

*На правах рукописи*

Припоров Игорь Евгеньевич

**ПАРАМЕТРЫ УСОВЕРШЕНСТВОВАННОГО ПРОЦЕССА  
РАЗДЕЛЕНИЯ КОМПОНЕНТОВ ВОРОХА СЕМЯН  
КРУПНОПЛОДНОГО ПОДСОЛНЕЧНИКА В  
ВОЗДУШНО-РЕШЕТНЫХ ЗЕРНООЧИСТИТЕЛЬНЫХ  
МАШИНАХ**

Специальность 05.20.01 – Технологии и средства механизации сельского хозяйства

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Краснодар – 2012

Работа выполнена в Государственном научном учреждении  
«Всероссийский научно-исследовательский институт масличных культур  
им. В. С. Пустовойта» Российской академии сельскохозяйственных наук  
(ГНУ ВНИИМК Россельхозакадемии)

Научный руководитель: доктор технических наук,  
старший научный сотрудник  
Шафоров Василий Дмитриевич

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор  
Плешаков Вадим Николаевич

кандидат технических наук, доцент  
Московский Максим Николаевич

Ведущая организация: Государственное научное учреждение  
«Северо-Кавказский научно-исследовательский  
институт механизации и электрификации сельско-  
го хозяйства» Российской академии сельскохозяй-  
ственных наук (г. Зерноград)

Защита состоится «23» мая 2012 года в 10<sup>00</sup> часов на заседании диссертационного совета Д 220.038.08 при ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный аграрный университет» по адресу: 350044, г. Краснодар, ул. Калинина, 13, Кубанский ГАУ, корпус факультета энергетике и электрификации, ауд. № 4.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный аграрный университет».

Автореферат размещён на сайте ВАК РФ <http://vak2.ed.gov.ru>  
«12» апреля 2012 года.

Автореферат размещён на сайте Кубанского ГАУ <http://kubsau.ru>  
«12» апреля 2012 года.

Автореферат разослан «\_\_» апреля 2012 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,  
доктор технических наук

В. С. Курасов

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы.** Для подготовки семенного материала в сельскохозяйственном производстве широко применяются воздушно-решётные зерно- и семяочистительные машины, в которых происходит разделение семян по размерам и аэродинамическим свойствам.

Как показывает опыт эксплуатации таких машин, они используются не всегда с максимальным эффектом. Рациональные скорости перемещения вороха семян подсолнечника по решётным станам являются не оптимальными для воздушной системы. В результате этого эффективность работы пневматической системы не превышает 20–30 %, что приводит к снижению качества сортирования, что сказывается на выходе семенного материала.

Поэтому создание рациональных условий для сортирования семян крупноплодного подсолнечника в пневматическом канале воздушно-решётных машин является актуальной задачей.

Работа выполнена в соответствии с тематическим планом НИОКР ГНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт масличных культур имени В. С. Пустовойта» Россельхозакадемии на 2006–2010 гг. (ГР № 01.9.70 0 06339) и на 2011–2015 гг. (ГР № 01201158046).

**Цель исследований** – увеличение доли выхода кондиционных семян крупноплодного подсолнечника за счет совершенствования конструкции пневматических сепараторов воздушно-решетных зерноочистительных машин.

**Научная гипотеза:** повышение эффективности сортирования семян крупноплодного подсолнечника возможно за счет оптимизации условий взаимодействия компонентов вороха с вертикальным воздушным потоком.

### **Задачи исследований:**

1. Определить влияние основных физико-механических свойств семян крупноплодного подсолнечника на их аэродинамические свойства.

2. Определить траектории перемещения компонентов вороха семян с различными аэродинамическими свойствами в вертикальном воздушном потоке в

зависимости от конструкции и технологических параметров подающего устройства при вводе их в пневматический канал.

3. Рассчитать скорость ввода компонентов вороха семян крупноплодного подсолнечника в вертикальный воздушный поток.

4. Определить оптимальные конструктивные параметры и материал скатной доски, обеспечивающие увеличение скорости ввода компонентов вороха семян в вертикальный воздушный поток.

5. Установить скорость ввода компонентов вороха семян в воздушный поток с учётом оптимального материала скатной доски.

6. Выполнить технико-экономическое обоснование эффективности усовершенствованной зерноочистительной машины.

**Объект исследования** – семена крупноплодного подсолнечника, вертикальный пневматический канал воздушно-решетных зерноочистительных машин, процесс очистки семян.

**Предмет исследований** – закономерности разделения компонентов вороха семян крупноплодного подсолнечника с различными аэродинамическими характеристиками в вертикальном воздушном потоке.

**Методика исследований.** При проведении теоретических исследований использовали теорию потока тел, законы теоретической механики. Экспериментальные исследования проводились в соответствии с ОСТ 70-10.2 83. Обработка результатов экспериментов выполнялись с помощью стандартных программ из пакета MathCAD 7.0.

**Научную новизну** представляют:

– закономерности относительного перемещения компонентов вороха семян крупноплодного подсолнечника в зависимости от кинематических и технологических параметров решет;

– математические выражения для определения траекторий перемещения компонентов вороха семян крупноплодного подсолнечника в вертикальном пневматическом канале в зависимости от конструкции и технологических параметров подающего устройства;

– математическая модель процесса пневматической сепарации компонентов вороха семян крупноплодного подсолнечника при оптимальном взаимодействии решета, подающего устройства и воздушного потока в пневматическом канале.

**Практическую значимость** представляют:

– алгоритм оценки оптимальности параметров подающего устройства для ввода семян крупноплодного подсолнечника в пневматический канал;

– конструкция устройства для подачи семян крупноплодного подсолнечника в пневматический канал;

– значения параметров пневматической сепарации в зависимости от условий ввода семян крупноплодного подсолнечника в пневматический канал.

**Реализация результатов исследований.** Результаты исследований использованы ОАО ГСКБ «Зерноочистка» (г. Воронеж) при модернизации конструкции воздушно-решетных зерноочистительных машин. Модернизированная зерноочистительная машина МВУ–1500 используется на центральной экспериментальной базе ВНИИМК.

**Апробация работы.** Основные положения диссертационной работы доложены, обсуждены и одобрены на ежегодных отчетно-плановых сессиях ВНИИМК в 2008–2011 годах; на V и VI Международных конференциях молодых ученых и специалистов (ВНИИМК, 2009 и 2011 гг.); на II и IV Всероссийских научно-практических конференциях молодых ученых (Кубанский ГАУ, 2008 и 2010 гг.); на VI Всероссийской научной конференции молодых ученых и студентов (Кубанский ГУ, 2009 г.), на IV Международной научно-практической конференции (ДГТУ, Ростов на Дону, 2011 г.).

**Публикации.** По материалам диссертационной работы опубликовано девять научных работ, в их числе четыре в изданиях, рекомендованных ВАК, а также получено три патента РФ на полезную модель. Общий объем опубликованных работ составляет 3,19 п.л., из них личный вклад автора 1,93 п.л.

**На защиту выносятся следующие основные положения:**

- закономерности изменения аэродинамических свойств семян крупноплодного подсолнечника в зависимости от их физико-механических свойств;
- траектории перемещения компонентов вороха семян с различными аэродинамическими свойствами в вертикальном воздушном потоке в зависимости от конструкции и технологических параметров подающего устройства при вводе их в канал;
- усовершенствованная конструкция подающего устройства при вводе вороха семян крупноплодного подсолнечника в пневматический канал окончательной аспирации зерноочистительной машины;
- результаты экспериментальных исследований по скоростям ввода компонентов вороха семян в воздушный поток в виде уравнения регрессии;
- технико-экономическая эффективность использования усовершенствованной воздушно-решетной зерноочистительной машины МВУ–1500, осуществляющей сепарацию вороха семян крупноплодного подсолнечника.

**Структура и объем работы:** диссертация состоит из введения, пяти глав, общих выводов, списка использованных источников, включающего 160 наименований, из них – 12 иностранных, и 7 приложений. Основная часть диссертации содержит 118 страниц, 25 рисунков, 23 таблицы.

## **СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** обоснована актуальность исследований, сформулированы их цель, научная новизна и практическая значимость, представлены положения, выносимые на защиту.

**В первой главе** «Состояние вопроса, цель и задачи исследования» проанализированы в сравнительном аспекте конструкции воздушно-решетных зерноочистительных машин, выявлены их достоинства и недостатки, рассмотрены их характеристики.

Существенный вклад в усовершенствование воздушных систем зерно- и семяочистительных машин внесли Ю. И. Ермольев, В. Д. Бабченко, Н. М. Ива-

нов, И. П. Лапшин, А. П. Тарасенко, С. Г. Урюпин, С. С. Ямпиров, А. И. Бурков, А. Н. Зюлин, H. Blenk, W. K. Bilanski, R. Lai, M. M. Kashayar и другие ученые.

Исследование работы серийных зерноочистительных машин показало, что даже многократный пропуск семенного материала через машину чаще всего не позволяет довести семена до посевных кондиций. Между тем анализ аэродинамических свойств компонентов зерновой смеси и результаты обработки семян на экспериментальных установках свидетельствуют о возможности высокоэффективного использования воздушного потока. В соответствии с изложенным сформулированы цель и задачи исследований.

**Во второй главе** «Теоретические исследования» приведен многомерный анализ процесса сепарации семян крупноплодного подсолнечника в подсистеме решетный ярус-пневмосепаратор воздушно-решетной зерноочистительной машины и выявлены пути повышения эффективности этого процесса.

Для условий ширины решет, равной единице, плотности  $j$ -тых компонентов вороха семян крупноплодного подсолнечника, постоянной по длине каждого решета в ярусе, и коэффициенте сепарации  $\mu_{1mj}$ , постоянном по длине  $L_{1m}$  решета (рисунок 1), получено выражение для оценки величины средней скорости перемещения  $j$ -го компонента по 1-му решету яруса при установившемся процессе сепарации  $V_{x1mj}$ :

$$V_{x1mj} = \frac{Y_{1(m-1)j}}{M_{П1mj} \Delta t} \left[ \frac{1}{\mu_{1mj}} + L_{1m} (1 - E_{j1m}) - e^{-\mu_{1mj} \cdot L_{1m}} \left( L_{1m} + \frac{1}{\mu_{1mj}} \right) \right], \quad (1)$$

где  $Y_{1(m-1)j}$  – масса  $j$ -го компонента, поступившего на 1-е решето с предыдущего  $(m-1)$  за время  $\Delta t$ , кг;  $M_{П1mj}$  – масса тел  $j$ -го компонента на рабочей поверхности решета при установившемся процессе сепарации, кг;  $\Delta t$  – время, затраченное на путь пройденное центрами инерции тел  $j$ -го компонента в рабочей полости решета, с;  $L_{1m}$  – длина 1-го решета в ярусе, м;  $E_{j1m}$  – полнота просеивания  $j$ -го компонента через 1-е решето в ярусе.

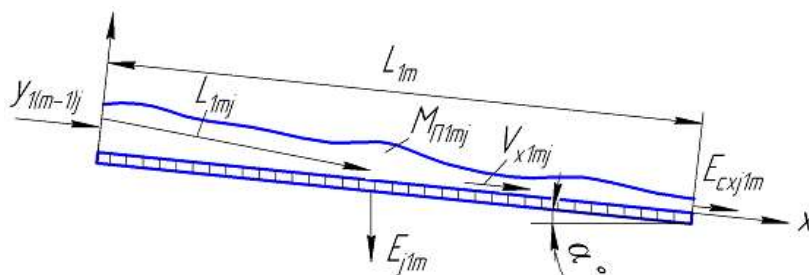


Рисунок 1 – Схема показателей перемещения  $j$ -тых компонентов вороха семян крупноплодного подсолнечника по решетной поверхности 1-го решета яруса

Для случая  $Y_{1mj} = 0$ , величина  $V_{x1mj}$  определяется из выражения (1) при условии  $E_{j1m} = 1$  и замене  $L_{1m}$  на  $L'_{1m}$ . Для определения величины  $\mu_{1mj}$  из выражения (2) необходимо выбрать длину  $L''_{1m} < L_{1m}$ , при которой  $E_{j1m} < 1$ .

$$\mu_{1mj} = \frac{1}{L_{1m}} \ln\left(\frac{1}{1 - E_{j1m}}\right), \quad (2)$$

Длина пути  $L_{1mj}$  на рабочей поверхности 1-го решета определяется из выражения

$$L_{1mj} \cong X_{ЦМ1mj} = \frac{1}{\mu_{1mj}} + L_{1m}(1 - E_{j1m}) - e^{-\mu_{1mj} \cdot L_{1m}} \left( L_{1m} + \frac{1}{\mu_{1mj}} \right), \quad (3)$$

а время пребывания центра инерции тел  $j$ -го компонента на решетке – из выражения

$$t_{cp.цuj1m} = \frac{M_{П1mj} \Delta t}{Y_{1(m-1)j}}. \quad (4)$$

В работах А. Я. Малиса, А. С. Демидова, А. С. Матвеева и других исследователей достаточно полно рассмотрены вопросы пневматической сепарации в вертикальных каналах. В то же время нет точного представления о процессе движения частиц сепарируемого материала, требуется его дальнейшее изучение.

Рассмотрим пневматическое сепарирование как физический процесс разделения различных компонентов семян крупноплодного подсолнечника с разными аэродинамическими характеристиками в вертикальном пневматическом канале различной глубины.

На первом этапе исследований было выявлено направление (величина угла  $\beta_0$ ) вектора скорости воздушного потока в зоне схода компонентов семян круп-



ноплодного подсолнечника в вертикальный пневматический канал с конца подающей скатной доски (рисунок 2).

Для оценки величины угла  $\beta_0$  проведены исследования при различных величинах смещения  $h$  в пневматическом канале конца подающей скатной доски и при разных средних скоростях воздушного потока.

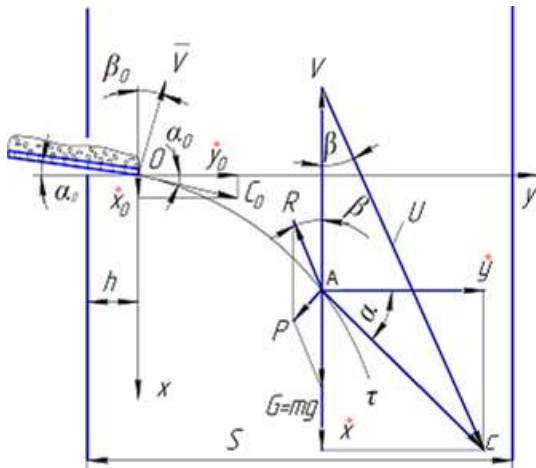


Рисунок 2 – Схема скоростей перемещения и сил, действующих на  $j$ -тый компонент семян крупноплодного подсолнечника в воздушном потоке вертикального канала

Установлено, что на исследуемом интервале скоростей воздушного потока и задаваемых величин координат  $h$ , в первом приближении можно принять  $\beta_0 \cong 0$ , т.е. отклонение вектора  $\bar{V}$  от вертикали незначительно.

В вертикальный пневматический канал ворох семян крупноплодного подсолнечника поступает с конца подающей скатной поверхности (рисунок 2), расположенного на расстоянии  $h$  от передней стенки пневмоканала, под углом к горизонту  $\alpha_0$  со скоростью  $C_0$

Воздушный поток в пневматическом канале действует на компонент со скоростью  $V$ , что определяет величину и направление скорости  $U$  компонента в относительном движении:

$$|U| = \sqrt{V^2 + C_0^2 + 2V \cdot C_0 \cdot \sin \alpha}, \quad (5)$$

где  $C_0$  – скорость перемещения скатной поверхности, м/с.

Направление скорости  $U$ , определенное углом  $\beta$  к направлению воздушного потока, определяется из выражения

$$\beta = \arcsin\left(\frac{C_0}{U} \cdot \cos \alpha\right). \quad (6)$$

В воздушном потоке на компонент массой  $m$  (рисунок 2) действует сила тяжести  $G$  и сила сопротивления воздушного потока  $R$ , направленная в сторону, противоположную скорости  $U$  относительного движения компонента:

$$R = m \cdot K \cdot u^2, \quad (7)$$

где  $K$  – коэффициент пропорциональности силы аэродинамического сопротивления;  $u$  – абсолютная скорость компонента, м/с.

$$K = \frac{g}{V_{кр}^2}, \quad (8)$$

где  $V_{кр}$  – критическая скорость (скорость витания компонента), м/с.

Дифференциальные уравнения движения компонента в координатах  $XOY$  (рисунок 2) запишутся в виде

$$\begin{cases} m \frac{d^2x}{dt^2} = mg - R \cdot \cos\beta \\ m \frac{d^2y}{dt^2} = -R \cdot \sin\beta. \end{cases} \quad (9)$$

Величину относительной скорости  $U^2$  для оценки  $R$  и с учётом допущения дифференциальные уравнения (9) запишутся в виде

$$\begin{cases} \frac{d^2x}{dt^2} = g - KV^2\psi - KV\psi \frac{dx}{dt} \\ \frac{d^2y}{dt^2} = -KV\psi \frac{dy}{dt}. \end{cases} \quad (10)$$

Проинтегрировав уравнения (10) при начальных условиях  $t=0$ ;  $x=0$ ;  $y=0$ ;  $\frac{dx}{dt} = \frac{dx_0}{dt}$ ;  $\frac{dy}{dt} = \frac{dy_0}{dt}$ , получим аналитические зависимости для составляющих скорости и перемещения компонента в вертикальном пневматическом канале:

$$\frac{dx}{dt} = \frac{1}{KV\psi} \left\{ (g - KV^2\psi) - \left[ (g - KV^2\psi) - KV^2\psi \frac{dx_0}{dt} \right] e^{-KV\psi t} \right\}; \quad (11)$$

$$\frac{dy}{dt} = \frac{\frac{dy_0}{dt}}{e^{KV\psi t}}; \quad (12)$$

$$x = \frac{g - KV^2\psi}{KV\psi} t - \frac{1}{(KV\psi)^2} \left[ (g - KV^2\psi) - KV\psi \frac{dx_0}{dt} \right] (1 - e^{KV\psi t}); \quad (13)$$

$$Y = \frac{\frac{dy_0}{dt}}{KV\psi} (1 - e^{-KV\psi t}). \quad (14)$$

Оценим расчетным путем траектории перемещения компонентов семян крупноплодного подсолнечника в вертикальном пневматическом канале глубиной  $S$  при задаваемом изменении величины  $h$  смещения конца  $O$  скатной доски (рисунок 2).

Глубина пневматического канала  $S = 0,142$  м, угол ввода компонентов в пневмоканал  $\alpha_0 = 6^\circ$  (по типу зерноочистительной машины МВУ–1500).

Для оценки величины рабочей скорости  $V$  воздушного потока в пневматическом канале примем условие: допустимая вероятность выделения семян крупноплодного подсолнечника воздушным потоком в отходы  $P \leq 2\%$ . Вероятность  $P_j$  выделения легких  $j$ -тых фракций семян крупноплодного подсолнечника определяется из выражения

$$P_j = \sum_j P_g \cdot a_j = \sum_j \int_{V_{jmin}}^V f_j(V) dV \cdot a_j, \quad (15)$$

где  $a_j$  – доля  $j$ -того компонента во фракции семян крупноплодного подсолнечника, поступающей в пневматический канал.

Приняв гипотезу о нормальном законе распределения плотность вероятности  $f_j(V)$ , выражение (15) запишем как

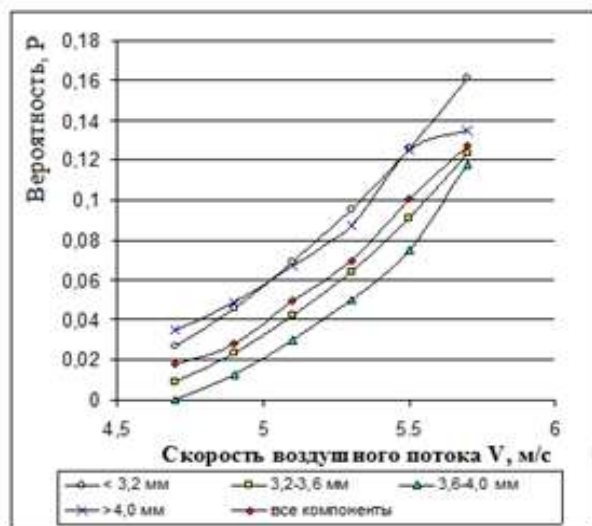
$$P_j = \sum_j \left[ \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{jV}} \int_{V_{jmin}}^V e^{-\frac{(V-m_{jV})^2}{2\sigma_{jV}^2}} dV \right] a_j, \quad (16)$$

Для решения выражения (16) используем преобразование Лапласа. Тогда выражение (16) с учетом заданных ограничений по выносу семян крупноплодного подсолнечника в отстойную камеру примет вид

$$P_j = \sum_j P_j \cdot a_j = \sum_j \left[ \Phi_{oj} \left( \underbrace{\frac{V_{jmin}-m_{jV}}{\sigma_{jV}}}_{z_1} \right) - \Phi_{oj} \left( \underbrace{\frac{V-m_{jV}}{\sigma_{jV}}}_{z_2} \right) \right] a_j \leq 0,02, \quad (17)$$

где  $P_j$  – вероятностная доля выноса  $j$ -го компонента воздушным потоком со скоростью  $V$ ;  $\Phi_{oj}(z_1)$  – вероятностная доля  $j$ -го компонента от  $V_{jmin}$  до  $m_{jV}$  ( $\Phi_{oj}(z_1) = 0,5$ );  $\Phi_{oj}(z_2)$  – вероятностная доля  $j$ -го компонента от  $V$  до  $m_{jV}$ .

Используя метод итераций и задавая по шагово различными величинами рабочей скорости воздушного потока  $V > V_{jmin}$  в пневматическом канале, из выражения (17) находим с помощью статистических таблиц величины  $\Phi_{0j}(z_1)$ ,  $\Phi_{0j}(z_2)$ . При известных долях  $a_j$   $j$ -тых семян крупноплодного подсолнечника, подаваемых в пневматический канал, определяем величину  $V$ , обеспечивающую условие (17).



*Рисунок 3 – Вероятностная доля выделения воздушным потоком  $j$ -тых компонентов и всех компонентов с учетом их долей по массе частиц в исходной фракции семян крупноплодного подсолнечника в зависимости от скорости воздушного потока в пневмоканале*

С использованием выражений (5)-(14) проведена оценка траекторий (рисунок 3) перемещения различных компонентов семян крупноплодного подсолнечника с разными технологическими свойствами, кроме того, для различных координат  $h$  (рисунок 2) определено смещение т.О и выявлена рациональная скорость воздушного потока, обеспечивающего заданные условия пневматической сепарации (выражение (17)).

Из рисунка 4 следует, что при перемещении компонентов семян крупноплодного подсолнечника в пневмоканале на малом участке (0-3 мм) от точки ввода компонентов (т.О) оси 0-Y, которую пересекают все траектории компо-

Установлено (рисунок 3), что при обеспечении заданного уровня выноса семян крупноплодного подсолнечника в отстойную камеру (потери семян в отходы)  $\leq 2\%$  расчетная допустимая рабочая скорость воздушного потока во 2-м пневмоканале составит  $V = 4,8$  м/с.

Учитывая небольшие подачи семян крупноплодного подсолнечника в вертикальный пневмоканал, на этом этапе исследований изменение скорости воздушного потока в межсеменном пространстве (формула Дюбуа) не рассматривалось.

нентов вороха (фрагменты стеблей, корзинок, обрушенные семена, семена крупноплодного подсолнечника с малыми критическими скоростями витания), происходит отделение от него сорных примесей (выносятся в верх пневмоканала).

Траектории этих компонентов пересекаются в рабочей зоне пневмоканала под различными углами  $\delta$ .

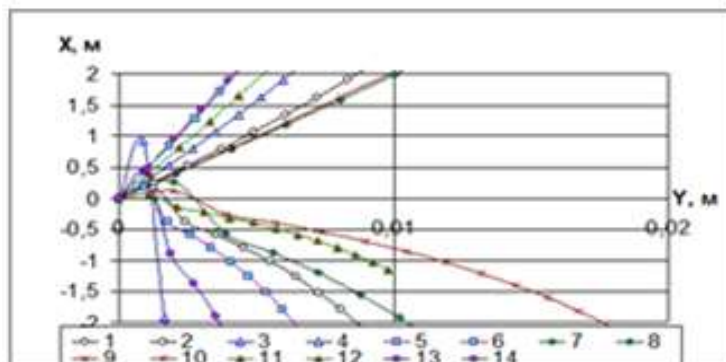


Рисунок 4 – Траектории перемещения  $j$ -тых компонентов семян крупноплодного подсолнечника в воздушном потоке пневмоканала при их сходе с решета: 1, 2 – фрагменты стеблей; 3, 4 – фрагменты корзинок; 5, 6 – обрушенные семена; 7, 8 – семена толщиной менее 3,2 мм; 9, 10 – семена толщиной 3,2–3,6 мм; 11, 12 – семена толщиной 3,6–4,0 мм; 13, 14 – семена толщиной свыше 4,0 мм

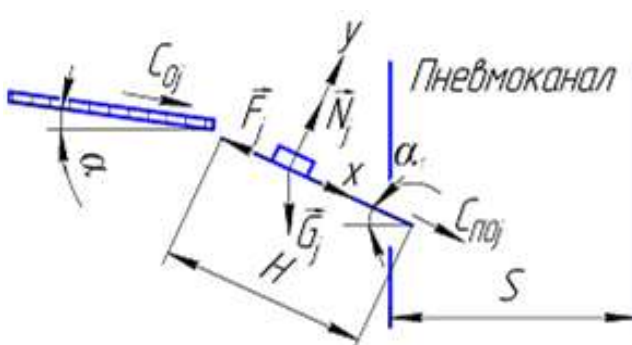


Рисунок 5 – Схема подачи  $j$ -того компонента в пневматический канал по скатной доске

по скатной доске.

Дифференциальное уравнение движения  $j$ -го компонента по скатной доске будет иметь вид

Анализ результатов показал, что при малых углах и скоростях ввода компонентов и принятых допущениях процесс разделения не зависит от величины координаты  $h$  расположения решет в пневмоканале.

При этом с учетом малых скоростей  $C_{0j}$  процесс разделения компонентов в воздушном потоке не эффективен.

Одним из возможных вариантов увеличения скорости ввода  $j$ -тых компонентов в пневматический канал можно считать установку неподвижной скатной доски у торца подающего устройства (решета) под углом  $\alpha_1$  (рисунок 5).

Для оценки величины скорости ввода  $C_{0j}$   $j$ -тых компонентов в пневмоканал рассмотрим их перемещение

$$m \frac{d^2x}{dt^2} = G(\sin \alpha_1 - f \cos \alpha_1),$$

$$m \frac{d^2y}{dt^2} = N - G \cos \alpha_1.$$
(18)

Проинтегрировав первое уравнение из системы (18), получим

$$\frac{dx}{dt} = gt(\sin \alpha_1 - f \cos \alpha_1) + C_1,$$
(19)

$$x = \frac{gt^2}{2}(\sin \alpha_1 - f \cos \alpha_1) + C_1 t + C_2$$
(20)

Постоянные интегрирования  $C_1$  и  $C_2$  определим из начальных условий:

при  $t = 0$ ,  $x_0 = 0$  м,  $dx_0/dt = C_{0j}$  (21)

Подставив величины начальных условий из (21) в выражение (19), окончательно получим:  $C_1 = C_{0j}$ ,  $C_2 = 0$ ;

$$x = H = \frac{gt^2}{2}(\sin \alpha_1 - f \cos \alpha_1) + 2t.$$
(22)

$$\frac{dx}{dt} = gt(\sin \alpha_1 - f \cos \alpha_1) + C_{0j}$$
(23)

Задаваясь длиной  $H$  и углом  $\alpha_1$  скатной доски и зная величины  $C_{0j}$  – средней скорости выхода  $j$ -того компонента с торца решет, из выражения (22) определится время  $t$  перемещения  $j$ -того компонента по скатной доске:

$$t_{1,2} = \frac{-\frac{4}{g(\sin \alpha_1 - f \cos \alpha_1)} \pm \sqrt{\left[\frac{4}{g(\sin \alpha_1 - f \cos \alpha_1)}\right]^2 + 4 \frac{2H}{g(\sin \alpha_1 - f \cos \alpha_1)}}}{2},$$
(24)

а из выражения (23) – скорость  $\frac{dx}{dt} = C_{n0j}$  ввода  $j$ -го компонента в пневмоканал.

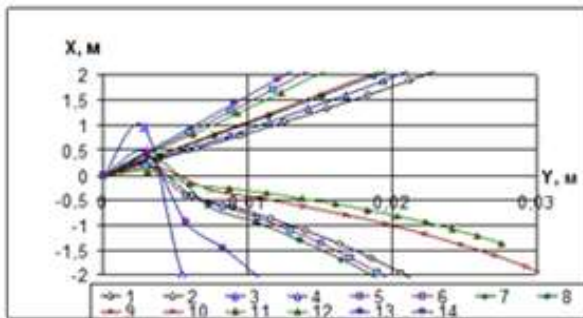


Рисунок 6 – Траектории перемещения  $j$ -тых компонентов в воздушном потоке пневмоканала при их сходе со скатной доски ( $\alpha_1 = 40^\circ$ ,  $H = 0,07$  м)

С использованием расчетных величин скоростей ввода компонентов семян крупноплодного подсолнечника в пневмоканал по выражениям (18)–(24) просчитаны траектории перемещения компонентов в воздушном потоке

пневмоканала для условий их схода со скатной доски длиной 0,07 м (рисунок 6).

Из анализа рисунка 6 следует, что компоненты семян перемещаются по траекториям, пересекающим линию 0–Y и выносятся в верхнюю часть (-x) пневмоканала на более длинном участке 0–5,5 мм. При этом в пневмоканале выделяется больше компонентов с повышенными критическими скоростями витания ( $V_k=4,95$  м/с).

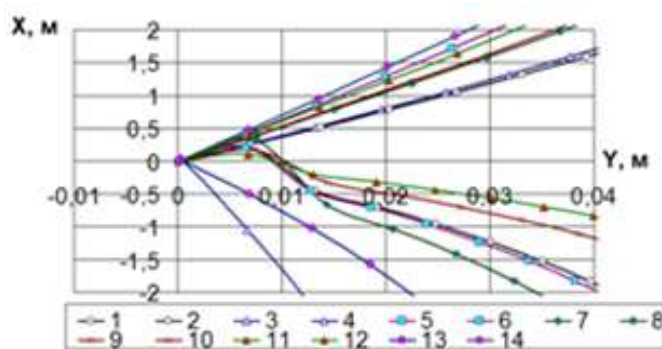


Рисунок 7 – Траектории перемещения  $j$ -тых компонентов воздушном потоке пневмоканала при их сходе со скатной доски ( $\alpha_1=40^\circ$ ,  $H=0,10$  м,  $f=0,04$ )

Траектории перемещения компонентов со скатной доски длиной  $H = 0,10$  м с коэффициентом трения по ней компонентов  $f_j = 0,04$  («гладкая» поверхность) приведены на рисунке 7.

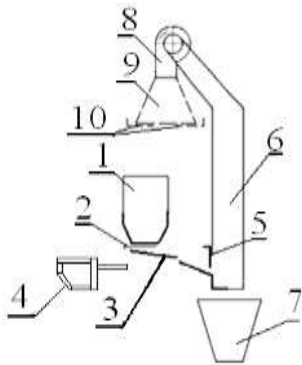
Для условий ввода компонентов с «гладкой» скатной доски ( $f_j = 0,04$ ) длина участка разделения

компонентов в пневмоканале выросла до 11 мм.

**В третьей главе** «Программа и методика экспериментальных исследований» описаны экспериментальная установка, приборы и оборудование, применяемые при исследованиях.

При оптимизации конструктивных параметров скатной доски применяли метод планирования алгоритмизированного эксперимента. Для этого использовали полнофакторный ( $3^3$ ) эксперимент, результаты которого обрабатывались с помощью программы MathCAD 7.0. На основании анализа предварительных исследований были выделены факторы, влияние которых на качественные показатели процесса сортирования семян крупноплодного подсолнечника имеет существенное значение. К ним отнесены: коэффициент трения компонентов на скатной доске  $x_1$  ( $f$ ); длина скатной доски  $x_2$  ( $H$ , м); угол наклона скатной доски  $x_3$  ( $\alpha$ , град). В качестве критерия оптимизации выбрана скорость ввода компонентов в пневматический канал  $Y_s$ .

Для оценки влияния параметров воздушной системы зерноочистительной машины типа МВУ–1500 на качественные показатели процесса сортирования семян крупноплодного подсолнечника была изготовлена экспериментальная установка (рисунок 8).



*Рисунок 8 – Схема экспериментальной установки: 1 – бункер; 2, 5, 10 – заслонки; 3 – скатная доска; 4 – приводной механизм; 6 – пневматический канал; 7 – осадочная камера для семян; 8 – вентилятор; 9 – осадочная камера для примесей.*

Для определения скорости перемещения по скатной доске производилась видеосъемка движущихся семян крупноплодного подсолнечника сорта Лакомка. Отснятый сюжет просматривали по кадрам на компьютере с помощью программы Picasa 3 и определяли скорость перемещения.

При обработке экспериментальных данных применяли методы математической статистики.

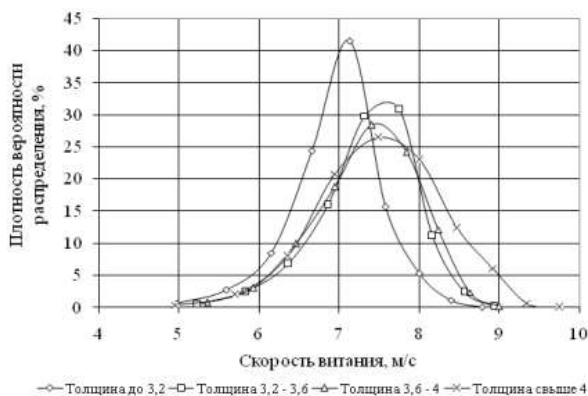
**В четвертой главе «Результаты экспериментальных исследований»** представлены результаты экспериментальных исследований.

Были изучены аэродинамические свойства составных частей вороха семян крупноплодного подсолнечника сорта Лакомка: семян основной культуры (целых, обрушенных, битых), а также органических примесей – фрагментов корзинки, стеблей, черешков листьев.

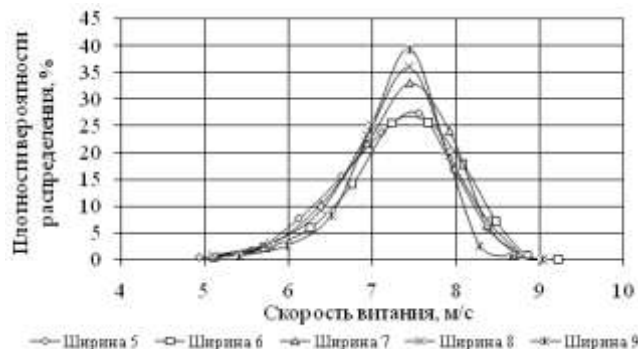
Установлено, что средняя скорость витания компонентов вороха семян составила: фрагменты корзинок – 6,68 м/с, фрагменты стеблей – 6,46 м/с, битые семена – 6,83 м/с, обрушенные семена – 7,97 м/с и семена основной культуры – 7,28 м/с. Полученные данные свидетельствуют о возможности разделения различных компонентов по аэродинамическим свойствам.

Экспериментальные данные по изучению влияния основных компонентов вороха семян крупноплодного подсолнечника на их аэродинамические свойства представлены на рисунке 9.

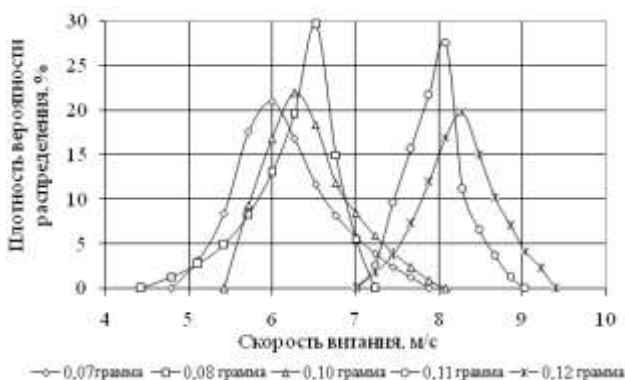




а)



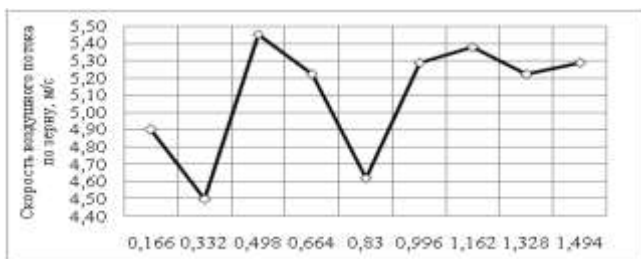
б)



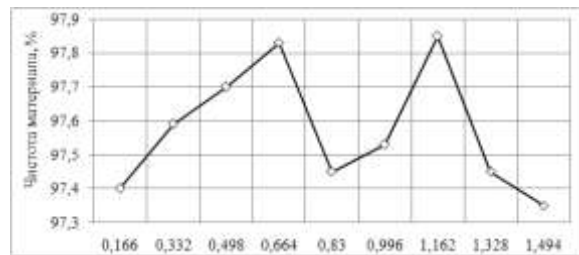
в)

Рисунок 9 – Вариационные кривые скорости витания семян крупноплодного подсолнечника сорта Лакотка по: а) толщине; б) ширине; в) индивидуальной массе

С помощью корреляционно-регрессионного анализа установлено, что на скорость витания оказывают существенное влияние толщина семян крупноплодного подсолнечника и их индивидуальная масса. В то же время ширина семян крупноплодного подсолнечника практически не влияет на скорость витания. Из этого следует, что семена крупноплодного подсолнечника перед подачей в воздушный канал целесообразно сортировать по толщине. Были изучены показатели качества работы вертикального пневматического канала № 2 семяочистительной машины МВУ–1500. Основные результаты представлены на рисунке 10.



а)



б)

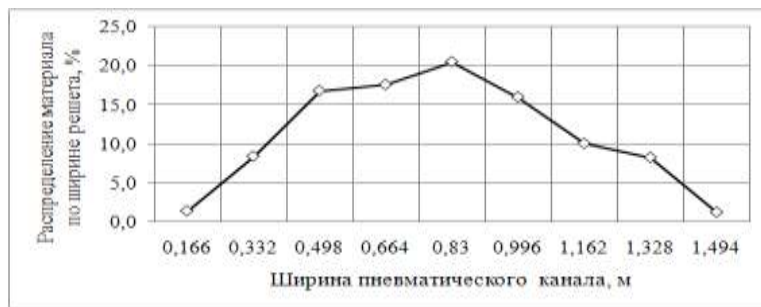


Рисунок 10 – Показатели качества работы вертикального пневматического канала № 2 сеяноочистительной машины МВУ–1500: а) скорость воздуха по зерну; б) чистота материала; в) распределение материала по ширине решета

в)

Анализ представленных данных показывает, что скорость воздушного потока по ширине канала снижается в средней части и это сказывается на качестве сортирования (рисунок 10 б).

Основные показатели качества работы сеяноочистительной машины МВУ–1500 представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Основные показатели качества сортирования семян крупноплодного подсолнечника сорта Лакомка на серийной воздушно-решетной сеяноочистительной машине МВУ–1500 (производительностью 1401 кг/ч)

Показатель	Выход фракции, %	Семян основной культуры, %		Отход, %			Масса 1000 семян, г	
		всего	в том числе обрубленных	всего	в том числе			
					орган. примеси	битые		щуплые
Исходный материал		92,01	1,2	7,99	6,39	0,49	1,11	90,2
1 аспирационный канал	4,6	51,05	–	49,95	49,61	0,05	0,29	
2 аспирационный канал	1,9	79,98	0,02	20,02	19,74	0,04	0,24	
Сход с верхнего стана решета	0,8	85,04	–	14,96	14,95	0,01	–	
Подсев верхнего стана решета	5,8	56,41	1,04	43,59	28,99	0,18	14,42	
Подсев нижнего стана решета	3,2	78,52	0,95	21,48	19,21	0,07	2,20	
Основной выход	83,7	97,61	1,29	2,39	1,83	0,41	0,15	102,8

Анализ данных таблицы 1 показывает, что вследствие неэффективной работы этого канала чистота материала составляет 97,61 %, что не соответствует требованиям ГОСТ на посевной материал. Содержание органических примесей равно 1,83 %. Все это свидетельствует о необходимости усовершенствования конструкции воздушно-решетной сеяноочистительной машины.

При оценке работы устройства для подачи вороха семян крупноплодного

подсолнечника в аспирационный канал определяли скорость ввода вороха. В результате математической обработки экспериментальных данных получено уравнение регрессии (21)

$$Y_s = 0,297 - 0,059x_2 + 0,023x_3 - 0,085x_1^2 - 0,023x_2^2 + 0,093x_3^2, \quad (21)$$

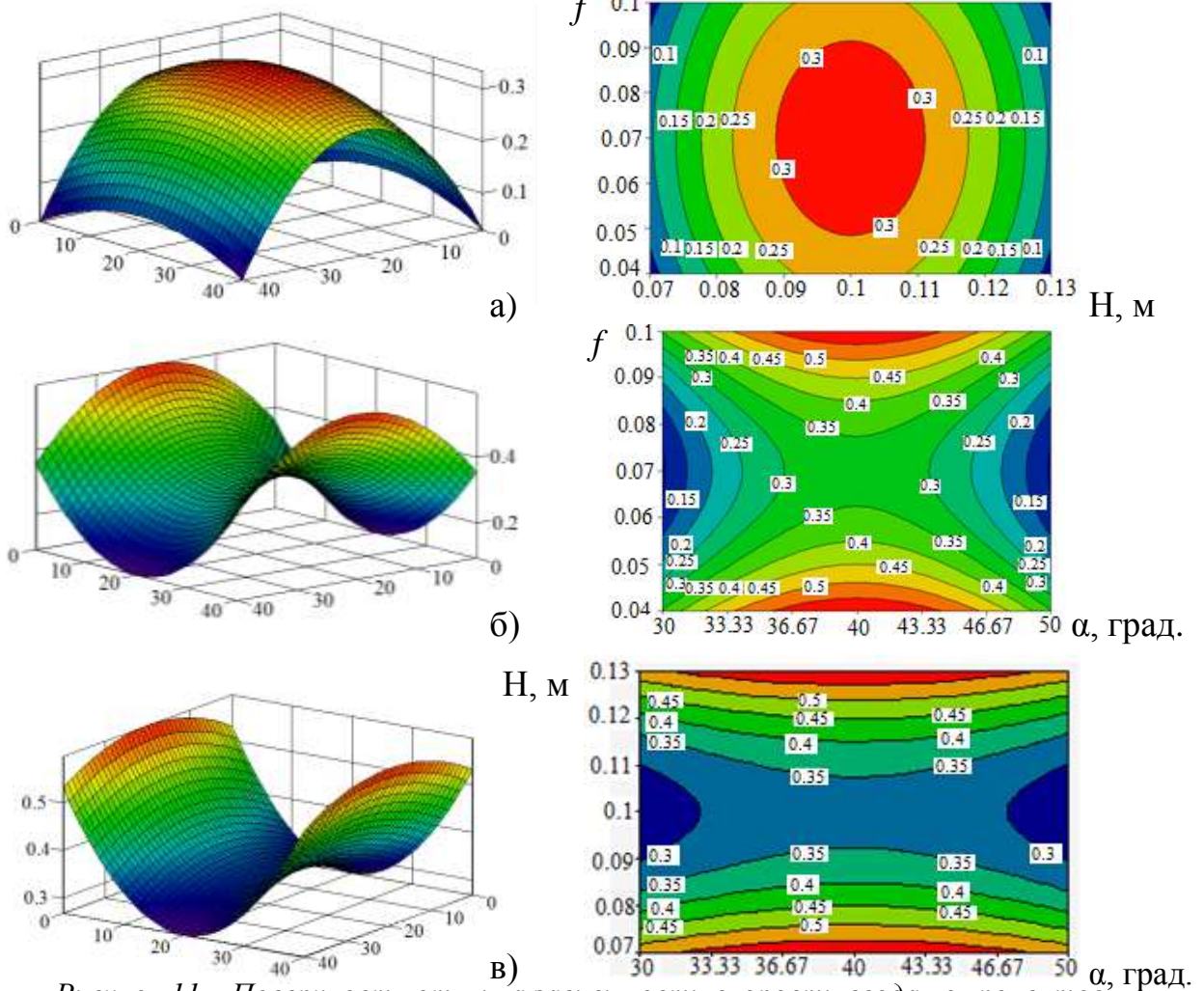


Рисунок 11 – Поверхность отклика зависимости скорости ввода компонентов в пневматический канал зерноочистительной машины от: а) коэффициента трения компонентов на скатной доске и длины скатной доски; б) коэффициента трения и угла наклона скатной доски; в) длины скатной доски и угла наклона скатной доски

Уравнение регрессии (21) в канонической форме для коэффициента трения компонентов и длины скатной доски имеет вид

$$Y - 0,33 = -0,085X_1^2 - 0,023X_2^2. \quad (22)$$

Поверхность отклика представляет собой эллипсоид (рисунок 11а), а её центр – экстремум (максимум), так как канонические коэффициенты имеют одинаковые знаки. Уравнения регрессии в канонической форме для коэффициента трения компонентов и угла наклона скатной доски (23), длины скатной доски и угла наклона скатной доски (24) имеют вид

$$Y - 0,33 = -0,085X_1^2 + 0,093X_3^2, \quad (23)$$

$$Y - 0,33 = -0,023X_2^2 + 0,093X_3^2. \quad (24)$$

Поверхность отклика представляет собой параболоид (рисунок 11б и 11в), а её центр – экстремум (максимум), так как канонические коэффициенты имеют разные знаки.

В результате исследований были определены оптимальные конструктивные параметры скатной доски: коэффициент трения  $f = 0,07$ , длина скатной доски  $H = 0,10$  м и угол наклона скатной доски  $\alpha = 40^\circ$ . Установлено, что при этих параметрах скорость ввода составляет 0,33 м/с, что позволяет повысить эффективность работы пневматического канала.

Основные показатели качества работы усовершенствованной воздушно-решетной семяочистительной машины МВУ – 1500 представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Основные показатели качества сортирования семян крупноплодного подсолнечника сорта Лакомка на переоборудованной воздушно-решетной семяочистительной машине МВУ-1500 (производительность 1572 кг/ч)

Показатель	Выход фракции, %	Семена основной культуры, %		Отход, %			Масса 1000 семян, г	
		всего	в том числе обрушенных	всего	в том числе			
					орг. примеси	битые		щуплые
Исходный материал	–	91,98	0,74	8,02	6,57	0,41	1,04	90,3
1 аспирационный канал	4,9	58,24	0,06	41,76	41,47	0,04	0,25	
2 аспирационный канал	2,9	74,05	0,05	25,95	25,69	0,03	0,23	
Сход с верхнего стана решет	1,0	82,04	–	17,96	17,96	–	–	
Подсев верхнего стана решет	6,3	55,93	2,13	44,07	34,34	0,16	9,57	
Подсев нижнего стана решет	3,8	77,46	1,15	22,54	20,00	0,05	2,49	
Основной выход	81,1	99,08	0,66	0,92	0,21	0,51	0,20	104,1

Анализ полученных данных показывает, что содержание органических примесей во 2-м аспирационном канале по сравнению с серийной машиной увеличилось и составило 25,69 %, что сказалось на выходе семян основной культуры, который составил 99,08 %, что соответствует требованиям ГОСТ на

посевной материал. При этом производительность самой машины повысилась до 1572 кг/ч.

**В пятой главе** «Экономическая эффективность» представлен расчет экономической эффективности усовершенствованной воздушно-решетной зерноочистительной машины МВУ–1500. С использованием предлагаемого подающего устройства совокупные затраты денежных средств уменьшаются на 13%, экономический эффект в расчёте на 1 т семян крупноплодного подсолнечника составил 2536 руб.

### Общие выводы

1. В результате изучения влияния основных физико-механических свойств семян крупноплодного подсолнечника на их аэродинамические свойства установлено, что скорость витания семян зависит от их толщины (4,04–10,14 м/с) и индивидуальной массы (4,43–9,39 м/с), но не зависит от ширины семян.

2. Определены траектории перемещения компонентов вороха семян с различными аэродинамическими свойствами в вертикальном воздушном потоке в зависимости от конструкции и технологических параметров подающего устройства при вводе их в канал. Установлено, что процесс разделения компонентов в пневматическом канале происходит на коротком участке 0–3 мм из-за малого угла ввода ( $\alpha_0$ ) и малых скоростей ввода ( $C_{0j}$ ) компонентов в канал, что приводит к ухудшению процесса сепарации.

3. С использованием теории потока тел были получены оптимальные скорости ввода компонентов вороха семян крупноплодного подсолнечника в вертикальный воздушный поток: для фрагментов стеблей – 0,0518 м/с, корзинок – 0,0373 м/с; обрубленных семян – 0,0381 м/с; полноценных семян – 0,0835 м/с (при толщине менее 3,2 мм; 3,2–3,6 мм), 0,0453 м/с (при толщине 3,6–4,0 мм), 0,0410 м/с (при толщине свыше 4,0 мм).

4. В результате исследований были определены оптимальные конструктивные параметры скатной доски: коэффициент трения  $f = 0,07$ , длина скатной доски  $H = 0,10$  м и угол наклона скатной доски  $\alpha = 40^\circ$ . Установлено, что при

этих параметрах скорость ввода составляет 0,33 м/с, что позволяет повысить эффективность работы пневматического канала.

При длине скатной доски  $H = 0,07$  м и  $\alpha_1 = 40^\circ$  скорость ввода компонентов в пневматический канал возрастает в 2,43 – 4,21 раза. При  $H = 0,10$  м и  $f = 0,04$  («гладкая» поверхность скатной доски) скорость ввода компонентов в канал возрастает в 4,77–9,44 раза.

Увеличение скорости ввода компонентов приводит к увеличению с 3 мм до 11 мм длины участка глубины вертикального пневматического канала, на котором происходит процесс пневматической сепарации компонентов вороха семян.

5. В результате экспериментальных исследований по усовершенствованию механизма подачи семян крупноплодного подсолнечника в пневматический канал зерноочистительной машины была определена скорость ввода компонентов вороха: для фрагментов стеблей – 0,3670 м/с, корзинок – 0,3529 м/с; обрубленных семян – 0,3535 м/с и полноценных семян – 0,3990 м/с, что несущественно отличается от расчётных (10%).

6. Усовершенствованная зерноочистительная машина МВУ–1500 используется при очистке семян крупноплодного подсолнечника в производственных условиях в ГНУ ВНИИМК. Расчёты показали, что с использованием предлагаемого подающего устройства совокупные затраты денежных средств уменьшаются на 13%, экономический эффект в расчёте на 1т семян крупноплодного подсолнечника составил 2536 руб.

### **Основные положения диссертации опубликованы**

*– в изданиях, рекомендованных ВАК:*

1. Припоров И. Е. Исследование воздушной системы зерноочистительной машины МВУ – 1500 / В. Д. Шафоростов, И. Е. Припоров // Науч.-техн. бюл. ВНИИ масличных культур. – 2008. – вып. № 2(139). – С. 82–84.

2. Припоров И. Е. Влияние толщины, ширины и индивидуальной массы семян подсолнечника на скорость их витания / В. Д. Шафоростов, И. Е. Припоров // Науч.-техн. бюл. ВНИИ масличных культур. – 2010. – вып. № 1(142–143). – С. 76–80.

3. Припоров И. Е. Моделирование процесса сепарирования семян подсолнечника в вертикальном пневматическом канале ветро-решетных зерноочистительных машин / В. Д. Шафоростов, И. Е. Припоров // Науч.-техн. бюл. ВНИИ масличных культур. – 2011. – вып. № 1 (146–147). – С. 113–118.

4. Припоров И. Е. Оценка основных закономерностей функционирования подсистемы «решётный ярус–пневмосепаратор воздушно–решётной зерноочистительной машины» / Ю. И. Ермольев, В. Д. Шафоростов, А. В. Бутовченко, И. Е. Припоров // Вестник Донской ГТУ. – 2011. – Том 11. № 4 (55). – С. 480–488.

*– в прочих изданиях:*

5. Припоров И. Е. Исследование воздушной системы зерноочистительной машины МВУ–1500 / И. Е. Припоров // Научное обеспечение агропромышленного комплекса: Материалы 2-й Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых – Краснодар: КубГАУ, 2008. – С. 342–343.

6. Припоров И. Е. Качественные показатели воздушной системы зерноочистительной машины МВУ– 1500 / И. Е. Припоров // Перспективные направления исследований в селекции и технологии возделывания масличных культур: Сб. материалов V Международной конференции молодых ученых и специалистов. – Краснодар: ВНИИ масличных культур, 2009. – С. 166–169.

7. Припоров И. Е. Влияние физико-механических свойств семян подсолнечника на их аэродинамические свойства / И. Е. Припоров // Современное состояние и приоритеты развития фундаментальных наук в регионах: Тр. VI Всероссийской научной конференции молодых ученых и студентов – Краснодар: КубГУ, 2009. – С. 36.

8. Припоров И. Е. Определение оптимальных скоростей перемещения компонентов вороха семян подсолнечника по решёткам воздушно-решётной семяочистительной машины / И. Е. Припоров // Научное обеспечение агропромышленного комплекса: Материалы IV Всероссийской научно-практической конференции молодых учёных – Краснодар: КубГАУ, 2010. – С. 421–422.

9. Припоров И. Е. Моделирование процесса сепарирования семян подсолнечника в вертикальном пневматическом канале / И. Е. Припоров // Инновационные направления исследований в селекции и технологии возделывания масличных культур: Сб. материалов VI Международной конференции молодых ученых и специалистов – Краснодар: ВНИИ масличных культур, 2011. – С. 243–246.

*– патенты на полезную модель:*

10. Пат. 90361 Российская Федерация: МПК В 07 В 4/02. Пневматический сепаратор семян подсолнечника / В. Д. Шафоростов, И. Е. Припоров; заявитель и патентообладатель ГНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт масличных культур имени В. С. Пустовойта» Россельхозакадемии. – № 2009127614/22; заявл. 17.07.2009; опубл. 10.01.2010. Бюл. № 1.

11. Пат. 86839 Российская Федерация: МПК А 01 F 12/44. Воздушно-решетный сепаратор / В. Д. Шафоростов, И. Е. Припоров; заявитель и патентообладатель ГНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт масличных культур имени В. С. Пустовойта» Россельхозакадемии. – № 2009121077/22; заявл. 02.06.2009; опубл. 20.09.2009. Бюл. № 26.

12. Пат. 91898 Российская Федерация: МПК В 0 7В 4/02. Пневматический сепаратор семян подсолнечника / В. Д. Шафоростов, И. Е. Припоров; заявитель и патентообладатель ГНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт масличных культур имени В. С. Пустовойта» Россельхозакадемии. – № 2009140423/22; заявл. 02.11.2009; опубл. 10.03.2010. Бюл. № 7.