

На правах рукописи



Сухов Алексей Владимирович

**СОРТИРОВАНИЕ ЗЕРНА В КОНИЧЕСКОМ
ПНЕВМОСЕПАРАТОРЕ**

Специальность 05.20.01 – Технологии и средства
механизации сельского хозяйства

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Новосибирск - 2012

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Омский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина».

Научный руководитель: **А.В. Черняков,**
кандидат технических наук, доцент
кафедры Тракторов и автомобилей,
сельскохозяйственных машин,
Тарский филиал ФГБОУ ВПО
«Омский государственный аграрный
университет им. П.А. Столыпина»

Официальные оппоненты: **В.А. Домрачев,**
доктор технических наук, главный научный
сотрудник ГНУ «Сибирский научно-
исследовательский институт сельского
хозяйства» Россельхозакадемии

П.А. Патрин,
кандидат технических наук, старший научный
сотрудник кафедры Механизации
животноводства и переработки с.-х. продукции
ФГБОУ ВПО «Новосибирский
государственный аграрный университет»

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»

Защита состоится 26 апреля 2012 года в 10 ч. 00 мин. на заседании диссертационного совета № ДМ 006.059.01 при ГНУ «Сибирский институт механизации и электрификации сельского хозяйства» в ФГБОУ ВПО «Новосибирский государственный аграрный университет» по адресу: 630039, г. Новосибирск, ул. Добролюбова, 160.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ГНУ СибИМЭ Россельхозакадемии www.sibime-rashn.ru и на сайте ВАК Минобрнауки России vak2.ed.gov.ru

Автореферат разослан 23 марта 2012 года.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные гербовой печатью, просим направлять в адрес диссертационного совета: 630501, Новосибирская обл., п. Краснообск – 1, а/я 460 при ГНУ СибИМЭ Россельхозакадемии, телефон (факс): 8 (383) 348-12-09., e-mail: sibime@ngs.ru

Учёный секретарь
диссертационного совета,
доктор технических наук



В.С. Нестяк

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В последние годы сохраняется тенденция стабилизации площади посевов и валового сбора зерна. К 2015 году производство зерна в Северо-Западном регионе России может быть восстановлено до уровня 8...10 млн. т.

В производстве зерна одно из ключевых мест занимает послеуборочная обработка, поэтому внедрение высокоэффективных зерноочистительных машин имеет важное народнохозяйственное значение.

Одной из сложных и ответственных задач послеуборочной обработки является очистка и сортирование зерна.

На протяжении десятков лет учеными многих стран выдвигаются различные способы сортирования зерна. В настоящее время предлагаются принципиально новые сепараторы, лишенные недостатков старых и совершенствуются технологии очистки зерна.

Одним из перспективных решений, позволяющих повысить эффективность пневматического сортирования зерна, является применение конического пневмосепаратора.

Цель исследования. Повышение эффективности пневматического сортирования зерна путем применения закрученного воздушного потока в коническом сепараторе.

Объект исследования. Технологический процесс сортирования зерна коническим воздушным сепаратором.

Предмет исследования. Закономерности процесса взаимодействия зерна с рабочими поверхностями и воздушным потоком конического воздушного сепаратора.

Научная гипотеза. Повышение эффективности пневматического сортирования зерна может быть достигнуто путем применения конического сепаратора с закрученным воздушным потоком.

Методика исследований. При проведении экспериментальных исследований использованы стандартные и частные методики с применением физического и математического моделирования.

Научная новизна. Обоснована конструктивно - технологическая схема конического сепаратора зерна с закрученным воздушным потоком.

Установлены закономерности изменения полноты разделения от конструктивно-технологических параметров конического сепаратора зерна с закрученным воздушным потоком.

Получены модели регрессии полноты разделения, потерь основной культуры и энергозатрат.

Достоверность результатов работы подтверждена экспериментальными исследованиями, положительными результатами испытаний и эксплуатации опытного образца конического воздушного сепаратора.

Практическая ценность и реализация результатов исследований. По результатам проведенных исследований определены рациональные конструктивно-технологические параметры сепаратора и создан конический воздушный сепаратор, работа которого обеспечивает высокое качество сортирования при допустимых потерях семенного материала.

На основе выполненных исследований определены параметры и режимы работы конического воздушного сепаратора зерна с закрученным воздушным потоком.

Реализация результатов работы. Производственная проверка лабораторно-производственной установки была проведена в хозяйстве ООО «ОПХ им. Фрунзе» Тарского района Омской области. Полученные результаты исследования используются в учебном процессе на кафедре «Т и А, СХМ» ТФ ФГБОУ ВПО ОмГАУ им. П. А. Столыпина.

Апробация работы. Основные положения работы доложены, обсуждены и одобрены на Международной научной конференции СибНИИСХ Россельхозакадемии (2010 г.), конференциях профессорско-преподавательского состава и аспирантов Омского ГАУ (2009... 2011 гг.).

По материалам исследований опубликовано 12 научных статей, в том числе три статьи в издании, реферируемом ВАК и получен патент РФ на полезную модель.

Исследования проводились в период с 2007 по 2011 годы в соответствии с планами НИР кафедры «Тракторы и автомобили, сельскохозяйственные машины и механизация животноводства, ремонт машин» ТФ ФГОУ ВПО ОмГАУ в рамках государственной темы № 01201000273 - «Изыскание путей увеличения качественных и количественных показателей работы зерноочистительных машин».

На защиту выносятся следующие положения:

- Конструктивно - технологическая схема конического сепаратора зерна с закрученным воздушным потоком;
- Закономерности изменения полноты разделения от конструктивно-технологических параметров конического сепаратора зерна с закрученным воздушным потоком;
- Рациональные конструктивные параметры конического сепаратора;
- Результаты испытаний опытного образца машины специальной очистки зерна.

Структура и объем работы: диссертация состоит из введения, пяти глав, общих выводов, библиографического списка, включающего 127 наименований, 8 приложений и содержит 125 страниц, в том числе 25 рисунков и 25 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Введение. Во введении приведена актуальность и обоснование направления исследования, изложены научные положения, выносимые на защиту, и их основные позиции.

В первой главе «Состояние вопроса и задачи исследования» приведены основные требования к очистке и сортировке зерна, проведён анализ работы перспективных конструкций сепараторов зерна и анализ способов очистки.

Теоретические и экспериментальные исследования пневмосепарации зерновых смесей проводили А.В. Алешкин, В.Л. Андреев, В.И. Анискин, И.П. Безручкин, М.А. Борискин, А.И. Бурков, Н.М. Бушуев, В.Ф. Веденьев, Е.Ф. Ветров, Н.Г. Гладков, В.М. Халанский и др. Ими установлено, что основными факторами, влияющими на эффективность сепарации, являются: аэродинамические свойства компонентов зерновой смеси, удельная подача и условия ввода зерновой смеси, количественные и качественные характеристики воздушного потока, форма и конструктивные особенности каналов.

В.В. Гортинский, А.Б. Демский, М.А. Борискин отмечают, что наиболее полно требованиям эффективной очистки и рациональной компоновки машин отвечают каналы кольцевой и конической формы.

Большинство отечественных и зарубежных исследователей: И.П. Безручкин, А.И. Бурков, Н.П. Сычугов, Н.М. Бушуев, В.В. Гортинский, В.Ф. Веденьев, А.Б. Демский, А.К. Туров и многие др. отдают предпочтение способу разделения зерновой смеси в вертикальном воздушном потоке, вследствие более длительного его воздействия на зерновую смесь.

В результате анализа технических решений сепараторов нами было установлено, что одним из перспективных способов очистки является сепарация с использованием потока воздуха. Однако, пневматические сепараторы в настоящее время не получили широкого распространения из-за ряда недостатков конструктивного и технологического характера. Основным недостатком современных конструкций – это низкое качество очистки и сортировки зерна.

Исходя из вышеизложенного и в соответствии с поставленной целью, поставлены следующие задачи исследования:

- Установить закономерности процесса сортирования зерна коническим воздушным сепаратором с закрученным воздушным потоком;
- Обосновать параметры и режимы работы конического воздушного сепаратора;
- Определить показатели работы конического воздушного сепаратора и экономическую эффективность его применения.

Во второй главе «Теоретические исследования процесса сортирования зерна на коническом воздушном сепараторе с закрученным воздушным потоком» предложена и теоретически обоснована технологическая схема работы пневмосепаратора для сортирования зерна (рисунок 5).

Качество работы конического пневмосепаратора зависит от правильности определения конструктивных параметров и выбора режимов его работы.

В теоретическом исследовании движения зерна в рабочей зоне пневмосепаратора учтены следующие варьируемые величины (рисунок 1):

h – высота нижней части конуса, м;

H – суммарная высота верхней и нижней частей конуса, м;

d – диаметр верхнего основания нижней части конуса, м;

D – диаметр нижнего основания верхней части конуса, м;

q – количество зерна, подаваемого в рабочую камеру конуса, кг/с;

C_2 – скорость воздушного потока подающегося вентилятором м/с;

Q – количество воздуха подаваемое вентилятором, м³/ч;

l – высота подачи воздушного потока относительно нижнего основания конуса;

ψ – угол наклона образующей конуса к горизонту, $\psi = 90^\circ - \theta/2$, °.

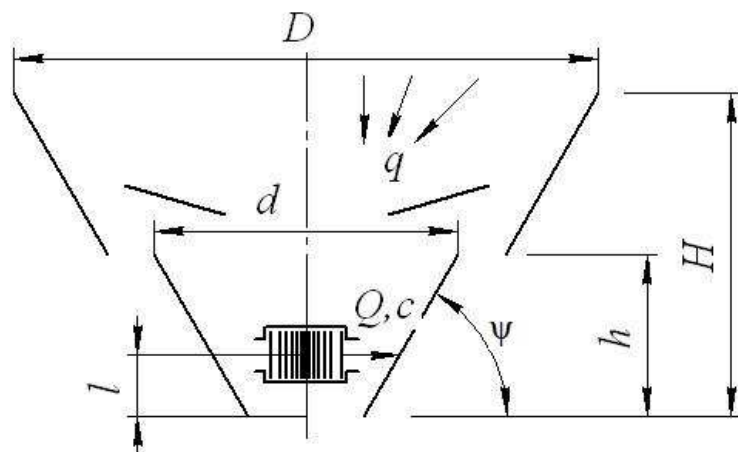


Рисунок 1 – Схема определения варьируемых параметров сепаратора

Исследования движения зерна осуществлялись с учетом изменения условий его движения в различных зонах пневмосепаратора. Для качественного разделения необходимо, чтобы выполнялось условие:

$$A_L < A_C < A_T, \quad (1)$$

$$A_C - A_L = A_T - A_C, \quad (2)$$

$$A_L = \frac{v_L}{C}; \quad A_C = \frac{v_C}{C}; \quad A_T = \frac{v_T}{C};$$

где v_L, v_C, v_T – средние скорости витания, легких, средних и тяжелых частиц соответственно

Таким образом, принимая v_C за эталон, критерий оптимизации (полноту разделения) с учетом неравенства (1) можно определить как:

$$\xi = \frac{(2 \cdot v_L + v_C + v_T)/3}{C}, \quad (3)$$

где C – является суммой составляющих скоростей струи в момент её отрыва,

$$C = \sqrt{C_X^2 + C_Y^2},$$

C_X – находим из выражения (3) с учетом, что $X_m = h-l$:

$$C_X = \frac{C_2 \cdot K \cdot k \cdot h \sqrt{\frac{Q}{C_2}}}{h-l}. \quad (4)$$

Находим горизонтальную составляющую скорости зерна:

$$C_Y = C_2 \cdot \cos \psi \cdot k. \quad (5)$$

С учетом (3), (4), (5) находим зависимость для определения полноты разделения:

$$\xi = \frac{(2 \cdot v_{Л} + v_C + v_T)/3}{\sqrt{\left(\frac{C_2 \cdot K \cdot k \cdot h \sqrt{\frac{Q}{C_2}}}{h-l} \right)^2 + (C_2 \cdot \cos \psi \cdot k)^2}}. \quad (6)$$

Производительность конического воздушного сепаратора определяем как:

$$W = Q/\Delta t. \quad (7)$$

Время перемещения зерна Δt определяем как:

$$\Delta t = L/V = L/\sqrt{V_X^2 + V_Y^2 + V_Z^2}, \quad (8)$$

где L – длина траектории зерновки,двигающейся по спирали, м;

V_X, V_Y, V_Z - проекции скоростей зерновки, м/с.

Находим высоту поднятия струи с учетом выражения (3), (4) и условия – $X_m = h-l$:

$$Y = \frac{\left(\sqrt{\frac{Q}{C_2}} \cdot 0,0014 \cdot \frac{\Delta t \sqrt{\frac{Q}{C_2}}}{K \cdot C_2^2} \left[\frac{h-l}{\frac{Q}{C_2}} \right]^3 \right)}{\sin(\psi)}. \quad (9)$$

С учетом выражений (4), (5), при условии, что $l = d - h \cdot \cos \psi$ определяем путь, который необходимо пройти сепарируемому зерну, чтобы отсеяться:

$$L = \sqrt{\left[0,0014 \cdot \frac{\Delta t \sqrt{\frac{Q}{C_2}} \cdot C_2 \cdot (h-l)^3}{K \cdot Q^3 \cdot \sin \psi} \right]^2 + \left[\frac{C_2 \cdot K \cdot k \cdot (d - h \cdot \cos \theta) \cdot \sqrt{\frac{Q}{C_2}}}{C_X} \right]^2}. \quad (10)$$

Выразив из формулы (10) C_X , получим:

$$C_x = \sqrt{\left[\frac{C_2 \cdot K \cdot k \cdot (d - l \cos(\psi)) \cdot \sqrt{\frac{Q}{C_2}}}{L} \right]^2 + \left[\frac{K \cdot k \cdot (d - h \cdot \cos(\psi))}{0,0014 \cdot \Delta t \cdot (h - l)^3} \right]^2}. \quad (11)$$

Исходя из найденного выражения для определения необходимой скорости движения зерна вдоль образующей конуса, используя зависимость (10), определяем зависимость критерия оптимизации от геометрических параметров конусного пневмосепаратора и параметров воздушного потока, с учётом, что длина траектории зерновки приближенно равна $L = h/\sin \gamma$, с учетом значения γ , получаем:

$$\xi = \frac{K_P (2 \cdot v_L + v_C + v_T)/3}{\sqrt{\left[\frac{C_2 \cdot K \cdot k \cdot (d - l \cos(\psi)) \cdot \sqrt{\frac{Q}{C_2}} \cdot \left(mg - N \cdot \sin\left(\frac{\psi}{2}\right) \right)}{h \left(\frac{k_c \cdot \pi d_q^2 \cdot \rho_s \cdot V_s^2}{8} - N \cdot f \right)} \right]^2 + \left[\frac{K \cdot k \cdot (d - h \cdot \cos(\psi))}{0,0014 \cdot \Delta t \cdot (h - l)^3} \right]^2}}, \quad (12)$$

где K_P – коэффициент режима работы

Коэффициент потери скорости при изменении потока k , определяем как:

$$k = 1 - \frac{(1 - \cos \psi)}{2}. \quad (13)$$

Коэффициент неравномерности воздушного потока K определён основании опытных данных, с помощью зависимости:

$$K = \cos(\psi) \cdot (4,1096 \cdot \cos(\psi) - 4,1205) + 1,3275. \quad (14)$$

Поправочный коэффициент режима работы сепаратора K_P также определяется опытным путём и зависит от скорости воздушного потока V_B и от подачи зерна q :

$$K_P = \left(-0,6298 + 0,0001 q + 0,2927 V_B - 3,4155 \cdot 10^{-8} \cdot q^2 - 5,0815 \cdot 10^{-6} \cdot q \cdot V_B - 0,0122 V_B^2 \right) \cdot x \left(-37622 \cdot l^2 + 42524 l - 0,3277 \right) \quad (15)$$

С помощью полученной зависимости и с учетом, что $V_s = C_2 \cdot k$ и $K \geq 0,36$ строим поверхности отклика-зависимости критерия оптимизации ξ от искомых параметров (рисунки 2,3).

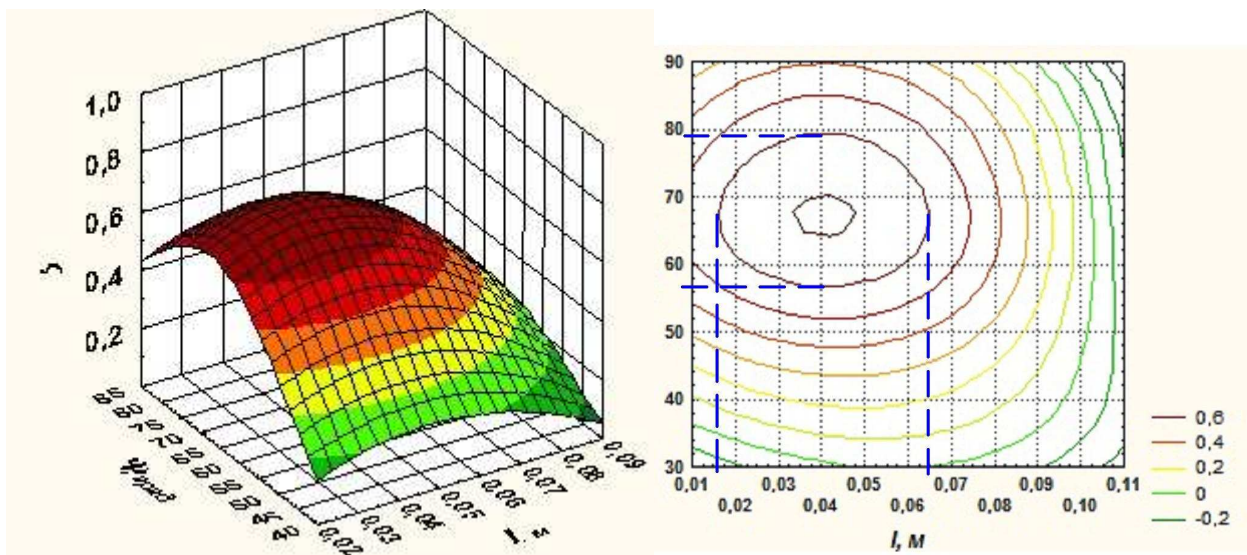


Рисунок 2 – Поверхность отклика и двумерное сечение полноты разделения $\zeta = f(\psi, l)$, $C_2 = 15$ м/с; $q = 1984$ шт/с (250 кг/ч).

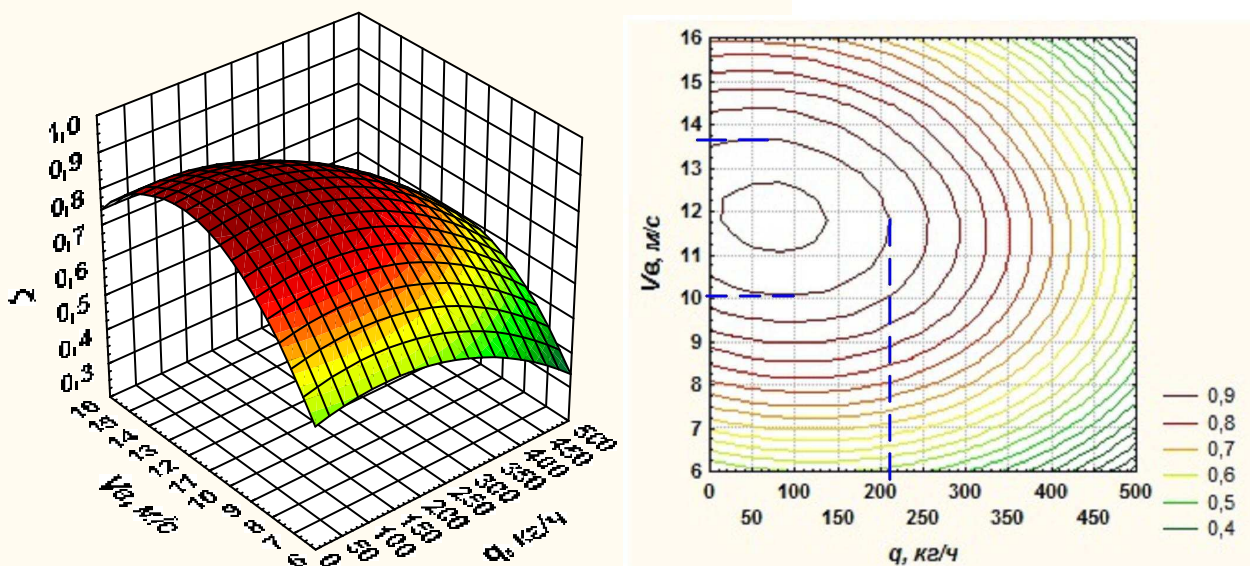


Рисунок 3 – Поверхность отклика и двумерное сечение полноты разделения $\zeta = f(V_B, q)$, $\psi = 60^\circ$; $l = 0,04$ м.

Поверхности отклика - зависимости (рисунки 2,3) показывают, что максимальная полнота разделения достигается при следующих параметрах пневмосепаратора: угол наклона образующей конуса к горизонту $\psi = 60^\circ - 70^\circ$; высота установки вентилятора от его центра до нижнего основания конуса $l = 0,03 \dots 0,05$ м; скорости воздушного потока вдоль образующей конуса $V_B = 10,5 \dots 12$ м/с (при скорости воздуха на выходе вентилятора $C_2 = 13 \dots 16$ м/с), подаче зернового материала $q = 0 \dots 250$ кг/ч ($0 \dots 1984$ шт/с).

При определении необходимой развиваемой мощности вентилятора были использованы законы подобия, которые устанавливают степень изменения аэродинамических параметров вентилятора (подачи Q , давления P , КПД η , мощности N), при изменении частоты вращения колеса – n , диаметра колеса – D_k и плотности перемещаемой среды.

При определении необходимой мощности мы исходили из того, что при номинальной мощности используемого вентилятора (2ДПП62-90-4,1) $N = 90$ Вт, $C_2 = 12$ м/с, $Q = 0,2826$ м³/с (рисунок 4).

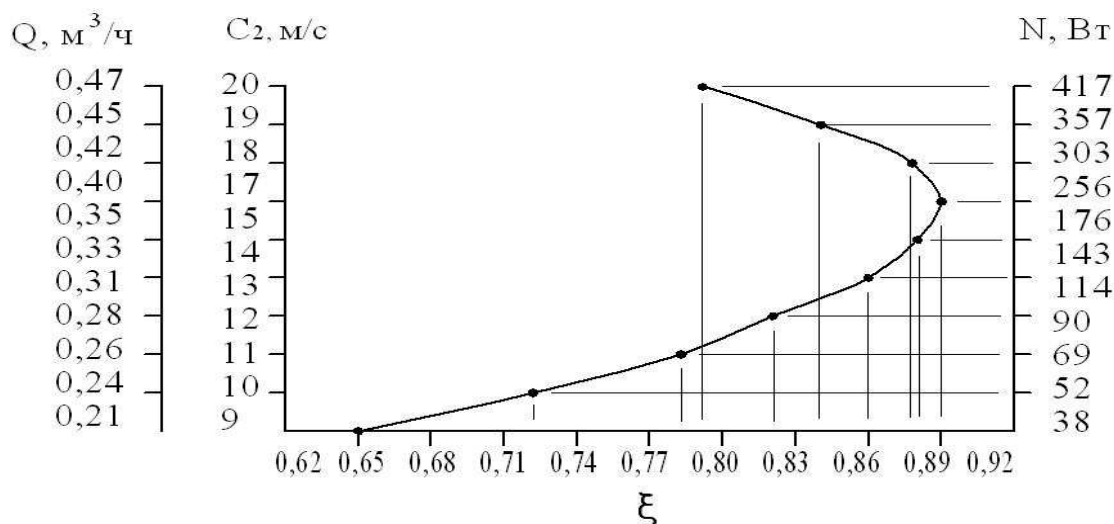


Рисунок 4 – Зависимость полноты разделения ζ от производимой вентилятором мощности, при $\psi = 60^\circ$; $l = 0,04$ м и $q = 150$ кг/ч.

Из графика рисунка 4 видно, что максимальная полнота разделения достигается при мощности вентилятора, не соответствующей максимальному и номинальному режиму вентилятора. Увеличение показателя полноты разделения происходит до значения мощности 256 Вт, при дальнейшем повышении мощности происходит снижение качественных показателей работы пневмосепаратора.

Работа предлагаемой конструкции осуществляется следующим образом. Зерновая смесь подаётся в верхнюю часть сепаратора, выполненного в виде двух concentric усеченных конусов. В нижней части сепаратора создаётся избыточное давление воздуха. При столкновении зерносмеси и воздушного потока происходит процесс сепарации. Лёгкие примеси вместе с воздушным потоком выносятся через верхнюю часть сепаратора. Тяжелая фракция поступает в нижнюю часть сепаратора, скользя вдоль внутренней образующей нижнего конуса. Частицы (зерновки) средней плотности приобретают достаточную скорость, чтобы преодолеть расстояние, ограниченное образующей нижнего конуса. Далее, частицы средней плотности, под действием силы давления воздуха попадают на внутреннюю поверхность верхнего конуса, и, теряя скорость, перемещаются по его образующей, отделяясь от общей массы зерновой смеси.

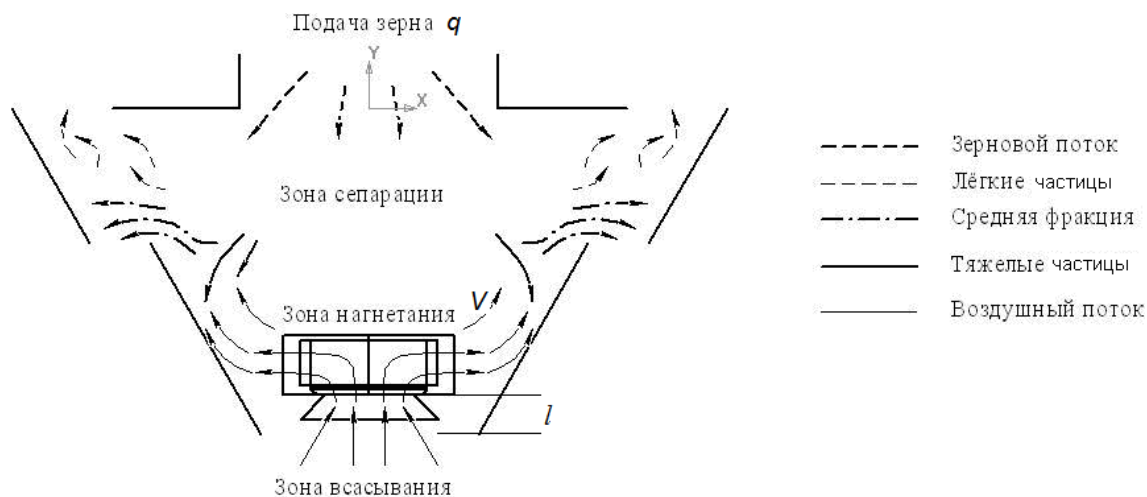


Рисунок 5 – Конструктивно – технологическая схема работы пневмосепаратора.

В третьей главе «Методика экспериментальных исследований» изложены программа, общая и частные методики экспериментальных исследований, с описанием оборудования, применяемого в лабораторных и производственных исследованиях.

Программой исследования предусматривается проведение экспериментов, которые были реализованы в несколько этапов:

- проектирование и изготовление экспериментальной установки для сепарации зерна;
- подготовка оборудования и контрольно-измерительной аппаратуры;
- разработка методик экспериментальных исследований;
- проведение опытов и анализ результатов.

Обработка полученных результатов осуществлялась на ЭВМ с использованием специализированных статистических программ.

При работе конического сепаратора наблюдается изменение скорости воздушного потока в зависимости от угла наклона образующей конуса к горизонту ψ° и удаленности от вентилятора, поэтому нами проводились исследования скорости воздушного потока в четырех точках с четырехкратной повторностью с помощью трубки Пито-Прандтля, или приемника полного давления. При этом изменяли следующие параметры (таблица 1)

Таблица 1 – План эксперимента

№ опыта	Высота установки вентилятора, l	Угол наклона образующей конуса к горизонту, ψ°
1	5	120
2	5	90
3	5	60
4	5	30
5	10	120
6	10	90
7	10	60
8	10	30
9	15	120
10	15	90
11	15	60
12	15	30
13	20	120
14	20	90
15	20	60
16	20	30

Для описания закономерностей полноты разделения коническим сепаратором был проведен планируемый эксперимент. В качестве модели выбран симметричный ортогональный композиционный трехуровневый план (таблица 2). В нем предусмотрено выявить влияние трех факторов на полноту разделения, производительность и затраты энергии.

Таблица 2. – Уровни варьирования факторов

Фактор (натуральное значение)	Подача зерна q , кг/ч	Скорость воздушного потока V , м/с	Высота установки вентилятора l , м
Кодированное обозначение	X_1	X_2	X_3
Основной уровень	350	10	0,05
Интервал варьирования	150	5	0,025
Верхний уровень	500	15	0,075
Нижний уровень	200	5	0,025

За параметр оптимизации была принята - полнота разделения ξ , %. За ограничивающие параметры были приняты:

- потери семенного материала Π , %;
- энергозатраты на привод установки W , кВт·ч/т.

Полнота разделения оценивалась с количественной стороны по следующей зависимости:

$$\xi = \frac{P}{P_0 \cdot a_n}, \quad (16)$$

где P – количество зерна, выделенного сепаратором за время опыта, кг;

P_0 – общее количество зерна, поступившего в сепаратор за время опыта, кг;

a – относительное содержание в рабочем материале.

Потери семенного материала определялись по формуле:

$$\Pi = \frac{m_n}{m_o}, \quad (17)$$

где m_n – масса навески потерянного семенного материала;

m_o – общая масса навески семенного материала, прошедшего через установку за время опыта.

Мощность на привод вентилятора определяли путем замера потребляемой мощности, тока и напряжения питания двигателя. Замеры производили при работающих системах лабораторной установки. Для этих целей использовались амперметр Э 59 и вольтметр М 362, имеющие класс точности 0,5.

Программой экспериментальных исследований предусматривалось проведение производственной проверки предлагаемого сепаратора. Цель производственной проверки – удостовериться в превышении качественных и количественных показателей опытного образца и, при необходимости, усовершенствование его основных конструктивных, кинематических и технологических параметров. Кинематические и технологические параметры работы экспериментального сепаратора были выбраны в пределах рациональных значений, определенных в результате экспериментальных исследований.

В четвертой главе «Экспериментальные исследования» представлены основные результаты лабораторных и производственных экспериментов, дан их анализ.

В результате реализации многофакторного эксперимента получено уравнение регрессии, адекватное на 5%-ном уровне значимости ($F^{\text{табл.}} = 0,1904 > F^{\text{расч.}} = 0,0170$), описывающее процесс изменения качественного показателя работы (полноты разделения) конического воздушного сепаратора в кодированных величинах:

$$y_1 = 0,38 - 0,21 X_1 - 0,09 X_2 - 0,10 X_3 - 0,06 X_1 X_3 + 0,03 X_2 X_3 - 0,04 X_3^2 - 0,02 X_1 X_3^2, \quad (18)$$

где y_1 -полнота разделения.

При пересчете коэффициентов из кодированных в натуральные, получилось уравнение регрессии вида:

$$\xi = 1,117 + 0,001 \cdot q - 0,030 \cdot V - 1,866 \cdot l + 0,005 \cdot q \cdot l + 0,24 \cdot V \cdot l + 10,666 \cdot l^2 - 0,213 \cdot q \cdot l^2 \quad (19)$$

С помощью уравнения построены поверхности отклика - зависимости полноты разделения ξ от подачи зерна q и скорости воздушного потока V (рисунок б).

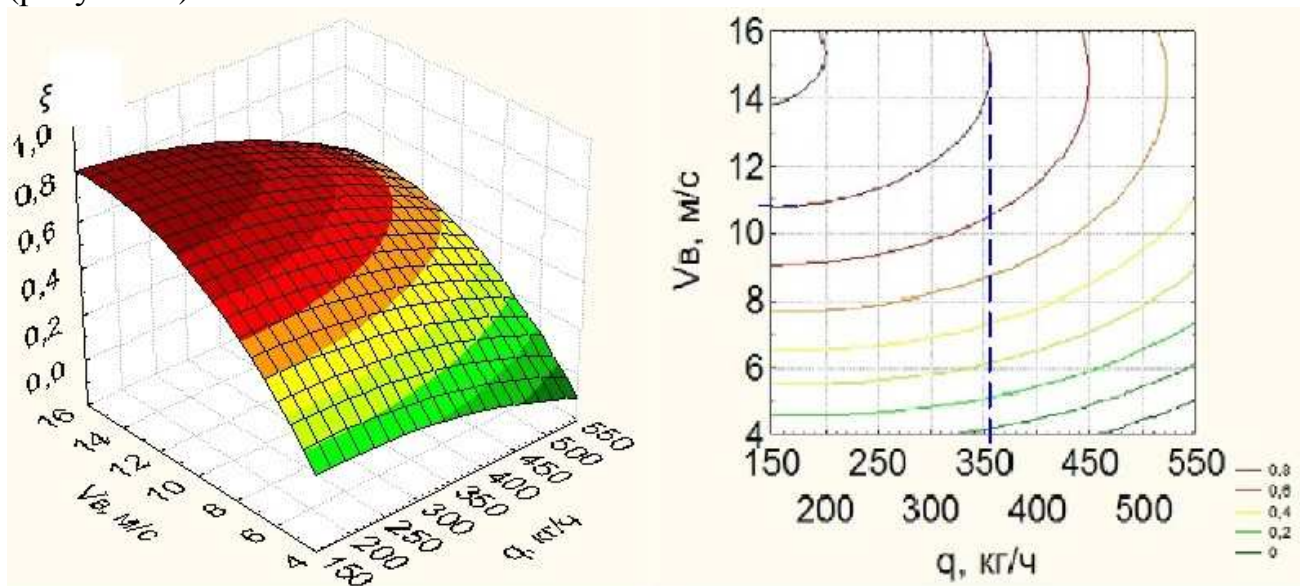


Рисунок б – Поверхность отклика и двумерное сечение полноты разделения ξ в зависимости от подачи семян q и скорости воздушного потока

$$V, \xi = f(V_B, q), l = 0,05 \text{ м.}$$

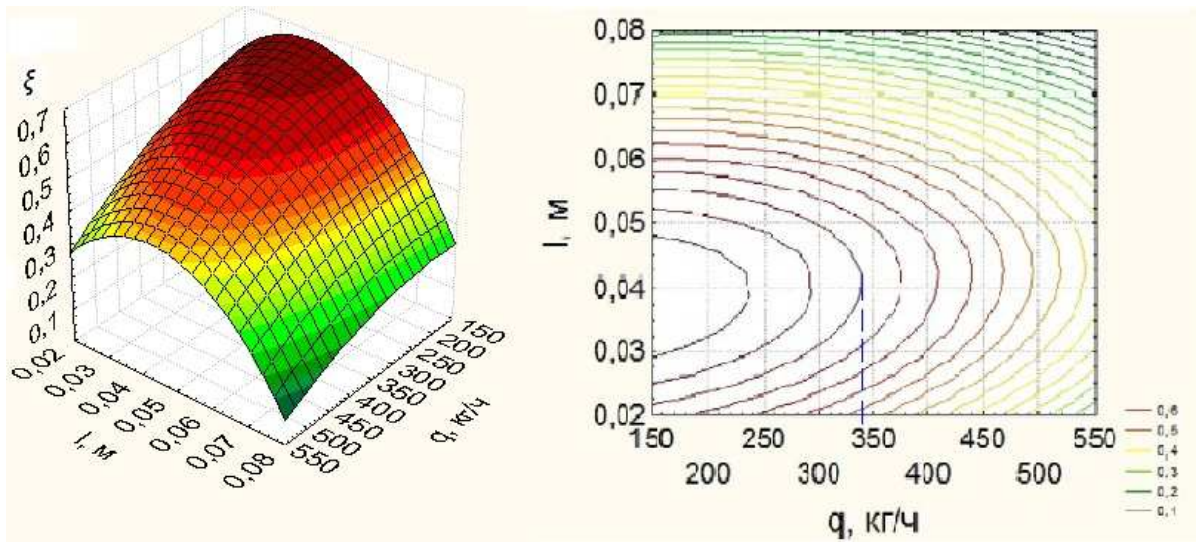


Рисунок 7 – Поверхность отклика и двумерное сечение полноты разделения ξ в зависимости от подачи семян q и высоты установки вентилятора l ,

$$\xi = f(q, l), V_B = 10 \text{ м/с.}$$

При определении потерь семенного материала получено уравнение: сепаратора (потерь зерна в фураж) в кодированных величинах:

$$y_2 = 0,37 - 0,33 X_1 + 0,09 X_1^2 + 0,10 X_2 - 0,06 X_1 X_2 + 0,02 X_1 X_2^2 - 0,08 X_3 + 0,03 X_1^2 X_3 + 0,06 X_1 X_2 X_3 - 0,03 X_1^2 X_2 X_3 + 0,02 X_2^2 X_3 + 0,04 X_3^2. \quad (20)$$

где y_2 -потери семенного материала.

После пересчета коэффициентов из кодированных в натуральные, уравнение регрессии приняло вид:

$$\Pi = 46,953 - 0,271 \cdot q + 0,238 \cdot V - 24,400 \cdot l + 0,032 \cdot V \cdot l^2 - 0,003 \cdot V^2 + 64,000 \cdot l^3 - 3,066 \cdot V \cdot l - 0,001 \cdot q \cdot V - 0,143 \cdot q \cdot l + 0,010 \cdot q \cdot V \cdot l \quad (21)$$

На основании данного уравнения получены поверхности отклика-зависимости потерь зерна в фураж Π от подачи семян q , а также от скорости воздушного потока V и высоты установки вентилятора l , $\xi = f(V_B, l)$, $q = 350$ кг/ч.

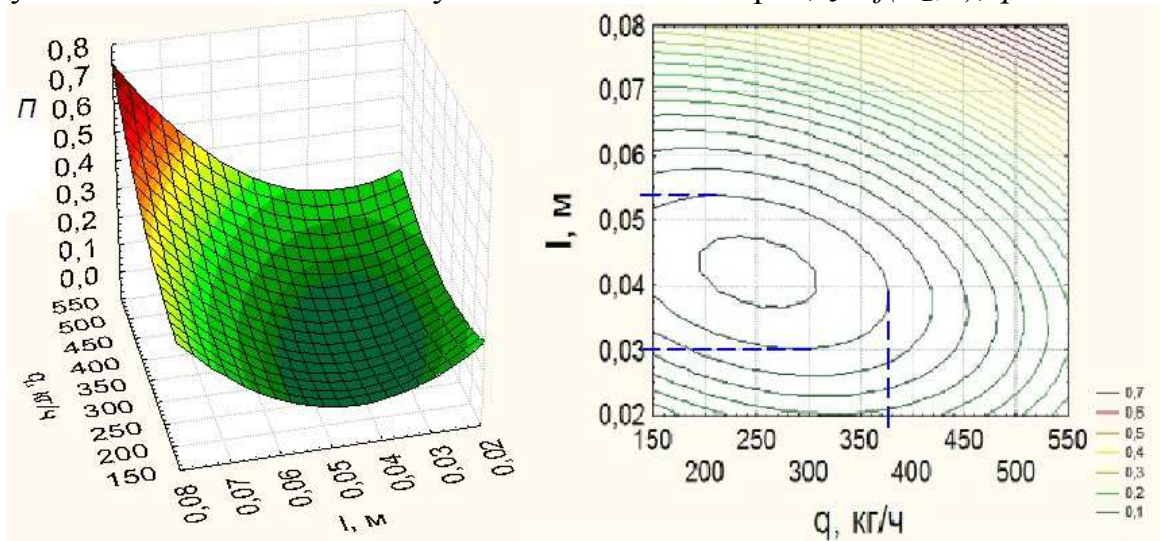


Рисунок 8 – Поверхность отклика и двумерное сечение потерь зерна в фураж Π (%) в зависимости от подачи семян q и высоты установки вентилятора l ,

$$\Pi = f(q, l), V_B = 10 \text{ м/с.}$$

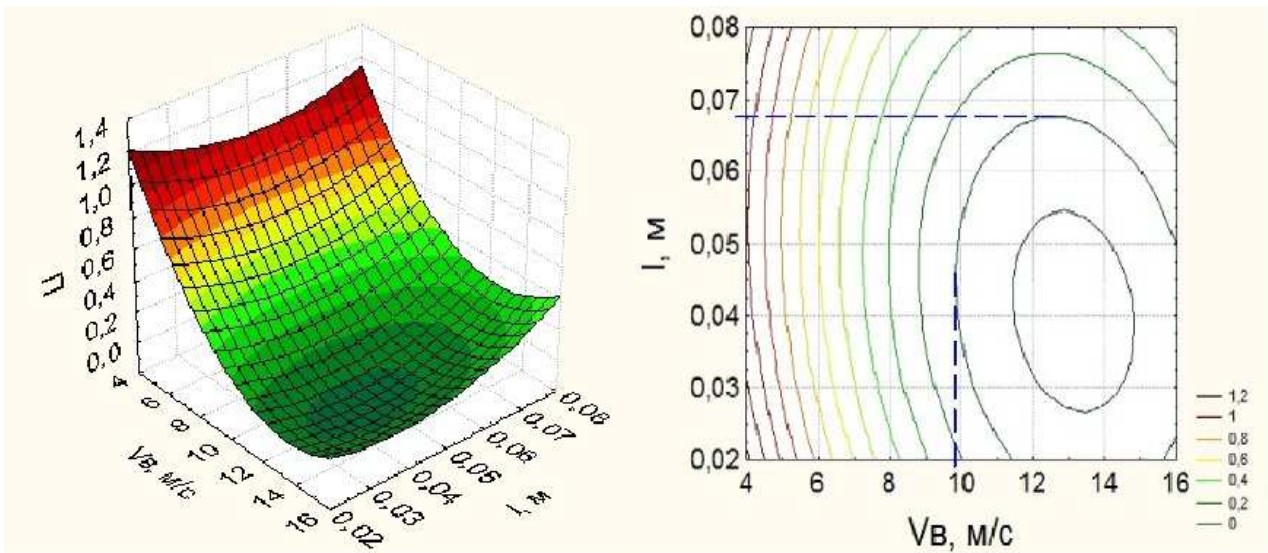


Рисунок 9 – Поверхность отклика и двумерное сечение потерь зерна в фураж Π (%) в зависимости от скорости воздушного потока V и высоты установки вентилятора l , $\xi = f(V_B, l)$, $q = 350$ кг/ч.

При анализе вариантов оказывающих влияние на затраты энергии получено уравнение регрессии в кодированных величинах вида:

$$\begin{aligned}
 y_3 = & 0,72 - 0,66 X_1 + 0,20 X_1^2 + 0,42 X_2 - 0,55 X_1 X_2 + \\
 & 0,18 X_1^2 X_2 + 0,11 X_2^2 - 0,15 X_1 X_2^2 + 0,23 X_3 - \\
 & - 0,20 X_1 X_3 + 0,11 X_2 X_3 - 0,15 X_1 X_2 X_3 + 0,10 X_3^2 - 0,10 X_1 X_3^2.
 \end{aligned}
 \quad (22)$$

где y_3 - энергозатраты на процесс сепарации.

$$\begin{aligned}
 W = & 101,102 - 0,596 \cdot q + 0,868 \cdot V + 2,533 \cdot l - 1,067 \cdot q \cdot l^2 - 0,009 \cdot V^2 + \\
 & + 533,333 \cdot l^2 - 2,800 \cdot V \cdot l - 0,003 \cdot q \cdot V - 0,026 \cdot q \cdot l + 0,008 \cdot q \cdot V \cdot l
 \end{aligned}
 \quad (23)$$

На основании данного уравнения построены поверхности отклика-зависимости энергозатрат на привод установки W в зависимости от подачи семян q и скорости воздушного потока V .

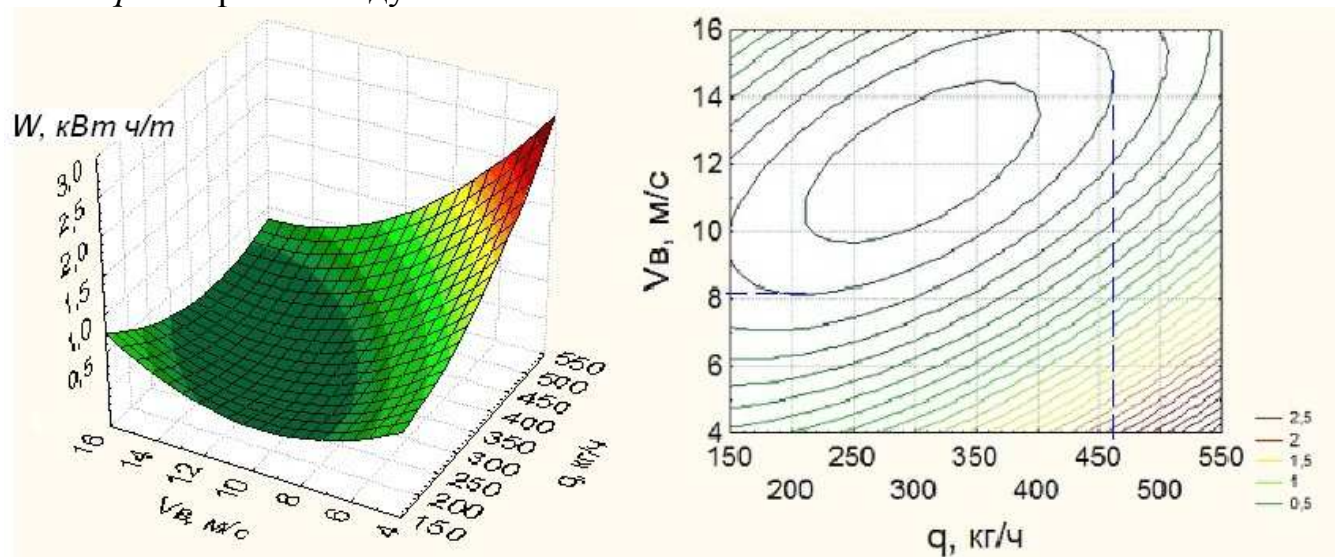


Рисунок 10 – Поверхность отклика и двумерное сечение энергозатрат на привод установки W в зависимости от подачи семян q и скорости воздушного потока V , $W = f(V_B, q)$, $l = 0,05$ м.

Результаты сопоставления теоретических и экспериментальных исследований показали, что они подчиняются одной и той же закономерности и незначительно отличаются в абсолютных величинах.

Программой экспериментальных исследований предусматривалось проведение производственной проверки предлагаемого сепаратора. Предлагаемый сепаратор был испытан на производстве в ООО «ОПХ им. Фрунзе» Тарского района Омской области, результаты проверки приведены на рисунке 11.

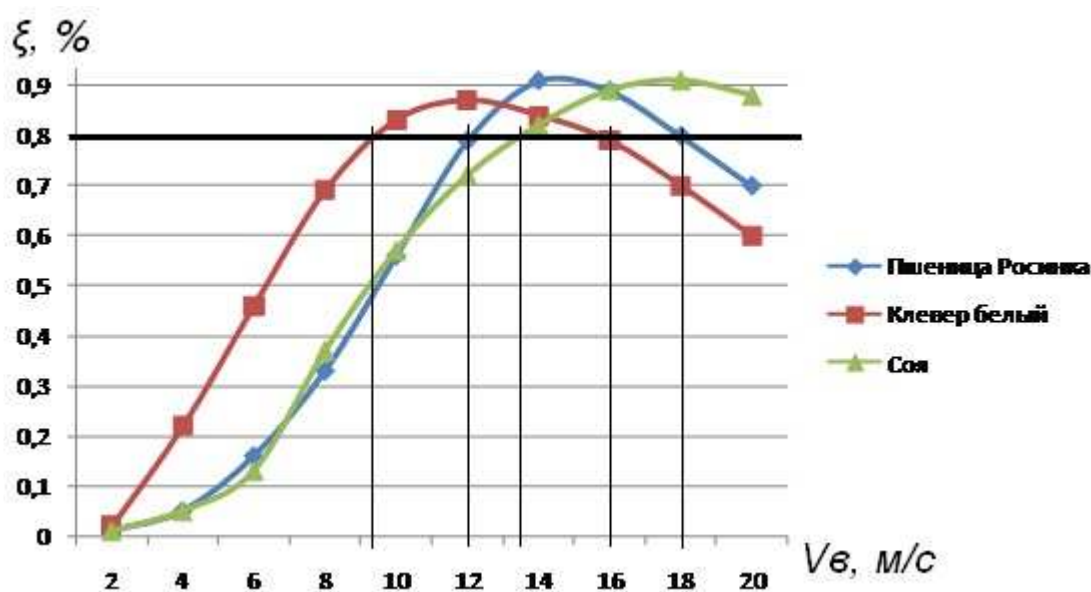


Рисунок 11 – Зависимости полноты разделения ξ от скорости воздушного потока $V_{в}$, при $l = 0,05$ м; $q = 250$ кг/ч.

Кинематические и технологические параметры работы экспериментального сепаратора были выбраны в пределах рациональных значений, определенных в результате экспериментальных исследований:

- скорость воздушного потока – 12 м/с;
- высота подъема вентилятора l – 50 мм;
- угол наклона образующей конуса к горизонту ψ – 60° ;
- подача семян q – 250 кг/ч.

Во время производственной проверки определялись следующие выходные параметры:

- полнота разделения ξ ;
- производительность установки Q , т/ч;
- энергозатраты на привод установки W , кВт·ч;

При эксплуатации установки в рациональном режиме полученные результаты производственных испытаний подтвердили основные показатели экспериментальных исследований: при полноте разделения 80 %, соответствующей вторичной очистке зерна пшеницы сорта «Росинка», прошедшей первичную очистку, производительность составила 150..200 кг/ч при удельных энергозатратах 0,16...0,17кВт·ч/т.

В функцию эксперимента входит подтверждение теоретической модели и расширение познаний о протекающих процессах. Для сопоставления и сравнения результатов теоретических и экспериментальных исследований выбраны зависимости полноты разделения и энергозатрат от скорости воздушного потока при фиксированной подаче и высоте подъема вентилятора. Результаты экспериментов обрабатывались в среде Microsoft Excel. График зависимостей приведен на рисунке 12.

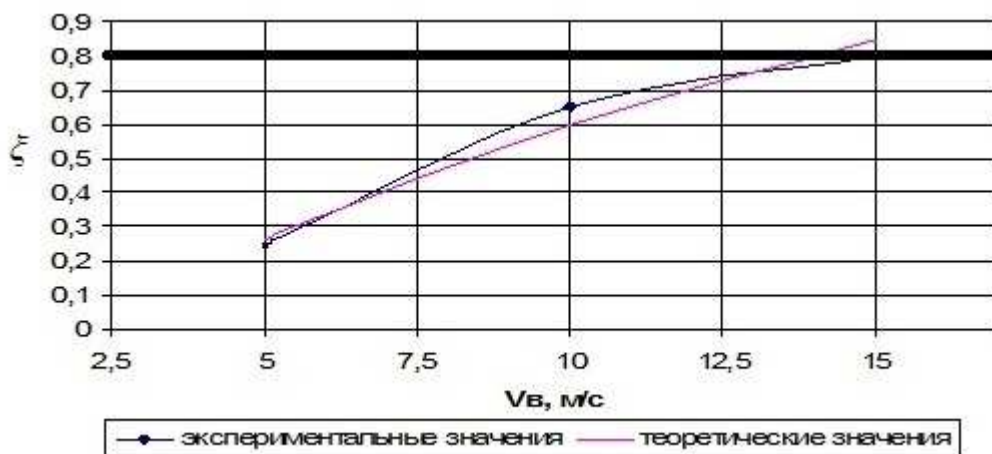


Рисунок 12 – Теоретические и экспериментальные зависимости полноты разделения зернового вороха ζ в зависимости от скорости воздушного потока V_B , $\zeta = f(V_B)$ при $l = 0,05$ м; $q = 200$ кг/ч.

Как видно из приведенных графиков, теоретическая и экспериментальная зависимости повторяют одну и ту же закономерность и незначительно отличаются в абсолютных величинах.

В пятой главе «Экономическая эффективность» определена расчетная экономическая эффективность применения конического воздушного сепаратора зерна с закрученным воздушным потоком в сравнении с базовым пневмосепаратором универсальным МПО-1 (УПС-500).

При использовании сепаратора себестоимость сортирования зерна снижается – на 3,4 %, удельное потребление электроэнергии – на 29 %. Общий годовой экономический эффект составил 11804,2 руб., срок окупаемости затрат – 1,1 года.

Анализ конструкций пневмосепарирующих устройств показывает, что осуществляя разделение зернового вороха на фракции, они не обеспечивают качественную сепарацию поступающей зерновой смеси, а также при их работе происходит сильное травмирование зерна. Кроме того, большинство из существующих конструкций обладает повышенной металлоёмкостью и энергоёмкостью, что приводит к увеличению себестоимости и снижению качества очистки зерна.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. В результате анализа технических решений для пневматического сортирования зернового материала установлено, что осуществляя разделение зернового вороха на фракции, они не обеспечивают качественную сепарацию поступающей зерновой смеси, а также при их работе происходит сильное травмирование зерна. Кроме того, большинство из существующих конструкций обладает повышенной металлоёмкостью и энергоёмкостью, что приводит к увеличению себестоимости очистки зерна и снижению качества его очистки. Одним из перспективных способов устранения данных недостатков является использование конического воздушного сепаратора с закрученным воздушным потоком.
2. Получены зависимости, определяющие степень влияния конструктивных и технологических факторов конического воздушного сепаратора на полноту разделения зернового материала, потери семенного материала и энергетические показатели его работы. Основными факторами являются угол наклона образующей конуса к горизонту ψ , подача зернового материала q , скорость воздушного потока V , высота конуса сепаратора h и высота подъема вентилятора l . Максимальная полнота разделения зернового вороха достигается при следующих параметрах пневмосепаратора: угол наклона образующей конуса к горизонту $\psi = 60^\circ - 70^\circ$; высота установки вентилятора от его центра до нижнего основания конуса $l = 0,03...0,05$ м; скорости воздушного потока вдоль образующей конуса $V_B = 10,5...12$ м/с (при скорости воздуха на выходе вентилятора $C_2 = 13 \dots 16$ м/с), подаче зернового материала $q = 0...250$ кг/ч ($0...1984$ шт/с).
3. Получены регрессионные модели полноты разделения зернового материала ε , потерь зерна в фураж Π и энергетики процесса W , анализ которых показал, что наибольшее влияние на показатели оказывают факторы: подача зернового материала q , скорость воздушного потока V и высота подъема вентилятора l .
4. Установлены рациональные значения параметров конического пневмосепаратора: подача зернового материала $q = 200 - 250$ кг/ч, скорость воздушного потока $V = 12-15$ м/с и высота подъема вентилятора $l = 0,05$ м. При этом достигается максимальное значение показателей разделения зернового материала ε до 80 %, потери зерна в фураж Π менее 4 % и энергетики процесса W менее 0,16 кВт·ч/т.
5. Установлено, что при использовании сепаратора себестоимость сортирования зерна снижается – на 3,4 %, удельное потребление электроэнергии – на 29 %. Общий годовой экономический эффект составил 11804,2 руб., срок окупаемости затрат – 1,1 года.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК

1. А.В. Черняков, В.С. Коваль, А.В. Сухов. Экспериментальное исследование работы двух цилиндрических качающихся решет с продолговатыми отверстиями, расположенными под углом к плоскости их движения. // Омский научный вестник. – Омск, 2009. -№ 2. - С. 152-155.
2. А.В.Сухов, В.С.Коваль. Конический сепаратор с закрученным воздушным потоком. // Сельский механизатор. – Москва, 2011г, выпуск 7. с.10.
3. В.С. Коваль, Д.Н. Алгазин, А.В. Сухов. Теоретическое исследование процесса сортирования зернового вороха на коническом сепараторе // Омский научный вестник. – Омск, 2012. - № 1. - С. 141-145.

Изобретения и полезные модели

1. Патент на полезную модель 86390 РФ, МПК А 01F 12/44. Конический воздушный сепаратор / А.В. Черняков, А.В. Сухов (РФ); – № 2009100889/22; заявлено 11.01.2009; Оpubл. 10.09.2009, Бюл. № 35.
2. Патент на полезную модель 79011 РФ, МПК А01F 12/44. Решетный стан / А.В. Черняков, В.С. Коваль, А.В. Сухов (РФ). - №2008110154/22; Заявлено 17.03.2008.; Оpubл. 20.12.2008.// Бюл. № 35.
3. Патент на полезную модель 79012 РФ, МПК А01F 12/44. Решетный стан / В.С. Коваль, А.В. Черняков, А.В. Сухов (РФ). - №2008109352/22; Заявлено 11.03.2008.; Оpubл. 20.12.2008.// Бюл. № 35.

Статьи в сборниках научных трудов

1. А.В.Черняков, В.С.Коваль, А.В.Сухов. Конический воздушный сепаратор. // Материалы международной научно-практической конференции молодых ученых Россельхозакадемии: Сборник научных статей – Омск, 2010г. – С. 123-126.
2. А.В.Черняков, В.С.Коваль, А.В.Сухов. Экспериментальные исследования на нескольких культурах. // Материалы международной научно-практической конференции молодых ученых Россельхозакадемии: Сборник научных статей – Омск, 2010г. – С. 126-131.
3. А.В.Черняков, А.В.Сухов, В.С.Коваль. Экспериментальное исследование значимости факторов, влияющего на работу конического воздушного сепаратора зерна. // Сборник научных статей: материалы VI научно-практической конференции преподавателей, аспирантов и молодых ученых. – Омск, 2011г. – С.72-75.
4. А.В.Черняков, А.В.Сухов, С.В.Штейнбах. Конический сепаратор зерна с закрученным воздушным потоком. // Сборник научных статей: материалы II Региональной молодежной научно-практической конференции 14-17 апреля 2011 г. – Омск, 2011г. – С.90-91.
5. А.В.Сухов, Д.В. Желябо. Использование конического сепаратора зерна с закрученным воздушным потоком для очистки зернового вороха. // Сборник научных статей: материалы IV Всероссийской молодежной научно-технической конференции с международным участием 15-17 ноября 2011 г. – Омск, 2011г. Книга 1.– С.90-91.

