зазор между прутками выбран таким образом, что в отверстия проходят частицы мелкой примеси, а частицы основного зерна не проходят.

Полнота просеивания частиц мелкой примеси через первую гребенку для выделения мелких примесей определяется следующей формулой:

$$\varepsilon_1^{r(y)(M)} = [(P^M - P^M e^{-\mu_M x_1})(1 - e^{-\mu_M^y x_1^y})] + \varepsilon_2^{r(M)} (1 - e^{-\mu_M x_3}), \quad (8)$$

где $\mu_M^{(y)}$ – интенсивность просеивания частиц мелкой примеси через отверстия первой гребенки для выделения мелких примесей, дм⁻¹; $x_1^{(y)}$ –

длина первой гребенки для выделения мелких примесей, дм. Если подставим значение $\varepsilon_2'^M$ в формулу, то получим:

$$\varepsilon_1'^{y(M)} = [(P^M - P^M e^{-\mu_M x_1}) + (P^M - P^M e^{-\mu_M x_1})(1 - e^{-\mu_M x_2})](1 - e^{-\mu_M^y x_1^y}). \quad (9)$$

Прошедшие частицы мелкой примеси поступают на скатную доску, а затем выводятся в боковую сторону.

Частицы мелкой примеси, непрошедшие в отверстия первой гребенки для выделения мелких примесей, поступают на нижерасположенный сплошной накопитель, меняют направление движения и поступают на вторую гребенку для выделения мелких примесей.

Полнота просеивания частиц мелкой примеси на второй гребенке мелкой примеси на второй гребенке для выделения мелких примесей определяется следующим выражением:

$$\varepsilon_2'^{(M)} = \{[(P^M - P^M e^{-\mu_M x_1}) + (P^M - P^M e^{-\mu_M x_1})(1 - e^{-\mu_M x_2})](1 - e^{-\mu_M^y x_1^y})\} (1 - e^{-\mu_M^y x_2^y}), \quad (10)$$

где $x_2^{(y)}$ – длина второй гребенки для выделения мелких примесей, дм.

Частицы мелкой примеси, прошедшие в отверстия второй гребенки для выделения мелких примесей поступают на нижерасположенную скатную доску, а затем выводятся в боковую сторону. А частицы мелкой примеси, не прошедшие в отверстия второй гребенки для выделения мелких примесей поступают на сплошной накопитель, а затем на третью гребенку для выделения мелких примесей. Кроме того, на третью гребенку для выделения мелких примесей поступают частицы мелкой примеси сверху (с третьей гребенки правой стороны сепаратора).

Полнота просеивания частиц мелкой примеси на третьей гребенке для выделения мелких примесей можно определить по следующей формуле:

$$\varepsilon_3'^{(M)} = \{ \{ \{ [(P^M - P^M e^{-\mu_M x_1}) + (P^M - P^M e^{-\mu_M x_1})(1 - e^{-\mu_M x_2})](1 - e^{-\mu_M^y x_1^y}) \} + \varepsilon_3'^M \} (1 - e^{-\mu_M^y x_3^y}), \quad (11)$$

где $x_3^{(y)}$ – длина третьей гребенки для выделения мелких примесей, дм.

Частицы мелкой примеси, прошедшие в отверстия третьей гребенки для выделения мелких примесей, поступают на скатную доску, а затем в центральный канал вывода мелкой примеси. А непрошедшие частицы мелкой примеси совместно с основным зерном сходом поступают на сплошной накопитель, а затем на четвертую гребенку для выделения мелких примесей. Кроме того, сверху поступает прошедший зерновой материал через третью гребенку.

Полнота просеивания частиц мелкой примеси на четвертой гребенке для выделения мелких примесей определяется следующим выражением:

$$\begin{aligned} \varepsilon_4^{(M)} = & \{ \{ \{ \{ [(P^M - P^M e^{-\mu_M x_1}) + (P^M - P^M e^{-\mu_M x_1}) \cdot \\ & (1 - e^{-\mu_M x_2})](1 - e^{-\mu_M^y x_1^y}) \} \} \} \} (1 - e^{-\mu_M^y x_2^y}) \} + \\ & + \varepsilon_3^{(M)} \} (1 - e^{-\mu_M^y x_3^y}) \} + \varepsilon_4^{(M)} \} (1 - e^{-\mu_M^y x_4^y}), \end{aligned} \quad (12)$$

где $x_4^{(y)}$ – длина четвертой гребенки для выделения мелких примесей, дм.

Полнота просеивания частиц мелкой примеси на n -й гребенки для выделения мелких примесей правой стороны определяется выражением:

$$\begin{aligned} \varepsilon_n^{(M)} = & \{ \{ \{ \{ [(P^M - P^M e^{-\mu_M x_1}) + (P^M - P^M e^{-\mu_M x_1}) \cdot \\ & (1 - e^{-\mu_M x_2})](1 - e^{-\mu_M^y x_1^y}) \} \} \} \} (1 - e^{-\mu_M^y x_2^y}) \} + \\ & + \varepsilon_3^{(M)} \} (1 - e^{-\mu_M^y x_3^y}) \} + \varepsilon_4^{(M)} \} (1 - e^{-\mu_M^y x_4^y}) \dots + \varepsilon_n^{(M)} \} (1 - e^{-\mu_M^y x_n^y}), \end{aligned} \quad (13)$$

где $x_n^{(y)}$ – длина n -й гребенки для выделения мелких примесей, дм.

Аналогично можно определить полноту просеивания частиц основного зерна на верхней третьей гребенки левой стороны, обозначив .

(1
4)

где – длина верхней первой гребенки на левой стороне.

Полнота просеивания частиц основного зерна при n -ю гребенку левой стороны сепаратора можно определить.

$$\varepsilon_{nl}^0 = \{ [(P^0 - P^0 e^{-\mu_0 x_{1,l}})(1 - e^{-\mu_0 x_{2,l}})(1 - e^{-\mu_0 x_{3,l}})] \dots (1 - e^{-\mu_0 x_{nl}}) \}, \quad (15)$$

где – длина верхней n -й гребенки на левой стороне, дм.

Полнота просеивания частиц мелкой примеси на n -ой гребенки для выделения мелких примесей левой стороны определяется выражением:

$$\begin{aligned} \varepsilon_{nl}^{(M)} = & \{ \{ \{ \{ [(P^M - P^M e^{-\mu_M x_{1,l}}) + (P^M - P^M e^{-\mu_M x_{1,l}}) \cdot \\ & (1 - e^{-\mu_M x_{2,l}})](1 - e^{-\mu_M^y x_{1,l}^y}) \} \} \} \} (1 - e^{-\mu_M^y x_{2,l}^y}) \} + \\ & + \varepsilon_3^{(M)} \} (1 - e^{-\mu_M^y x_{3,l}^y}) \} + \varepsilon_4^{(M)} \} (1 - e^{-\mu_M^y x_{4,l}^y}) \dots + \varepsilon_n^{(M)} \} (1 - e^{-\mu_M^y x_{nl}^y}), \end{aligned} \quad (16)$$

где – длина n -й гребенки левой стороны для выделения мелких примесей.

Полноту просеивания зерна основной культуры через зигзагообразные каналы правой стороны и левой стороны на n -й гребенке гравитационного сепаратора определяем по следующей формуле:

(17)

Аналогично можно определить полноту просеивания частиц мелкой примеси через зигзагообразные каналы правой и левой стороны гравитационного сепаратора на n -й гребенке по следующей формуле:

(18)

Полноту просеивания частиц крупной примеси через верхнюю третью гребенку правой стороны, обозначив $P_{П}^K$ – исходное количество крупной примеси, поступающего на верхнюю первую гребенку правой стороны сепаратора можно определить по формуле:

$$\varepsilon_{3П}^K = [(P_{П}^K - P_{П}^K e^{-\mu_K x_{1П}})(1 - e^{-\mu_K x_{2П}})](1 - e^{-\mu_K x_{3П}}), \quad (19)$$

где μ_K – интенсивность просеивания частиц крупной примеси зависит от следующих факторов: физико-механических свойств крупной примеси, удельной нагрузки, характера распределения материала на гребенке, параметров и конструкции гребенки.

Полноту просеивания частиц крупной примеси через верхнюю третью гребенку левой стороны, обозначив $P_{Л}^K$ – исходное количество крупной примеси, поступающего на верхнюю первую гребенку левой стороны сепаратора, можно определить по следующей формуле:

$$\varepsilon_{3Л}^K = [(P_{Л}^K - P_{Л}^K e^{-\mu_K x_{1Л}})(1 - e^{-\mu_K x_{2Л}})](1 - e^{-\mu_K x_{3Л}}). \quad (20)$$

Аналогично полноту просеивания частиц крупной примеси через n-ю гребенку правой стороны определяем:

$$\varepsilon_{nП}^K = [(P_{П}^K - P_{П}^K e^{-\mu_K x_{1П}})(1 - e^{-\mu_K x_{2П}})](1 - e^{-\mu_K x_{3П}}) \cdot \dots \cdot (1 - e^{-\mu_K x_{nП}}). \quad (21)$$

Полноту просеивания частиц крупной примеси через n-ю гребенку левой стороны определяем по следующей формуле:

$$\varepsilon_{nЛ}^K = [(P_{Л}^K - P_{Л}^K e^{-\mu_K x_{1Л}})(1 - e^{-\mu_K x_{2Л}})](1 - e^{-\mu_K x_{3Л}}) \cdot \dots \cdot (1 - e^{-\mu_K x_{nЛ}}). \quad (22)$$

Общую полноту просеивания частиц крупной примеси через n-ю гребенку левой стороны сепаратора определяем по формуле:

$$(23)$$

Для проверки математической модели и обоснования основных параметров гравитационного сепаратора использовали экспериментальную установку (рис. 2). Были проведены эксперименты при следующих условиях, принятых на основе предварительных исследований: расстояние между прутками сепарирующих гребенок, установленных в канале, составляет 4 мм (выделение крупных примесей), 2 мм (выделение мелких примесей), ширина рабочей части сепарирующих гребенок 300 мм, длина - 155 мм, угол наклона гребенок к горизонтальной плоскости составляет 32° (выделение крупных примесей), 42° (выделение мелких примесей), подача зернового материала 12 т/ч·м. В вертикальном канале устанавливали до 8 сепарирующих гребенок каждой стороны для выделения мелкой примеси, а для выделения крупных примесей - до 4 сепарирующих гребенок каждой стороны. Данные, полученные экспериментально, были сопоставлены с расчетными формулами и представлены на (рис. 3). Расчет полноты просеивания ε зерна пшеницы, мелкой примеси гравитационным сепаратором произведен исходя из интенсивности просеивания компонентов μ через сепарирующие гребенки, у которых расстояние между прутками 4 и 2 мм при вышеуказанных параметрах.

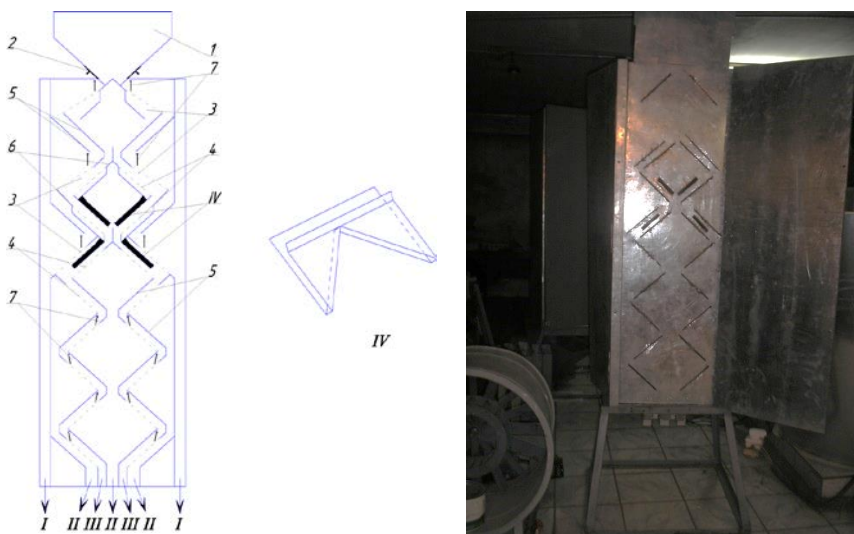


Рис. 2. Общий вид и принципиальная схема гравитационного сепаратора для очистки зерна: 1 - загрузочный бункер; 2 - заслонка подачи материала; 3 - сепарирующие гребенки для выделения крупной примеси (сходовая фракция); 4 - сепарирующие гребенки для выделения мелкой примеси (проходовая фракция); 5 - скатные доски; 6 – сплошной накопитель; 7 – подвижная заслонка; I - патрубки для вывода крупной примеси; II - патрубки для вывода мелкой примеси; III - патрубок для вывода очищенного зерна; IV - патрубки для вывода мелкой примеси в боковую сторону.

Сопоставление теоретических и экспериментальных зависимостей изменения полноты просеивания компонентов от числа установленных сепарирующих гребенок в гравитационном сепараторе свидетельствует об адекватности математической модели процесса.

В третьей главе изложены программа и методика экспериментальных исследований.

Показатели эффективности выделения мелких и крупных примесей (E_k , E_m) определяли по формуле В.Г. и Г.В. Ньютонов.

В четвертой главе представлены результаты экспериментального обоснования основных параметров гравитационного сепаратора для очистки зерна.

Для обоснования угла наклона гребенок к горизонтальной плоскости и длины гребенок в гравитационном сепараторе, была изготовлена экспериментальная установка (рис. 4) и проведены экспериментальные исследования. Был подготовлен исходный зерновой материал, в котором содержание мелкой и крупной примеси составляло по 6 %. Основное зерно - пшеница влажностью 13%, очищенная от примесей

всех видов. В качестве мелких примесей использовали половинки семян пшеницы, разрезанных вдоль, а крупные примеси – это колоски, горох.

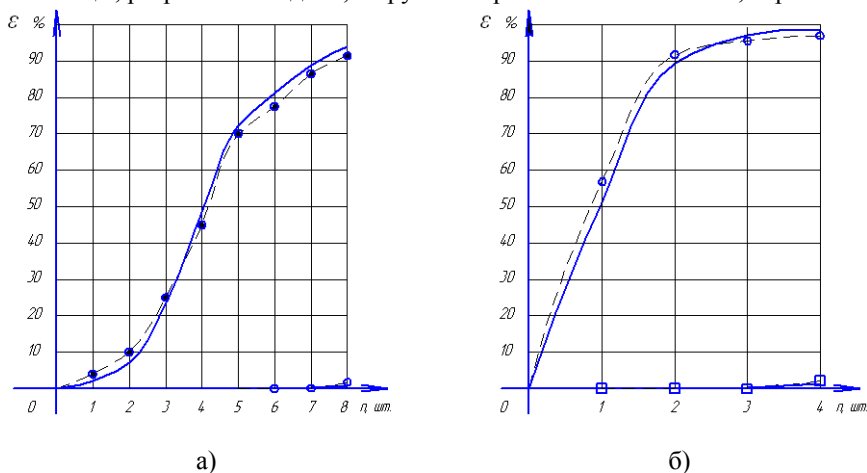


Рис. 3. Полнота выделения компонентов зернового материала в зависимости от количества сепарирующих гребенок: а) ----- - экспериментальные; ———— - расчетные; ● – мелкие примеси; ○ – основное зерно (пшеница); $b = 2$ мм – зазор между пальцами гребенки. б) ----- - экспериментальные; ———— - расчетные; ○ – основное зерно (пшеница); $b = 4$ мм – зазор между пальцами гребенки;

Предварительными экспериментальными исследованиями было установлено что эффективность выделения мелких примесей высокая при зазоре между прутками гребенки 2 мм, а эффективность выделения крупных примесей при зазоре между прутками гребенки 4 мм.

Поэтому для обоснования угла наклона гребенок к горизонтальной плоскости и длины гребенок использовали эти гребенки.

Впереди сепарирующей гребенки была установлена сплошная скатная доска (сплошной накопитель) длиной 40 мм.

В целях обоснования длины сепарирующих гребенок были проведены эксперименты при длине: 75, 115, 155, 195, 235 мм (рис. 5). При этом угол наклона сепарирующих гребенок к горизонту составлял для выделения мелкой примеси 42° , а для выделения крупной примеси - 32° .

Анализ экспериментальных данных показал, что эффективность выделения мелких и крупных примесей зернового материала с увеличением длины сепарирующей гребенки повышается. Так, рациональным параметром была выбрана длина сепарирующих гребенок 155 мм, так как при увеличении длины сепарирующих гребенок - увеличивается высота сепаратора соответственно и металлоемкость.

Для обоснования угла наклона сепарирующих гребенок относительно горизонтальной плоскости были проведены экспериментальные исследования, при длине сепарирующих гребенок 155 мм (рис. 6).

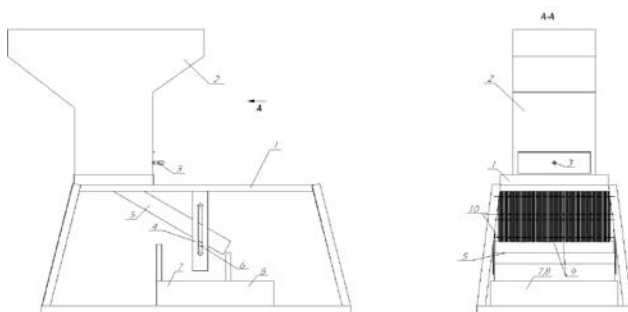


Рис. 4. – Экспериментальная установка:

1 - станина, 2 - бункер, 3 - дозатор, 4 - линейка регулировки угла наклона, 5 - направляющая зерна, 6 - болт регулировки угла, 7 - лоток для мелкой примеси, 8 - лоток для крупной примеси, 9 - прутки, 10 - стрелки

Анализ экспериментальных данных показал, что эффективность выделения мелких и крупных примесей зернового материала с увеличением угла наклона гребенок к горизонтальной плоскости уменьшается.

Так, при увеличении угла наклона гребенок с 36 до 42° эффективность очистки зернового материала от мелких примесей падает незначительно, так при угле наклона гребенок 42° эффективность выделения мелких примесей составляет более 36 %.

С увеличением угла наклона сепарирующей гребенки к горизонту с 28 до 32° эффективность выделения крупных примесей падает незначительно. А при увеличении угла наклона гребенки выше 32° эффективность очистки зерна от крупных примесей падает интенсивно.

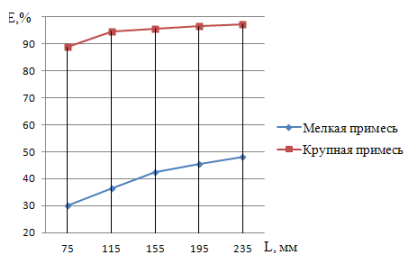


Рисунок 5 – Эффективность очистки зерна от мелких и крупных примесей в зависимости от длины гребенок

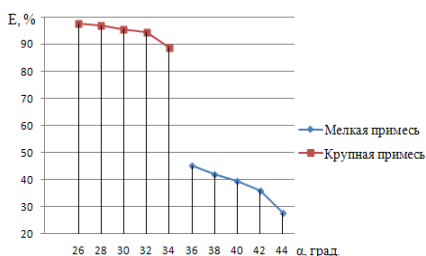


Рисунок 6 – Эффективность очистки зерна от мелких и крупных примесей в зависимости от угла наклона гребенки относительно горизонтальной плоскости

Поэтому рациональным углом наклона сепарирующей гребенки к горизонту для выделения мелких примесей приняли 42° , а для выделения крупных примесей - 32° .

Для обоснования основных параметров (удельной подачи, количество гребенок, засоренности) было произведено планирование эксперимента при помощи полного факторного эксперимента (ПФЭ- 2^3).

На основании результатов априорного ранжирования факторов были определены следующие факторы и их уровни варьирования показаны в таблице.

Для реализации эксперимента использовали ротatableное планирование эксперимента, который позволяет получать более точное математическое описание поверхности отклика.

После расчета коэффициентов регрессии было получено уравнение:

$$(24)$$

Для оценки адекватности экспериментальных и теоретических измерений необходимо рассчитать критерий Фишера, где $F_{расч.} = 2,1 \leq F_{табл.} = 5,32$ при 95%-ной достоверности. Среднеквадратическая ошибка не превышала 5%

Таблица

Матрица кодирования переменных и уровни варьирования

Переменные	Обозначения		Уровни варьирования				
	Общие	Кодированные	-1,682	-1	0	+1	-1,682
Удельная подача	т/ч·м	X_1	4	7,3	12	16,8	20
Засоренность	%	X_2	2	3,21	7	6,78	8
Количество гребенок	шт.	X_3	4	5	6	7	8

Чтобы получить представление о геометрическом образе, в программе Statistica 6.0 построили график зависимости эффективности очистки зернового материала от мелкой.

На рисунке 7 влияния факторов x_1 и x_2 уравнение регрессии имеет следующий вид:

На рисунке 8 влияния факторов x_1 и x_3 уравнение регрессии имеет следующий вид:

(26)

На рисунке 9 влияния факторов x_2 и x_3 уравнение регрессии имеет следующий вид:

(27)

Таким образом установлено, что максимальная эффективность очистки зернового материала от мелкой примеси $E=90-94\%$ при удельной подаче 11-12 т/ч·м и засоренности 6-5 %, и количества гребенок 8 шт.

Для оценки возможности использования гравитационного сепаратора, работающего без использования электроэнергии на очистке основных зерновых культур (ржи и ячменя) от мелких и крупных примесей были проведены эксперименты. Установлено, что эффективность очистки зерна ржи от крупных и мелких примесей составляет более 76% при удельной подаче 11 т/ч·м. Эксперименты показали, что при обработке ячменя эффективность очистки от мелких и крупных примесей составляет более 72% при удельной подаче 10,5 т/ч·м.

Для оценки работоспособности в хозяйственных условиях гравитационного сепаратора для очистки зерна с использованием сил гравитации был изготовлен его макетный образец и испытан на зернопункте в СПК «Михайловка» Закаменского района и СПК "Гигант" Заиграевского района Республики Бурятия.

Анализ испытаний макетного образца гравитационного сепаратора для очистки зерна в хозяйственных условиях показывает, что при подаче до 12 т/ч·м обеспечивается выход фракции очищенного зерна пшеницы 94-97%, чистота очищенного зерна составляет 90,7 - 93,1%, при этом потери зерна в отходы составляет 0,99 - 1,5%, забивание гребенок не наблюдалось.

Испытания свидетельствуют о работоспособности гравитационного сепаратора для очистки зерна в хозяйственных условиях, без подвода электроэнергии.

В пятой главе представлена экономическая эффективность внедрения гравитационного сепаратора для очистки зерна.

Годовой экономический эффект составляет 31 тыс. руб. на одну машину.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

Проведенные экспериментальные и хозяйственные исследования позволили сделать следующие основные выводы:

1. Разработанная математическая модель (17, 18, 23) адекватно описывает процесс просеивания компонентов зернового материала через гравитационный сепаратор для очистки зерна, состоящий из двух зигзагообразных каналов, в которых установлены каскады гребенок.

2. Гравитационный сепаратор для очистки зерна, состоящий из двух зигзагообразных каналов, в которых установлены каскады гребенок, позволяет увеличить эффективность очистки зерна от мелких и крупных примесей на 6-19% за счет деления зернового материала на два потока и понижения удельной нагрузки на гребенки.

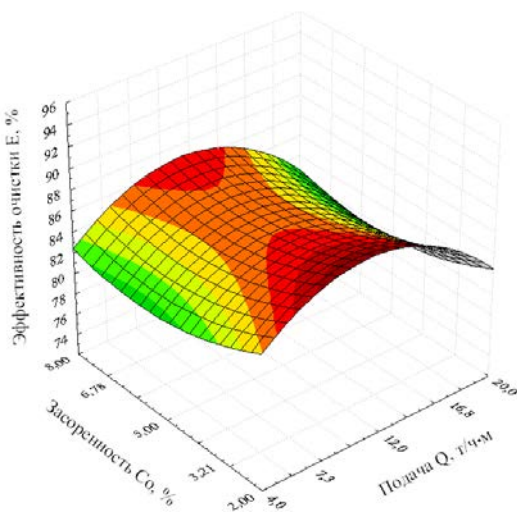


Рис. 7. Эффективность выделения мелкой примеси в зависимости от удельной подачи зернового материала и засоренности зернового материала

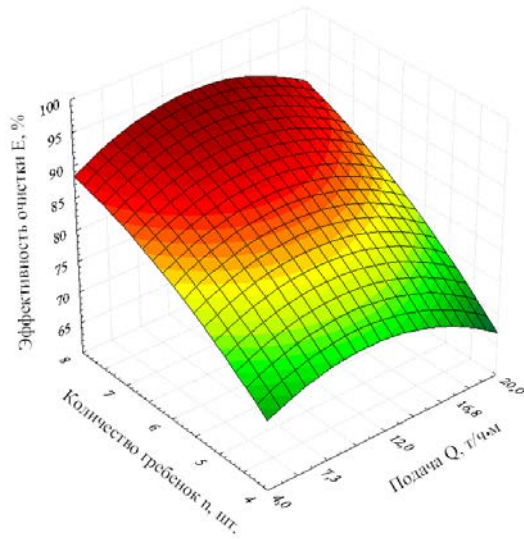


Рис. 8. Эффективность выделения мелкой примеси в зависимости от удельной подачи и количества гребенок

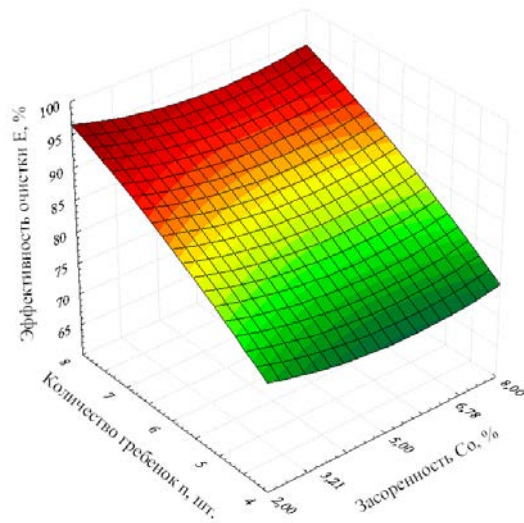


Рис. 8. Эффективность выделения мелкой примеси в зависимости от засоренности зернового материала и количества гребенок

3. Для очистки основных зерновых культур (пшеницы, ржи и ячменя) может использоваться гравитационный сепаратор, состоящий из двух зигзагообразных каналов, в которых установлены одни и те же гребенки.

4. Исследованиями определены следующие рациональные параметры гравитационного сепаратора для очистки зерна производительностью 12 т/ч-м, в котором имеются два зигзагообразных канала, внутри которых установлены каскады гребенок. Количество сепарирующих гребенок для выделения крупных примесей – 3 шт., имеющих зазор между прутками 4 мм; количество сепарирующих гребенок для выделения мелких примесей 8 шт., имеющих зазор между прутками 2 мм; длина всех сепарирующих гребенок составляет 155 мм; угол наклона сепарирующих гребенок к горизонту для выделения мелких примесей 42°; угол наклона сепарирующих гребенок к горизонту для выделения крупных примесей 32°; длина сплошных скатных досок составляет 35-40 мм.

5. Ожидаемый годовой экономический эффект от применения гравитационного сепаратора для очистки зерна составил более 31 тыс. руб. на одну машину.

Основные материалы диссертации опубликованы в следующих печатных работах.

В изданиях, рекомендованных ВАК:

1. Балданов В.Б. Математическая модель процесса сепарации зернового материала гравитационным сепаратором [Текст] / С.С. Ямпиллов, В.Б. Балданов, Б.Д. Цыдендоржиев // Вестник ВСГУТУ. Вып. 5. – Улан-Удэ: Изд-во ВСГУТУ, 2013. С. 85-90.

В других изданиях:

2. Балданов В.Б. Энергосберегающие сепараторы с для очистки зерн [Текст] / С.С. Ямпиллов, В.Б. Балданов, И.А. Цыренов // сб. науч. тр. Серия: Технология и средства механизации в АПК. Вып. 6. – Улан-Удэ: Изд-во ВСГУТУ, 2010. С. 159-164.

3. Балданов В.Б. Обоснование конструкции гравитационного сепаратора [Текст] / С.С. Ямпиллов, В.Б. Балданов, Ж.Б. Цыбенков // сб. науч. тр. Серия: Технология и средства механизации в АПК. Вып. 7. – Улан-Удэ: Изд-во ВСГУТУ, 2011. С. 171-173.

4. Балданов В.Б. Интенсификация процесса разделения частиц зернового материала на гравитационном сепараторе [Текст] / С.С. Ямпиллов, В.Б. Балданов // сб. науч. тр. Серия: Технология и средства механизации в АПК. Вып. 8. – Улан-Удэ: Изд-во ВСГУТУ, 2012. С. 171-173.

5. Балданов В.Б. Влияние параметров гребенки на эффективность очистки зерна [Текст] / С.С. Ямпиров, В.Б. Балданов, А.О. Жигжитов // Современные тенденции в науке: новый взгляд: сборник научных трудов по материалам международной заочной научно – практической конференции 29 ноября 2011 г. в 9 ч. Ч 5; М-во обр. и науки РФ. Тамбов: Изд-во ТРОО «Бизнес-Наука-Общество», 2011. С. 27-29.

6. Балданов В.Б. Гравитационный сепаратор для разделения компонентов зернового материала [Текст] / С.С. Ямпиров, В.Б. Балданов, // сб. науч. док. междунар. науч.-практ. Конф., посвящ. 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. Филипова, 2011, С. 85-90.

7. Балданов В.Б. Результаты экспериментального обоснования основных параметров гравитационного сепаратора для очистки зерна [Текст] / С.С. Ямпиров, В.Б. Балданов // сб. науч. тр. Серия: Технология и средства механизации в АПК. Вып. 9. – Улан-Удэ: Изд-во ВСГУТУ, 2013. С. 158-166.

8. Патент РФ №2465970, МПК С2, В07В 1/04. Сепаратор сыпучих материалов / С.С. Ямпиров, В.Б. Балданов, Н.В. Пашинова, Ж.Б. Цыбенков, Ц.Ц. Цыдыпов (РФ). Оpubл. 10.11.2012; Бюл. №31.

Подписано в печать 26.11. 2013 г. Формат 60x84 1/16
Усл. печ. л. 1,39. Тираж 100 экз. Заказ №382.

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