

На правах рукописи



Тарабрин Дмитрий Сергеевич

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПНЕВМОСЕПАРАЦИИ
ЗЕРНОВОГО ВОРОХА НА ДВУХАСПИРАЦИОННЫХ
ЗЕРНООЧИСТИТЕЛЬНЫХ МАШИНАХ**

05.20.01 – Технологии и средства механизации сельского хозяйства

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Воронеж – 2018

Работа выполнена в ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I (Воронежский ГАУ)».

Научный руководитель доктор технических наук,
Гиевский Алексей Михайлович

Официальные оппоненты: **Саенко Юрий Васильевич**, доктор технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина», профессор кафедры «Машины и оборудование в агробизнесе»;
Бутовченко Андрей Владимирович, кандидат технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Донской государственный технический университет», заведующий кафедрой «Проектирование и технический сервис транспортно-технологических систем».

Ведущая организация: ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве»

Защита состоится 12.04.2018 г. в 14 часов 00 минут на заседании диссертационного совета Д 220.010.04, созданного на базе Воронежского ГАУ, по адресу: 394087, г. Воронеж, ул. Тимирязева, д. 13, учебный корпус агроинженерного факультета (корпус № 3), аудитория 319.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке Воронежского ГАУ и на сайте www.vsau.ru («Информация о деятельности диссертационных советов» – «Защиты» – «Д 220.010.04»), а также по ссылке: <http://ds.vsau.ru/?p=5870>.

Автореферат разослан 12 февраля 2018 г.

Ученый секретарь

диссертационного совета



Афоничев Дмитрий Николаевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Главной задачей АПК, на сегодняшний день, является наращивание производства зерна. Основным условием получения высокого валового сбора урожая является своевременная и качественная послеуборочная обработка зерна.

В настоящее время основу послеуборочной обработки зерна составляют двухаспирационные воздушно-решетные зерноочистительные машины. Данные машины получили широкое распространение в нашей стране из-за своей универсальности. Такие сепараторы могут применяться как для предварительной очистки зерна, так и для основной. На них успешно подготавливается как товарное зерно, так и семенной материал при определенных условиях.

Современные воздушно-решетные сепараторы имеют две аспирации. Первая аспирация осуществляет предварительную очистку вороха от наиболее легковесных примесей (шелуха, листья, измельченная солома и т.п.), облегчая дальнейшую работу решетного стана и второй аспирации.

Обработка зернового вороха в канале второй аспирации является конечной операцией, после которой зерно должно отвечать требованиям к качеству товарного зерна. Повысить эффективность работы второй аспирации можно путем более равномерного распределения очищаемого материала по площади сечения аспирационного канала, чем в существующих зерноочистительных машинах. В связи с этим, теоретическое обоснование и практическая разработка способа ввода сыпучей смеси в аспирационный канал является актуальной задачей совершенствования зерноочистительных машин.

Тема разработана в рамках научно-исследовательской работы агроинженерного факультета Воронежского ГАУ «Инновационные направления совершенствования процессов и технических средств механизации и электрификации сельскохозяйственного производства», утвержденной ученым советом ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ (номер государственной регистрации 01.200.1-003986).

Степень разработанности темы. Огромный вклад в развитие и совершенствование технологий и технических средств очистки зерна внесли Н.Н. Ульрих, В.В. Гортинский, А.Б. Демский, Н.П. Сычугов, В.М. Дринча, В.Л. Злочевский, А.И. Бурков, Н.И. Косилов, А.П. Тарасенко, А.Н. Зюлин, Ю.И. Ермольев, Ю.В. Сычугов, В.Е. Саитов, А.Г. Чумаков, В.И. Орбинский, А.М. Гиевский, а также другие отечественные и зарубежные ученые. Однако, производительность универсальных воздушно-решетных зерноочистительных машин остается относительно низкой, что не позволяет в полной мере реализовать поточную фракционную технологию первичной очистки.

Цель исследования: повысить эффективность работы воздушной очистки двухаспирационных зерноочистительных машин за счет более равномерной загрузки канала послерешетной аспирации.

Задачи исследования:

- выявить пути улучшения равномерности загрузки вертикального пневмосепарирующего канала при подаче зернового вороха колеблющейся поверхностью;

- теоретически и экспериментально определить рациональные параметры процесса ввода зернового вороха в канал послерешетной аспирации;

- разработать устройство для ввода вороха в канал, обеспечивающее высокую степень равномерности распределения материала по сечению канала и обосновать его рациональные параметры и режим работы;

- исследовать влияние разработанного устройства на качественные показатели работы пневмосистемы двухаспирационной воздушно-решетной зерноочистительной машины.

Научная новизна:

- аналитическая зависимость движения зернового вороха за период колебания подающей поверхности, отличающаяся возможностью определения скоростей, координат и положения частиц относительно уступа в зависимости от режима колебаний поверхности, свойств компонентов вороха и параметров ступени;

- аналитическая зависимость движения частиц в пневмосепарирующем канале, отличающаяся учетом отражения компонентов зернового вороха достигших противоположной стенки пневмоканала;

- устройство подачи вороха в вертикальный пневмосепарирующий канал, отличающееся ступенчатой формой поверхности, обеспечивающей равномерное распределение зернового вороха в зоне сепарации;

- закономерности изменения показателей работы пневмосепарирующего канала послерешетной аспирации, отличающиеся учетом использования предлагаемого технического решения.

Теоретическую значимость имеют:

- аналитическая зависимость распределения компонентов зернового вороха по глубине пневмосепарирующего канала от формы поверхности и режима работы питающего лотка;

- аналитически и экспериментально доказанная возможность улучшения равномерности распределения частиц в пневмосепарирующем канале при подаче зернового вороха ступенчатым лотком;

- экспериментально доказанные положения о возможности использования моделирования для оценки распределения зернового вороха по сечению пневмосепарирующего канала.

Практическую значимость составляют:

- принцип подачи вороха в пневмосепарирующий канал послерешетной очистки ступенчатым лотком, закрепленным на решетном стане;
- устройство для послерешетной пневмосепарации зернового вороха, позволяющее повысить полноту выделения, снизить сопротивление канала послерешетной аспирации и увеличить производительность воздушно-решетной машины;
- практические рекомендации по выбору рациональных параметров подачи вороха в вертикальный канал послерешетной очистки и режима его работы.

Объект исследования: процесс пневмосепарации зернового вороха в вертикальном пневмоканале послерешетной аспирации.

Предмет исследования: закономерности работы канала второй аспирации воздушно-решетной зерноочистительной машины при использовании питающего лотка со ступенчатой поверхностью.

Методология и методы исследования. Решение проблемы реализовано с применением методов теоретических и экспериментальных исследований. При проведении лабораторных исследований использованы классические и частные методики с применением математического моделирования и математической статистики, а также современных приборов и вычислительной техники.

Полученные результаты подвергались статистической и математической обработке в программах STATISTICA 10, Microsoft Excel 2010, Mathcad 14 и других, и представлены в виде таблиц, диаграмм и графиков.

Положения, выносимые на защиту:

- аналитическая зависимость движения частиц по колеблющейся ступенчатой поверхности питателя, позволяющая установить возможность увеличения диапазона скоростей компонентов зернового вороха, подаваемых в канал послерешетной очистки;
- аналитическая зависимость движения частиц в пневмосепарирующем канале, позволяющая определить характер распределения вороха по его глубине в зависимости от свойств вороха, режима работы канала и кинематических параметров работы лотка;
- устройство для послерешетной пневмосепарации зернового вороха по патенту РФ № 166514, рациональные параметры и режим работы предлагаемого питающего устройства;
- качественные показатели работы двухаспирационной зерноочистительной машины с учетом подачи зернового вороха в канал послерешетной аспирации разработанным техническим решением.

Степень достоверности и апробация результатов. Закономерности, полученные в ходе математического моделирования, подтверждены результатами экспериментальных исследований. Необходимая глубина

анализа и достоверность выводов достигается применением общенаучных методов и приемов. Эмпирическая база исследования включает обработанные данные, полученные в результате проведения лабораторных экспериментов и опытно-производственных испытаний.

Расхождения между расчетными и экспериментальными данными в пределах 7...10 % позволяют говорить о правильности и адекватности выбранных моделей и не противоречат фактам, известным из специальной литературы.

Основные положения диссертационной работы были изложены на научных конференциях: 65-й студенческой научной конференции: «Молодежный вектор развития аграрной науки» (Воронеж 2014); международной заочной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов на иностранных языках: «Актуальные проблемы аграрной науки, производства и образования» (Воронеж 2015); международной научно-практической конференции, посвященной 85-летию агроинженерного факультета ФГБОУ ВО Воронежского ГАУ им. Петра I : «Агропромышленный комплекс на рубеже веков» (Воронеж 2015); международной научно-практической конференции, посвященной 100-летию кафедры сельскохозяйственных машин агроинженерного факультета ФГБОУ ВО Воронежского ГАУ им. Петра I: «Инновационные направления развития технологий и технических средств механизации сельского хозяйства» (Воронеж 2015); научно-практической конференции «НАУКА ВЧЕРА, СЕГОДНЯ, ЗАВТРА» (Воронеж 2016); научной и учебно-методической конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов ФГБОУ ВПО Воронежский ГАУ «Теория и практика инновационных технологий в АПК» (Воронеж 2017).

Результаты исследований приняты к внедрению в ООО «Агроимпульс СПС» г. Воронеж (руководство ООО «Агроимпульс СПС» подтверждает целесообразность применения разработанного устройства для послерешетной пневмосепарации зернового вороха на зерноочистительных машинах). Переданные материалы исследований используются ООО «Агроимпульс СПС» при модернизации зерноочистительных машин в хозяйствах региона.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 10 научных статей, в том числе три статьи в рецензируемых научных изданиях, получен патент на полезную модель.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти разделов, заключения, списка литературы, включающего 136 наименований, девяти приложений. Объем диссертации составляет 159 страниц машинописного текста, включая 65 рисунков и 15 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении содержится обоснование актуальности выбранной темы, сформулирована цель и поставлены задачи исследования, представлены основные положения, выносимые на защиту.

Первый раздел диссертации содержит описание и аналитический обзор современных воздушно-решетных сепараторов и их пневмосистем. На основании обзора сделан вывод, что наиболее востребованными являются двухаспирационные универсальные зерноочистительные машины. Послерешетная аспирационная система большинства сепараторов имеет недостатки, которые негативно сказываются на качестве обработанного материала. Слабым местом послерешетной аспирации является подача исходного материала в пневмоканал. Установлено, что равномерность распределения обрабатываемого вороха по глубине пневмоканала влияет на качество сепарирования и производительность, и требует дополнительного изучения.

В изучение процесса послеуборочной обработки зернового вороха имеют большое значение работы таких ученых, как Н.П. Сычугов, Н.И. Косилов, А.П. Тарасенко, В.И. Орбинский, В.Л. Злочевский, Ю.И. Ермольев, А.Я. Малис, А.И. Бурков, В.В. Гортинский, А.Б. Демский, Н.В. Жолобов, Б.И. Блинов, В.Е. Саитов и многие другие.

Проведя анализ технологий послеуборочной обработки зерна, пневмосистем зерноочистительных машин и работ по пневмосепарации были сделаны соответствующие выводы.

Второй раздел «Теоретические предпосылки совершенствования послерешетной аспирации двухаспирационной зерноочистительной машины» посвящена теоретическим изысканиям возможности повышения эффективности пневмосепарации зернового вороха в вертикальном пневмосепарирующем канале.

При теоретических исследованиях проводили математическое моделирование процесса пневмосепарации в вертикальном воздушном потоке с подачей обрабатываемого материала в пневмоканал сходом с решета. Опираясь на известные работы по пневмосепарации, за основу приняли систему дифференциальных уравнений (1) полета частиц:

$$\begin{cases} \ddot{x} = -k\dot{x}\sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2} \\ \ddot{y} = -k\dot{y}\sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2} - g + kV^2 \end{cases} \quad (1)$$

Численное решение этой системы с начальными условиями: $x(0) = 0$, $y(0) = h$, $\dot{x}(0) = v_0 \cos \alpha$, $\dot{y}(0) = -v_0 \sin \alpha$ позволяет приближенно проследить траектории движения частиц в пневмоканале.

Для определения начальных параметров ввода материала в канал было сформулировано уравнение (2) движения сыпучей смеси по решету:

$$v(t_{i+1}) = v(t_i) + h \left[g \sin \alpha \mp f(g \cos \alpha + r \omega^2 \sin \omega t_i \cdot \sin \alpha) + \mu v(t_i)^2 \right] \quad (2)$$

С учетом направления движения решета в определенный момент времени уравнение решалось по-разному: если относительная скорость частицы зернового вороха $v(t_i) - r \omega \cos \omega t_i > 0$, то уравнение (2) просчитывается со знаком «-», в противном случае – со знаком «+».

При решении этого уравнения получено изменение абсолютной скорости частицы зернового вороха во времени (рисунок 1) при начальной скорости движения $v(0) = 0,3$ м/с.

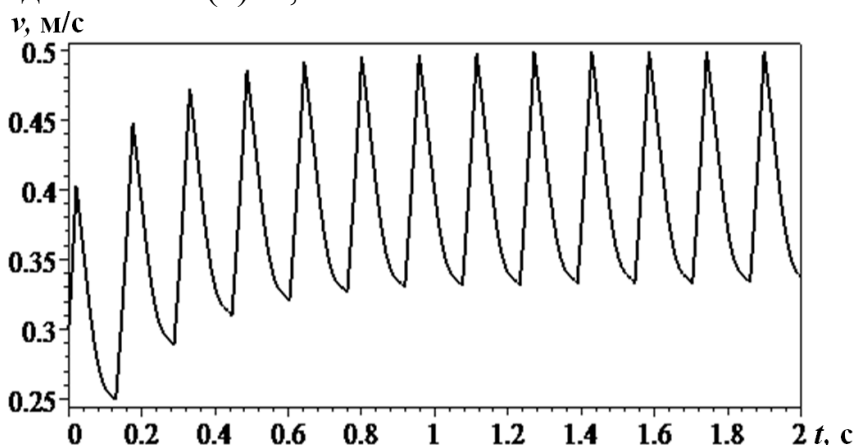


Рисунок 1 – Зависимость абсолютной скорости движения от времени

Как видно из этого графика, через промежуток времени менее 1 с, характер изменения скорости стабилизируется в диапазон 0,33–0,5 м/с. Следует отметить, что диапазон скоростей не зависит от скорости поступления зерна на решето. Так же было установлено, что диапазон изменения скоростей движения частиц по решету не зависит от амплитуды колебания решета.

Определив скорость движения зерна по колеблющемуся решету, в зависимости от времени, мы подставили ее в виде диапазона в модель и произвели расчет. В результате численного решения системы уравнений 1 получили траектории движения частиц с найденным разбросом скоростей 0,33–0,5 м/с (рисунок 2).

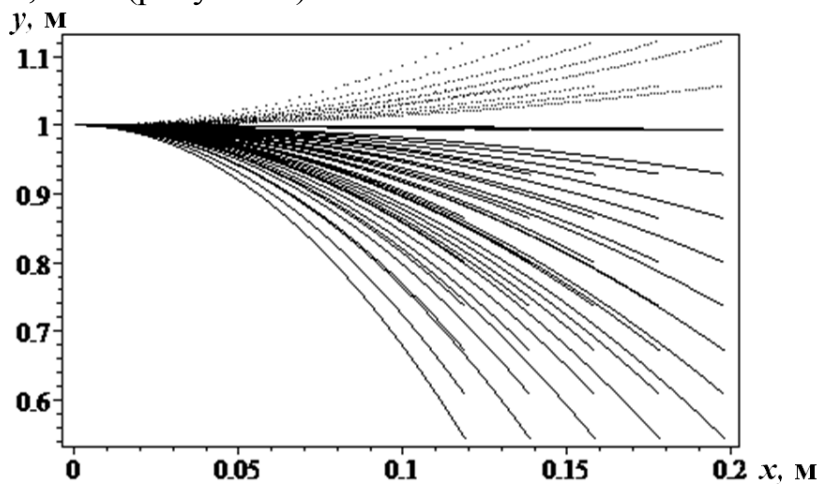


Рисунок 2 – Полет массива частиц

Исходя из результата моделирования, можно сделать вывод, что зерновой ворох, поданный в пневмоканал сходом с решета, заполняет его неравномерно. А именно в зоне ввода материала образуется уплотненный поток, который препятствует работе воздушного потока и снижает эффективность пневмосепарации.

В результате теоретических исследований установлено, что равномерность распределения зернового вороха по глубине пневмосепарирующего канала зависит от разброса скоростей ввода частиц зернового вороха в пневмоканал. Подставляя в начальные условия скорость частиц в диапазоне от 0,1 до 0,5 м/с. и решая уравнение 1, получаем траектории движения частиц, которые практически полностью заполняют пневмосепарирующий канал по глубине. (рисунок 3).

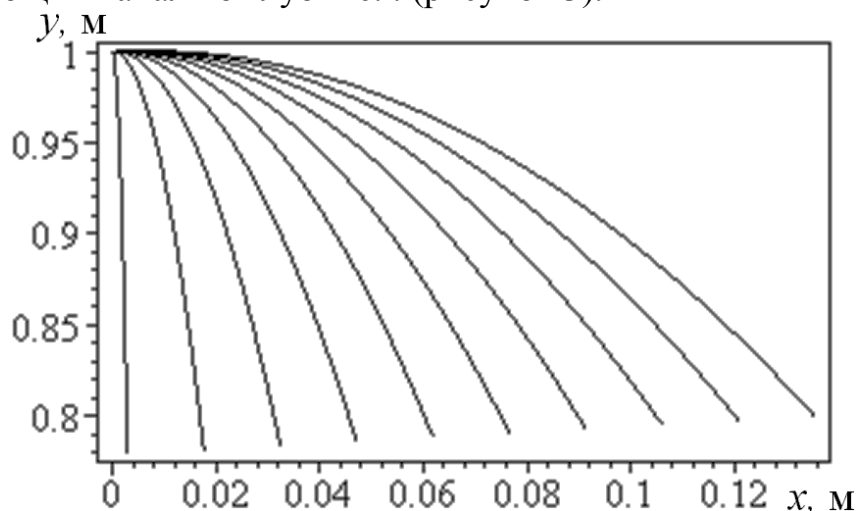


Рисунок 3 – Полет частиц при начальных скоростях 0,1 – 0,5 м/с.

При дальнейшем изучении процесса движения частицы зернового вороха по наклонному колеблющемуся решету, мы пришли к выводу, что для обеспечения нужных параметров ввода частиц зернового вороха в пневмоканал необходимо использовать питающий лоток со ступенчатой скатной поверхностью.

В ходе математического моделирования определяли влияние уступа на характер движения зерновки в определенном промежутке времени. Для этого систему 1 преобразовали в систему уравнений относительного движения 3:

$$\begin{cases} \ddot{x}_{\text{отн}} - r\omega^2 \sin \omega t \cdot \cos \alpha = -k(\dot{x}_{\text{отн}} + r\omega \cos \omega t \cdot \cos \alpha) \cdot \\ \cdot \sqrt{(\dot{x}_{\text{отн}} + r\omega \cos \omega t \cdot \cos \alpha)^2 + (\dot{y}_{\text{отн}} - r\omega \cos \omega t \cdot \sin \alpha)^2} + g \sin \alpha \\ \ddot{y}_{\text{отн}} + r\omega^2 \sin \omega t \cdot \sin \alpha = -k(\dot{y}_{\text{отн}} - r\omega \cos \omega t \cdot \sin \alpha) \cdot \\ \cdot \sqrt{(\dot{x}_{\text{отн}} + r\omega \cos \omega t \cdot \cos \alpha)^2 + (\dot{y}_{\text{отн}} - r\omega \cos \omega t \cdot \sin \alpha)^2} - g \cos \alpha \end{cases} \quad 3.$$

Численное решение представленной задачи позволяет сопоставить относительные координаты и скорости движения частиц зернового во-

роха их относительным и переносным скоростям на одном периоде колебания.

В результате расчетов было установлено, что частицы, сходящие с уступа в промежуток времени [2,06 с; 2,14 с] имеют положительную относительную скорость и после приземления на нижнюю часть уступа, уменьшают свою абсолютную скорость движения (рисунок 4 (положение 1)). Таких частиц около 51 %. Частицы, сходящие с уступа в промежуток времени [2,15 с; 2,175 с] имеют отрицательную относительную скорость и после приземления на нижнюю часть уступа (рисунок 4 (положение 2)), подхватываются им и увеличивают свою абсолютную скорость движения до максимальной переносной скорости решета. Таких частиц около 30% от общей массы.

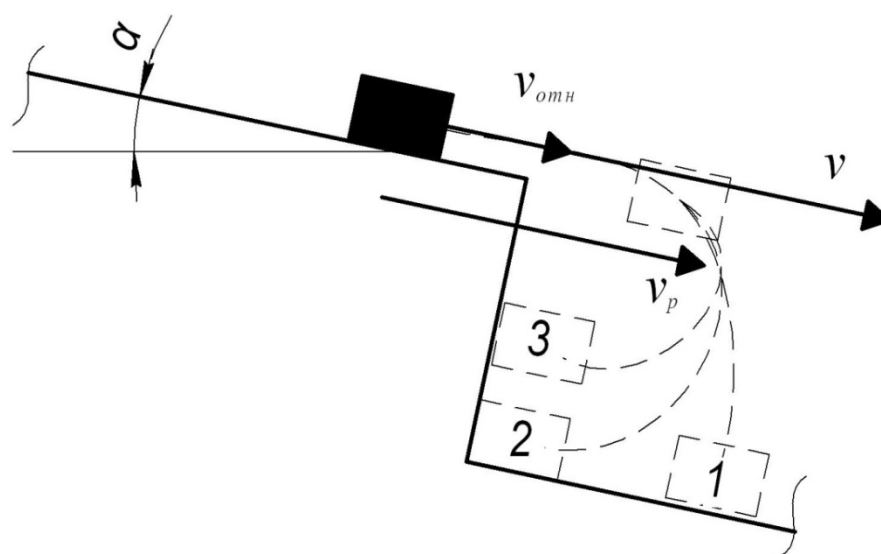


Рисунок 4 – Сход частицы зернового вороха с уступа питающего лотка

Кроме того, отрицательный знак у относительной координаты приземления означает, что частица во время полета подхватывается фронтальной частью уступа (рисунок 4 (положение 3))

Результаты математического моделирования позволяют сделать вывод, что наличие уступов на скатной поверхности питающего лотка увеличивает диапазон скоростей частиц зернового вороха, подаваемых в пневмоканал, а следовательно и повышает равномерность распределения материала по глубине аспирационного канала.

В третьем разделе «Программа и методика экспериментальных исследований» представлены программа, методики проведения и обработки результатов экспериментальных исследований.

Описана экспериментальная установка (рисунок 5), которая имитирует работу универсальной двухаспирационной зерноочистительной машины и состоит из аспирационной системы с двумя воздушными очистками, дорешетной и послерешетной; загрузочного устройства; радиального вентилятора и решетного стана.

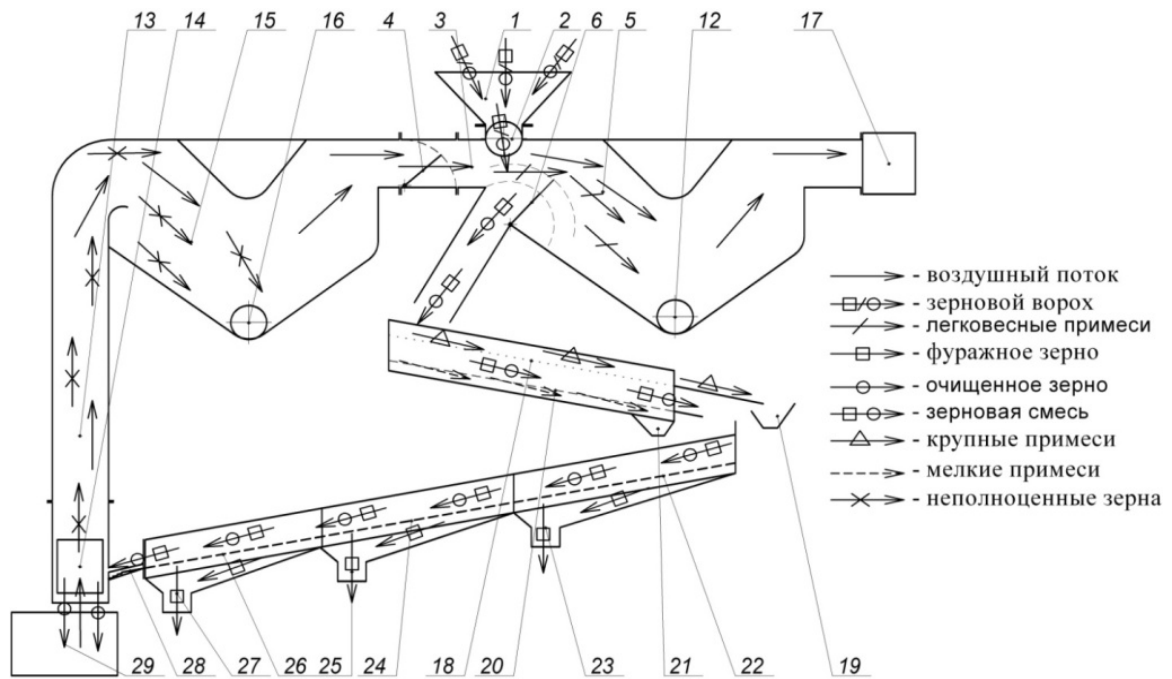


Рисунок 5 – Технологическая схема работы лабораторной установки воздушно-решетной зерноочистительной машины: 1-загрузочный бункер; 2- питающая катушка; 3-канал первой аспирации; 4- воздушная заслонка канала первой аспирации; 5 – осадочная камера канала первой аспирации; 6- калибровочная заслонка; 7,12-вывод легковесных примесей ; 8- канал второй аспирации; 9- смотровое окно в зоне сепарации; 10-осадочная камера второй аспирации; 11- загрузочное окно канала второй аспирации; 13- вентилятор воздушной системы; 14- колосовое решето; 15- подсевное решето; 16- сход с колосового решета(крупные примеси); 17- проход с подсевного решета(мелкие примеси); 18- первое сортировальное решето; 19- второе сортировальное решето; 20- третье сортировальное решето; 21- вывод фуражного зерна; 22- питающий лоток; 23- сбор очищенного зерна

Канал послерешетной воздушно-очистки оснащен смотровым окном, которое позволяет производить наблюдение процесса пневмосепарации и производить фото и видео-фиксацию для дальнейшего изучения. Для определения параметров пневмосепарации на вертикальный пневмоканал магнитной площадкой был закреплен прибор Testo 435-3 со встроенным датчиком для измерения дифференциального давления. На изготовленной рамке устанавливалась трубка Пито, которая соединялась силиконовыми шлангами с измерителем Testo. Для определения скорости воздушного потока, динамического и статического напора в пневмоканале трубка Пито вводилась в зону пневмосепарирования (рисунок 6).

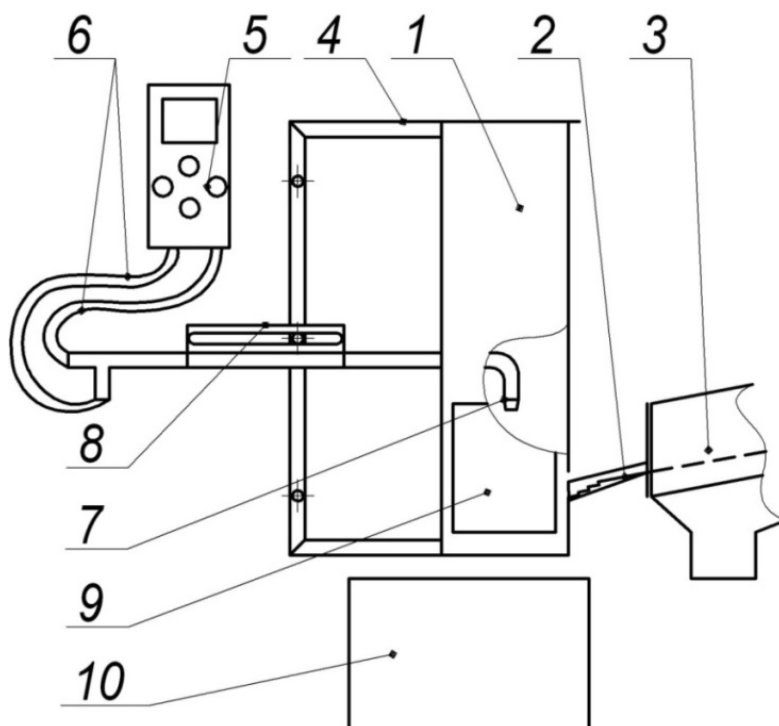


Рисунок 6 – Схема нижней части канала послерешетной очистки с устройством для измерения характеристик воздушного потока: 1 – вертикальный пневмоканал; 2 – питающий лоток; 3 – решетный стан; 4 – удерживающая рамка; 5 – прибор для измерения скорости воздушного потока; 6 – силиконовые шланги; 7 – трубка Пито; 8 – фиксатор трубки Пито; 9 – смотровое окно; 10 – бункер для сбора обработанного материала

Для определения и оценки равномерности распределения зернового вороха по глубине пневмосепарирующего канала был изготовлен пробоотборник. Он выполнен из листового железа и имеет сварную конструкцию. Он представляет собой металлический короб без верхней стенки. Ширина короба равна глубине пневмоканала. Он разделен на 6 равных частей по глубине перегородками. Дно пробоотборника выполнено заодно с одной из стоек. Такое решение позволяет разгружать поочередно по одному отсеку.

Оценку равномерности распределения зернового вороха производили путем установки пробоотборника в нижней части пневмосепарирующего канала на определенный промежуток времени во время пневмоканала зерновым ворохом. После чего пробоотборник извлекался, и производилось взвешивание зерна из каждого отсека.

Определение аэродинамических и размерных характеристик компонентов зерновой смеси проводили на лабораторном парусном классификаторе и рассева лабораторном марки РЛ-1 соответственно.

Статистическую обработку результатов экспериментов и построение графических зависимостей проводили с использованием пакетов прикладных программ STATISTICA 10., Microsoft Excel 2010, Mathcad 14 и других.

Четвертый раздел «Экспериментальное исследование системы послерешетной пневмосепарации двухаспирационной зерноочистительной машины» содержит результаты экспериментальных исследований и их анализ.

Экспериментальная часть работы включает в себя: исследование работы вертикального пневмоканала прямоугольного сечения; определение рациональных параметров разработанного питающего устройства; исследование равномерности распределения зернового вороха по глубине пневмосепарирующего канала; исследование влияния подачи зернового вороха на сопротивление пневмосистемы зерноочистительной машины.

Экспериментальные исследования проводились на комбайновом ворохе озимой пшеницы сорта «Крystal». Основная масса зерна, а это более 80%, содержащегося в ворохе имеет толщину 2,5-2,9 мм и скорость витания выше 9 м/с. Содержание сорных примесей в ворохе не более 0,2%, дробленого зерна около 7%.

В результате исследования распределения скоростей воздушного потока в вертикальном пневмоканале была установлена необходимость применения герметизирующей заслонки загрузочного окна. Заслонка позволяет стабилизировать поля скоростей воздушных масс в пневмосепарирующем канале. Важно отметить что, исключая подсос воздуха через загрузочное окно, скорость воздушного потока в плоскости, которая располагается ниже загрузки, повысилась. Это будет способствовать повышению качества пневмосепарации.

При определении рациональных параметров ступенчатой поверхности исследовали траектории полета частиц сходящих со скатных поверхностей имеющих различную конфигурацию. Анализ результатов показал, что наличие ступеней на скатной поверхности питающего лотка, который осуществляет возвратно-поступательное движение, приводит к изменению траектории полета частиц в сторону увеличения дальности полета. Также было определено, что на изменение траектории схода зернового вороха наибольшее влияние оказывает высота ступеней, нежели их количество.

Наибольшее изменение траектории полета получили у лотка с тремя ступенями высотой 4 мм. В сравнении с контрольным образцом, дальность полета увеличилась почти на 40 мм, при высоте падения 250 мм.

На основании этих исследований запатентовано устройство для послерешетной пневмосепарации зернового вороха Пат. РФ №166514.

На рисунке 7 представлены результаты сравнения работы разработанного питателя с контрольным лотком.

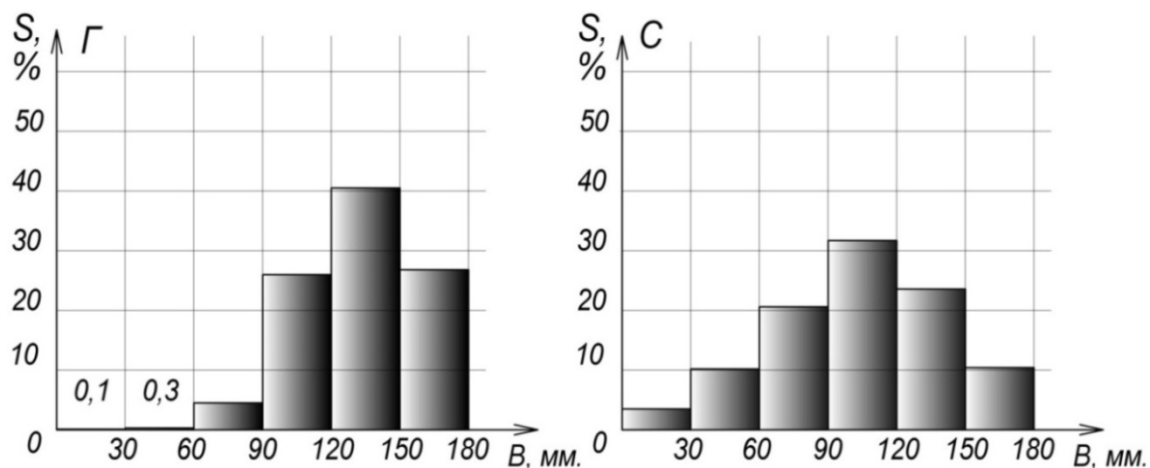


Рисунок 7 – Распределение зернового вороха по глубине пневмосепарирующего канала без воздушного потока: Г – при сходе с гладкой скатной поверхности; С – при сходе с лотка разработанной конструкции, имеющим уступы высотой 4 мм

Проведенный опыт сравнения работы разработанного и контрольного питателей без включения вентилятора подтвердил эффективность ступенчатой поверхности, так как она обеспечила более равномерное распределение зернового вороха по глубине канала послерешетной воздушной очистки.

Результаты исследования по определению равномерности распределения зернового вороха по глубине пневмоканала при загрузке с различных поверхностей при воздействии восходящего воздушного потока скоростью до 10 м/с. представлены на рисунке 8.

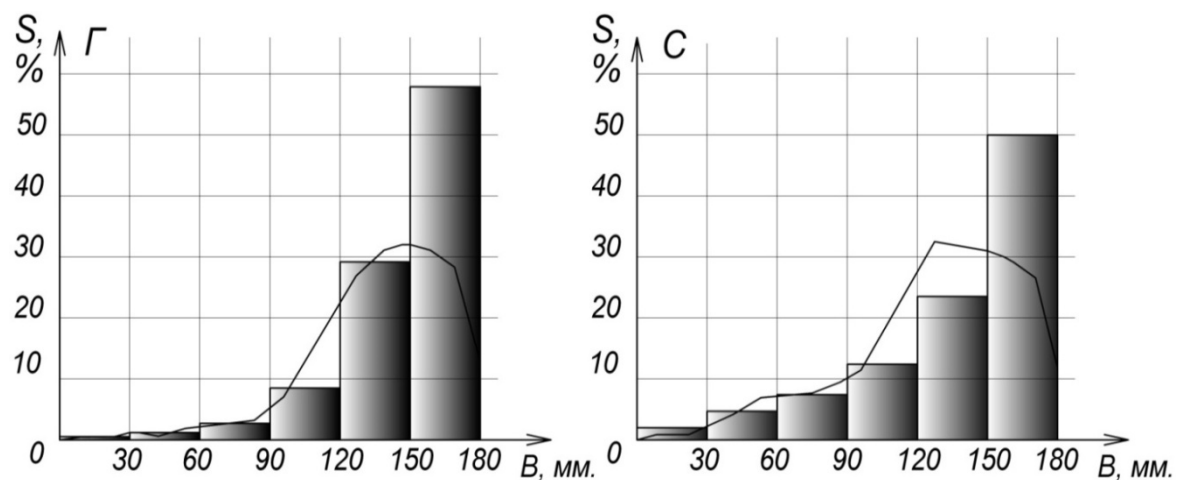


Рисунок 8 – Распределение зернового вороха по глубине пневмосепарирующего канала при воздействии воздушным потоком: Г – при сходе с гладкой скатной поверхности; С – при сходе с лотка разработанной конструкции, имеющим уступы высотой 4 мм; ■ – экспериментальное распределение; — - теоретическое распределение

На рисунке хорошо различимо, что на диаграмме под буквой «С» материал распределен более равномерно, чем на диаграмме под буквой «Г». Проанализировав получившиеся результаты. На основе анализа полученных результатов был сделан вывод, что равномерность распределения ступенчатым лотком увеличилась на величину около 15% от мас-

сы, поданной в пневмоканал по сравнению с гладким питателем. Проведенные экспериментальные исследования по распределению зернового вороха по глубине пневмоканала подтверждают результаты математического моделирования, описанного в теоретических исследованиях, и представлены на рисунке 8 в виде линии.

Характер распределения, полученный в результате моделирования, практически совпадает с экспериментальными данными. Единственным значимым отличием является положение пика концентрации материала. Это связано с тем, что при моделировании полета частицы зернового вороха в случае, когда частица достигала дальней стенки канала, мы учитывали коэффициент отражения и принимали его в диапазоне от 0,5 до 0,65.

Для оценки возможности сокращения энергозатрат при использовании разработанного устройства, было произведено исследование изменения сопротивления подаваемого зернового вороха в канале после решетной пневмосепарации в зависимости от величины зерновой нагрузки на пневмоканал при загрузке сравниваемыми питателями. Для проведения исследования были использованы контрольная поверхность, имеющая гладкую фактуру и разработанная поверхность, поверхность, которая имеет на конце три уступа высотой 4 мм и шагом 25 мм. Полученные результаты отображают графические зависимости на рисунке 9.

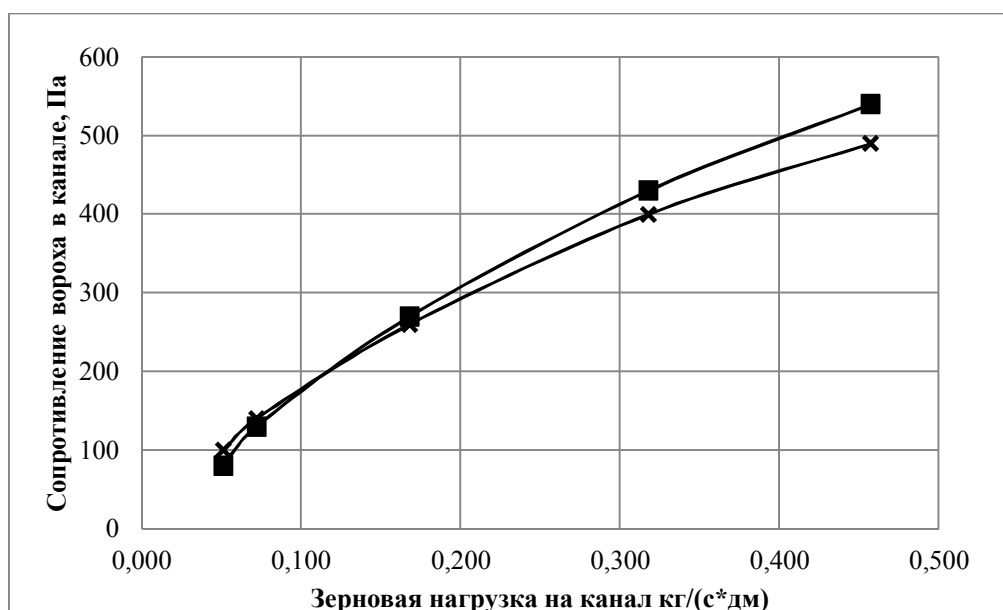


Рисунок 9 – Зависимость изменения сопротивления зернового вороха в пневмоканале от величины зерновой нагрузки на пневмоканал: ■ – сопротивление вороха при загрузке питателем с гладкой поверхностью; × - сопротивление вороха при загрузке питателем со ступенчатой скатной поверхностью.

Из графика следует, что сопротивление зернового вороха неизменно растет с увеличением загрузки пневмосепарирующего канала. При зерновой нагрузке свыше 0,15 кг/(дм·с) сопротивление вороха, по-

ступающего в пневмоканал по ступенчатой поверхности предлагаемого питателя, становится несколько ниже, чем при подаче зерна питающим лотком с гладкой поверхностью. С увеличением подачи материала эта разница возрастает.

При исследовании влияния величины удельной зерновой нагрузки на равномерность распределения зерновой смеси в зоне пневмосортирования, определяли коэффициент вариации распределения зернового вороха по глубине пневмоканла при каждой удельной зерновой нагрузки.

В результате этих исследований было установлено, что при увеличении удельной зерновой нагрузки равномерность распределения в обоих случаях снижается. Причем, при подаче вороха в пневмосепарирующий канал ступенчатой поверхностью предложенного питающего лотка равномерность снижается в меньшей степени, чем при подаче питателем с гладкой поверхностью.

Можно отметить тот факт, что при низкой производительности коэффициент вариации распределения вороха в экспериментальном образце устройства в 1,75 раза, а при высокой производительности 1,61 раза ниже, чем в контрольном варианте устройства.

Результаты исследования влияния удельной зерновой нагрузки на равномерность распределения вороха по глубине пневмоканала представлены в виде графика на рисунке 10. Данные зависимости наглядно показывают изменение равномерности распределения зернового вороха по глубине пневмоканала.

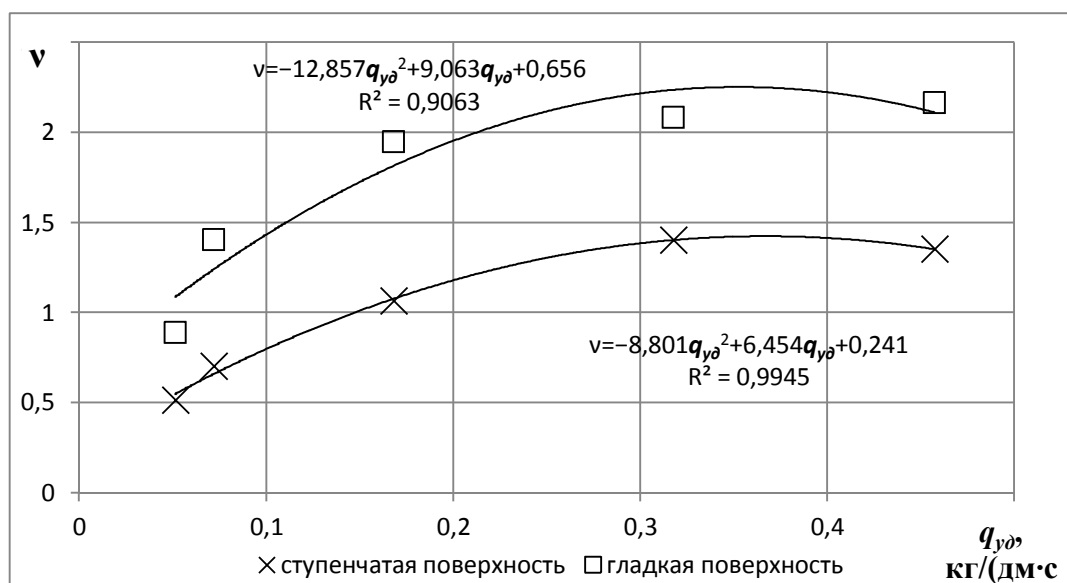


Рисунок 10 – Зависимость коэффициента вариации равномерности распределения вороха по глубине пневмосепарирующего канала от удельной зерновой нагрузки

Применение предложенного технического решения в послерешетной аспирации позволило повысить качество работы лабораторной установки, что подтверждают результаты исследования представленные на рисунке 11.

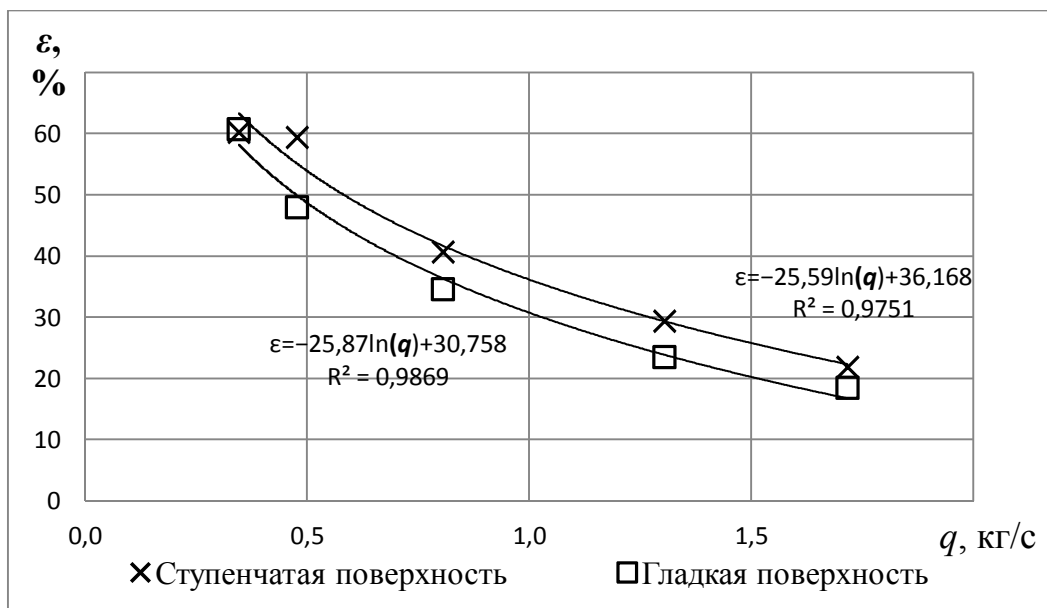


Рисунок 11 – Зависимость полноты выделения зерноочистительной установкой от производительности

Из графиков, представленных на рисунке 11 видно, что не зависимо от производительности полнота выделения компонентов выше, при подаче обрабатываемого материала в канал послерешетной аспирации питателем со ступенчатой поверхностью. Производительность установки с предложенным техническим решением при одинаковых значениях полноты выделения производительность установки выросла практически на 21% во время работы с предложенным техническим решением.

Применение питающего лотка со ступенчатой скатной поверхностью позволяет повысить равномерность загрузки послерешетной аспирации двухаспирационной зерноочистительной машины, вследствие чего можно добиться увеличения производительности зерноочистительной машины при необходимой полноте выделения более чем на 20%.

В пятом разделе «Экономическая оценка эффективности применения подачи зернового вороха в пневмосепарирующий канал сходом со ступенчатой поверхности» приведено экономическое обоснование целесообразности применения предлагаемого технического решения в системе послерешетной аспирации двухаспирационных воздушно-решетных зерноочистительных машинах.

Как показал расчет экономической эффективности, применение предложенного способа подачи обрабатываемого вороха в канал послерешетной воздушной очистки является целесообразным. Расчетный годовой экономический эффект, от внедрения этого способа, составил 59464,4 рублей. Размер экономического эффекта, который можно накопить за 9 лет эксплуатации, составит 1381244 рублей, а годовой коэффициент эффективности капитальных вложений – выше ставки банковского процента (($E_t = 0,44$) > ($NS = 0,14$)).

Экономическая выгода использования разработанного устройства достигается тем, что при подаче зернового вороха ступенчатым лотком в пневмоканал за счет равномерной его загрузки по сечению увеличивается полнота разделения без дополнительных энергозатрат по сравнению с аналогами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Проведенный анализ работ по зерноочистке позволил установить, что применение питающего устройства, обеспечивающего равномерное распределение зернового вороха по глубине вертикального пневмосепарирующего канала, позволяет повысить эффективность пневмосепарации на 15...20 %.

2. В результате теоретических исследований было установлено, что зерновой ворох, подаваемый в канал послерешетной аспирации сходом с колеблющегося решета, имеет разброс начальных скоростей ввода частиц от 0,3 до 0,5 м/с, что недостаточно для обеспечения равномерной загрузки пневмоканала по глубине. Установлено, что для обеспечения равномерного распределения обрабатываемого вороха по глубине канала необходимо подавать его с разбросом начальных скоростей от 0,1 до 0,6 м/с.

3. Теоретические исследования и математическое моделирование показали, что равномерного распределения зернового вороха по глубине канала послерешетной аспирации можно добиться, подавая ворох ступенчатым питающим лотком, колеблющимся в режиме решетного стана.

4. По результатам моделирования и проведенных экспериментальных исследований было разработано и запатентовано «Устройство для послерешетной пневмосепарации зернового вороха» (патент РФ № 166514). Эмпирически определены рациональные параметры ступенчатой поверхности разработанного питателя для вороха озимой пшеницы: высота ступени 4 мм, ширина ступени 25 мм, и угол $90 \pm 10^\circ$.

5. Экспериментальные исследования работы канала со ступенчатым питателем подтвердили теоретические предпосылки о равномерности распределения зернового вороха по глубине аспирационного канала, которые выявили уменьшение тенденции к сгуживанию материала у дальней стенки канала по сравнению с контролем, что положительно отразилось на всех показателях работы установки.

6. Использование разработанного устройства снижает сопротивление канала послерешетной воздушной очистки до 9 % , увеличивает равномерность распределения зернового вороха по глубине пневмоканала на 15 % и повышает производительность зерноочистительной установки на 21 % при равной полноте выделения.

7. Расчет экономической эффективности показал, что применение

предложенного способа подачи обрабатываемого вороха в канал послерешетной воздушной очистки является целесообразным. Расчетный годовой экономический эффект от внедрения этого способа составил 59464,4 рублей. Размер экономического эффекта, который можно накопить за 9 лет эксплуатации, составит 1381244 рублей, а годовой коэффициент эффективности капитальных вложений – выше ставки банковского процента (($E_t = 0,44$) > ($NS = 0,14$)).

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в рецензируемых научных изданиях

1. Обоснование размеров осадочных камер двухаспирационной пневмосистемы зерноочистительной машины / А.М. Гиевский, В.И. Оробинский, А.В. Чернышов, И.В. Баскаков, Д.С. Тарабрин // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2016. – Вып. 4 (51). – С. 87-95.

2. Тарабрин, Д.С. Совершенствование процесса послерешетной пневмосепарации зернового вороха в зерноочистительных машинах // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2017. – Вып. 1 (52). – С. 102-109.

3. Обоснование принципиальной схемы воздушно-решетного сепаратора семян / А.П. Тарасенко, В.И. Оробинский, А.М. Гиевский, Д.С. Тарабрин, М.С. Анненков // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2017. – Вып. 4 (54). – С. 94-101.

Патенты

4. Пат. №166514 Российская федерация, МПК, В 07 В 4/00, В 07 В 11/06. Устройство для послерешетной пневмосепарации зернового вороха / Д.С. Тарабрин А.П. Тарасенко, А.В. Лунев; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ. – № 2016108350/03; заявл. 09.03.2016; опубл. 27.11.2016. – Бюл. № 33.

Статьи в сборниках научных трудов и материалах конференций

5. Тарабрин, Д.С. Конструкции вертикальных пневмосепарирующих каналов / Д.С. Тарабрин // Инновационные направления развития технологий и технических средств механизации сельского хозяйства: материалы международной научно-практической конференции, посвященной 100-летию кафедры сельскохозяйственных машин агроинженерного факультета Воронежского государственного аграрного университета имени императора Петра I (Россия, Воронеж, 25 декабря 2015 г.). – Ч. I. – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2015. – С. 284-289.

6. Тарабрин, Д.С. Направление совершенствования аспирационных систем зерноочистительных машин / Д.С. Тарабрин, А.П. Тарасенко // Агро-промышленный комплекс на рубеже веков: материалы междуна-

родной научно-практической конференции, посвященной 85-летию агроинженерного факультета (Россия, Воронеж, 2015). – Ч. I. – Воронеж: ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», 2015. – С. 22-26.

7. Тарабрин Д.С. Оценка антропогенного шума. / Д.С. Тарабрин, М.Э. Мерчалова, С.В. Мерчалов // Молодежный вектор развития аграрной науки: материалы 65-й студенческой научной конференции. – Ч. I. – Воронеж: ФГБОУ ВПО Воронежский ГАУ, 2014. – С. 127-129.

8. Тарабрин Д.С. Распределение зернового вороха в вертикальном пневмосепарирующем канале/ Д.С. Тарабрин, А.П. Тарасенко, А.М. Гиевский // Наука вчера, сегодня, завтра: материалы научно-практической конференции. – Воронеж: ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», 2016 – С. 102-108.

9. Тарабрин Д.С. Расслоение в псевдооживленном слое. / Д.С. Тарабрин, А.П. Тарасенко // Молодежный вектор развития аграрной науки: материалы 65-й студенческой научной конференции. – Ч. I. – Воронеж: ФГБОУ ВПО Воронежский ГАУ, 2014. – С. 52-54.

10. Тарабрин Д.С. Снижение потерь гречихи сходом с колосового решета. / Д.С. Тарабрин, А.П. Тарасенко, Р.В. Полковников // Молодежный вектор развития аграрной науки: материалы 64-й студенческой научной конференции. – Ч. I. – Воронеж: ФГБОУ ВПО Воронежский ГАУ, 2013. – С. 178-181.

11. Тарабрин Д.С. Opportunity to improve the efficiency of aftersieve pneumatic separation. / Д.С. Тарабрин, А.П. Тарасенко // Актуальные проблемы аграрной науки, производства и образования: материалы международной заочной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов на иностранных языках (Россия, Воронеж, апрель 2015 г.) – Воронеж: ФГБОУ ВПО Воронежский ГАУ, 2015. – С. 129-133.

Просим принять участие в работе диссертационного совета Д 220.010.04 или выслать Ваш отзыв на автореферат в двух экземплярах с заверенными подписями по адресу: 394087, г. Воронеж, ул. Тимирязева, д. 13, ученому секретарю. Телефон: (473) 224-39-39, 8-900-924-5638, e-mail: et@agroeng.vsau.ru.

Подписано в печать 09.02.2018г. Формат 60x80¹/₁₆. Бумага кн.-журн.
П.л. 1,0. Гарнитура Таймс. Тираж 100 экз. Заказ №17323.
Типография ФГБОУ ВО ВГАУ 394087, Воронеж, ул. Мичурина, 1.