

На правах рукописи

БУЛДАКОВ ДМИТРИЙ СЕМЕНОВИЧ

**ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ И
ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ
МАЛОГАБАРИТНОЙ ПНЕВМОСИСТЕМЫ
МАШИНЫ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОЧИСТКИ ЗЕРНА**

Специальность 05.20.01 - технологии и средства механизации
сельского хозяйства

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Киров - 2013

Работа выполнена в Государственном научном учреждении Зональный научно-исследовательский институт сельского хозяйства Северо-Востока имени Н.В.Рудницкого Российской академии сельскохозяйственных наук.

- Научный руководитель: доктор технических наук,
профессор, заслуженный
изобретатель РФ
Бурков Александр Иванович.
- Официальные оппоненты: Курбанов Рустам Файзулхакович, доктор технических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Вятская государственная сельскохозяйственная академия», заведующий кафедрой «Эксплуатация и ремонт машинно-тракторного парка»;
- Яговкин Павел Николаевич, кандидат технических наук, общество с ограниченной ответственностью «НТЛ», начальник производственного отдела.
- Ведущее предприятие: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Пермская государственная сельскохозяйственная академия».

Защита состоится 25 апреля 2013 г. в 15 часов 30 минут на заседании объединенного диссертационного совета ДМ 006.048.01 при Государственном научном учреждении Зональный научно-исследовательский институт сельского хозяйства Северо-Востока имени Н.В.Рудницкого Российской академии сельскохозяйственных наук по адресу: 610007, г. Киров, ул. Ленина, 166а, ауд. 426.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Государственного научного учреждения Зональный научно-исследовательский институт сельского хозяйства Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого Российской академии сельскохозяйственных наук.

Автореферат разослан «___» марта 2013 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат технических наук

Глушков Андрей Леонидович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность и степень разработанности темы исследования. Послеуборочная обработка зернового материала является одной из наиболее ответственных и энергоемких операций при его производстве. Сохранение посевных и товарных качеств зерна в большой степени зависит от быстрой и качественной обработки комбайнового вороха. В связи с этим возникает необходимость совершенствования имеющихся и разработки новых более эффективных и экономичных зерно- и семяочистительных машин.

Из анализа существующих зерноочистительных машин предварительной очистки можно сделать вывод, что рост их производительности достигается преимущественно за счет увеличения габаритных размеров рабочих органов, а это в свою очередь повышает энергетические затраты. В этой связи поиск более эффективных технологических и технических решений для обработки зернового вороха является важной и актуальной задачей, решение которой позволит снизить затраты на единицу получаемой продукции.

Работа выполнена в Государственном научном учреждении Зональный научно-исследовательский институт сельского хозяйства Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого Российской академии сельскохозяйственных наук.

Диссертация выполнена в соответствии с программой РАСХН 09.01.02 «Разработать высокопроизводительную технику нового поколения для производства приоритетных групп продукции растениеводства» №ГР 15070.5074001713.06.8.002.7.

Цель и задачи исследования. Целью исследования является снижение энергетических затрат при высоком качестве очистки зернового вороха за счет уменьшения габаритных размеров пневмосистемы машины предварительной очистки зерна и улучшения условий ввода очищаемого материала в пневмосепарирующий канал.

Для решения данной цели определены следующие задачи исследования:

- разработать конструктивно-технологическую схему малогабаритной пневмосистемы машины предварительной очистки зерна;
- теоретически и экспериментально исследовать процесс очистки зернового вороха с помощью бокового воздушного потока;
- теоретически обосновать схему подвода воздуха и экспериментально определить конструктивные параметры канала предварительной очистки;
- обосновать конструктивные параметры наклонного пневмосепарирующего канала основной очистки, параметры и положение питающего валика относительно загрузочного-распределительного устройства, осадочной камеры и малогабаритного инерционного жалюзийно-противоточного пылеуловителя;
- изучить влияние влажности, засоренности, удельной подачи зернового материала на качественные показатели работы пневмосистемы машины предварительной очистки зерна;
- провести исследования и оценить эффективность работы опытного образца малогабаритной пневмосистемы машины предварительной очистки зерна в хозяйственных условиях.

Научная новизна. Разработана пневмосистема зерноочистительной машины, содержащая диаметральный вентилятор, наклонные пневмосепарирующие каналы предварительной и основной очистки, шнековое загрузочно-распределительное устройство, приемную камеру, осадочную камеру, дроссельные заслонки, устройства для ввода и вывода зернового материала, а также его фракций, и инерционный жалюзийно-противоточный пылеуловитель. Патентами РФ на изобретение №№ 2350406, 2358814, 2377048, 2399419 подтверждена новизна технических решений.

Теоретическая и практическая значимость. Выведены аналитические зависимости для расчета траекторий движения компонентов зернового вороха в приемной камере под действием бокового воздушного потока с учетом силы сопротивления слоя материала.

Получены математические модели функционирования пневмосепарирующих каналов предварительной и основной очистки, осадочной камеры, пылеуловителя и определены их оптимальные конструктивно-технологические параметры.

На основании проведенных теоретических и экспериментальных исследований создана малогабаритная пневмосистема машины предварительной очистки зерна, обеспечивающая снижение энергетических затрат при высоком качестве очистки зернового вороха.

С учетом результатов исследований малогабаритной пневмосистемы разработана конструкторская и техническая документация, изготовлен опытный образец машины предварительной очистки зерна МПЗ-50, который установлен в технологическую линию зерноочистительно-сушильного комплекса с сушилкой М-819 ООО Агрофирмы "Подгорцы" Кировской области.

Методология и методы исследований. В качестве объектов исследования выбраны процесс очистки зернового вороха воздушным потоком, экспериментальный и опытный образцы пневмосистемы машины предварительной очистки зерна.

Экспериментальные исследования проводились по стандартным и разработанным нами методикам. При реализации, подготовке и обработке результатов экспериментов применялись методы математической статистики и теории планирования многофакторного эксперимента с применением ЭВМ.

Положения, выносимые на защиту:

- технологическая и конструктивная схемы малогабаритной пневмосистемы машины предварительной очистки зерна;
- аналитические зависимости для расчета траекторий движения легких частиц под действием бокового воздушного потока;
- математические модели функционирования и оптимальные конструктивно-технологические параметры каналов предварительной и основной очистки, осадочной камеры, инерционного жалюзийно-противоточного пылеуловителя малогабаритной пневмосистемы машины предварительной очистки зерна;
- результаты функционирования в хозяйственных условиях малогабаритной пневмосистемы опытного образца машины предварительной очистки зерна МПЗ-50;
- результаты энергетической и экономической оценки машины предварительной очистки с разработанной пневмосистемой.

Степень достоверности и апробация результатов. Достоверность основных выводов подтверждена результатами экспериментальных исследований пневмосистемы и предварительных испытаний опытного образца машины предварительной очистки зерна, разработанной при участии автора.

Основные положения диссертационной работы доложены на научных конференциях профессорско-преподавательского состава Вятской ГСХА (2008, 2009 и 2011 гг.).

По материалам исследований опубликовано 15 научных статей, в том числе 6 статей в изданиях из перечня ВАК, и получено 4 патента РФ на изобретения.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Введение содержит суть выполненной работы и основные положения, выносимые на защиту.

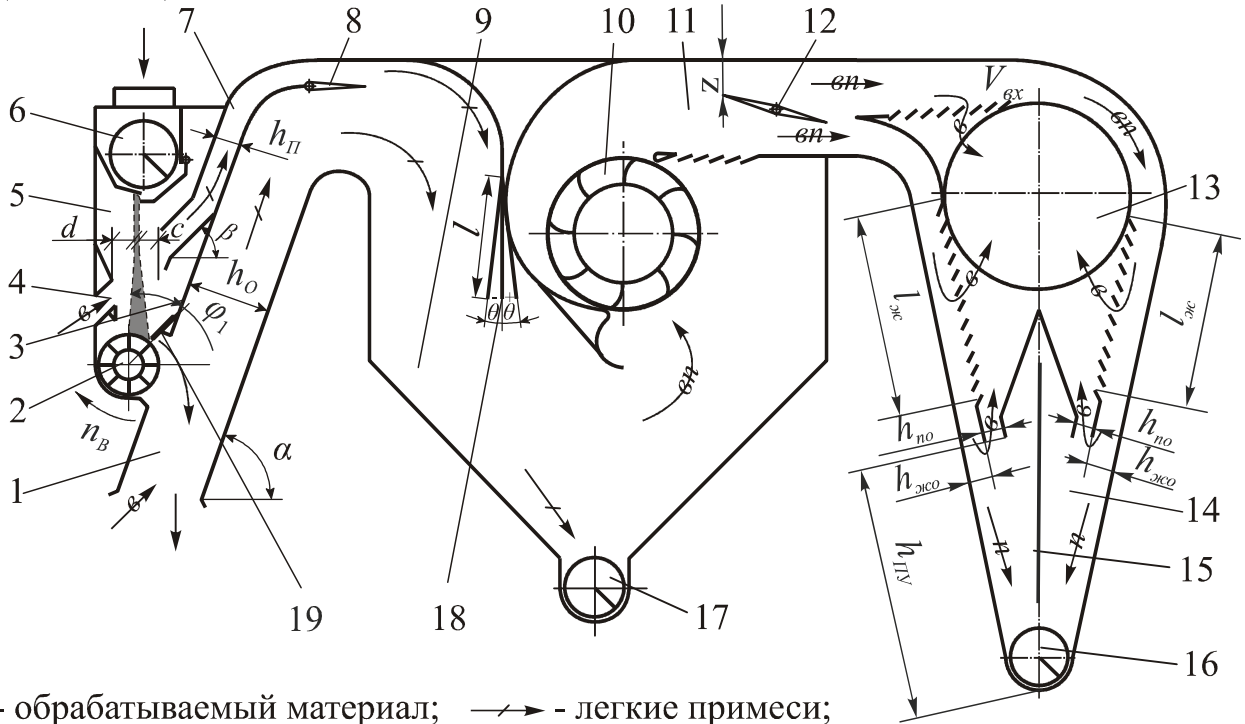
В первом разделе «Состояние вопроса и задачи исследований» выполнено агротехническое обоснование предварительной очистки зернового вороха, анализ конструкций машин предварительной очистки зерна и их основных рабочих органов. В результате проведенного анализа, а также рассмотрения научных работ А.В. Алешкина, А.И. Буркова, В.В. Гортинского, А.Б. Демского, В.М. Дринчи, Н.В. Жолобова, А.Н. Зюлина, Н.И. Косилова, С.В. Корнеева, А.Я. Малиса, А.И. Нелюбова, В.И. Орбинского, Н.П. Сычугова, А.П. Тарасенко, З.Л. Тица и других ученых установлено, что машины предварительной очистки зерна имеют значительные габаритные размеры. Уменьшение габаритных размеров снизит приведенные затраты на обработку зернового вороха. При этом применение бокового воздушного потока позволит перед подачей в канал основной очистки расслоить обрабатываемый материал по аэродинамическим свойствам, а также выделить из него пыль и часть легких примесей.

Во втором разделе «Обоснование технологической схемы, параметров приемной камеры и устройства ввода малогабаритной пневмосистемы машины предварительной очистки зерна» разработана схема малогабаритной аспирационной пневмосистемы зерноочистительной машины (рисунок 1), обоснована схема подвода воздуха в зону сепарации канала предварительной очистки, рассмотрен процесс выделения легких примесей из свободно падающей зерновой струи боковым воздушным потоком и процесс работы питающего валика.

При обосновании схемы подвода воздуха в зону сепарации выявлено, что наиболее предпочтительным является схема подвода воздуха в зону сепарации канала предварительной очистки с помощью воздухоподводящего канала.

Для того чтобы наилучшим образом расположить питающий валик относительно окна загрузочно-распределительного устройства, необходимо определить траектории движения компонентов зернового материала в приемной камере. Рассмотрим движение частицы зернового материала в приемной камере, предположив, что воздушный поток равномерен по сечению канала. Движение частицы от загрузочного устройства до питающего валика рассмотрим на трех участках (рисунок 2). Первый участок *I* - движение частицы от загрузочного устройства до начала взаимодействия частицы с боковым воздушным потоком, второй участок *II* - движение частицы в зоне действия бокового воздушного потока, третий участок

III – движение частицы после выхода из зоны действия бокового воздушного потока до питающего валика.



—> - обрабатываемый материал; $v_{\text{а}}$ - легкие примеси;
 $-v_{\text{п}}$ - пылевоздушный поток; $-v$ - пыль;
 $-v$ - воздушный поток

Рисунок 1 - Технологическая схема малогабаритной аспирационной пневмосистемы: 1 - пневмосепарирующий канал основной очистки; 2 - питающий валик; 3 - смежная стенка; 4 – входное окно; 5 - приемная камера; 6 - загрузочно-распределительное устройство; 7 - канал предварительной очистки; 8 - переключатель режима работы; 9 - осадочная камера; 10 - диаметральный вентилятор; 11 - выходной патрубок; 12 - дроссельная заслонка; 13 - отводящий патрубок; 14 - инерционный жалюзийно-противоточный пылеуловитель; 15 – вертикальная перегородка; 16, 17 - устройства вывода фракций; 18 - отражательная перегородка; 19 - уплотняющий козырек

На участке I на частицу действуют сила тяжести mg , направленная вертикально вниз, и аэродинамическая сила R_1 :

$$\bar{R}_1 = -m \cdot k_{\text{п}} \cdot V^2, \quad (1)$$

где m – масса частицы, кг;

$k_{\text{п}}$ – коэффициент парусности, м^{-1} ;

V - скорость движения частицы, м/с.

На участке II на частицу кроме силы тяжести mg действуют силы R_B и $R_{\text{сл}}$ сопротивления воздуха и сопротивления слоя материала:

$$\bar{R}_B = -m \cdot k_{\text{п}} \cdot V_r^2 \cdot \frac{\bar{V}_r}{V_r}, \quad (2)$$

где $\bar{V}_r = \bar{V} - \bar{V}_B$ - вектор относительной скорости;

V_r - модуль относительной скорости, м/с;

\bar{V}_B - скорость воздушного потока в зерновом материале, м/с.

Сила сопротивления слоя материала направлена противоположно относительной скорости движения слоя материала:

$$\bar{R}_{сл} = -\varphi \cdot \bar{v}_r \cdot m, \quad (3)$$

где φ - коэффициент сопротивления слоя материала;

$\bar{v}_r = \bar{V} - \bar{V}_{сл}$ - вектор относительной скорости движения слоя;

$\bar{V}_{сл}$ - вектор абсолютной скорости слоя материала, м/с.

При этом следует отметить, что на частицы, находящиеся на поверхности зернового материала со стороны канала предварительной очистки, сила сопротивления слоя материала не оказывает влияния.

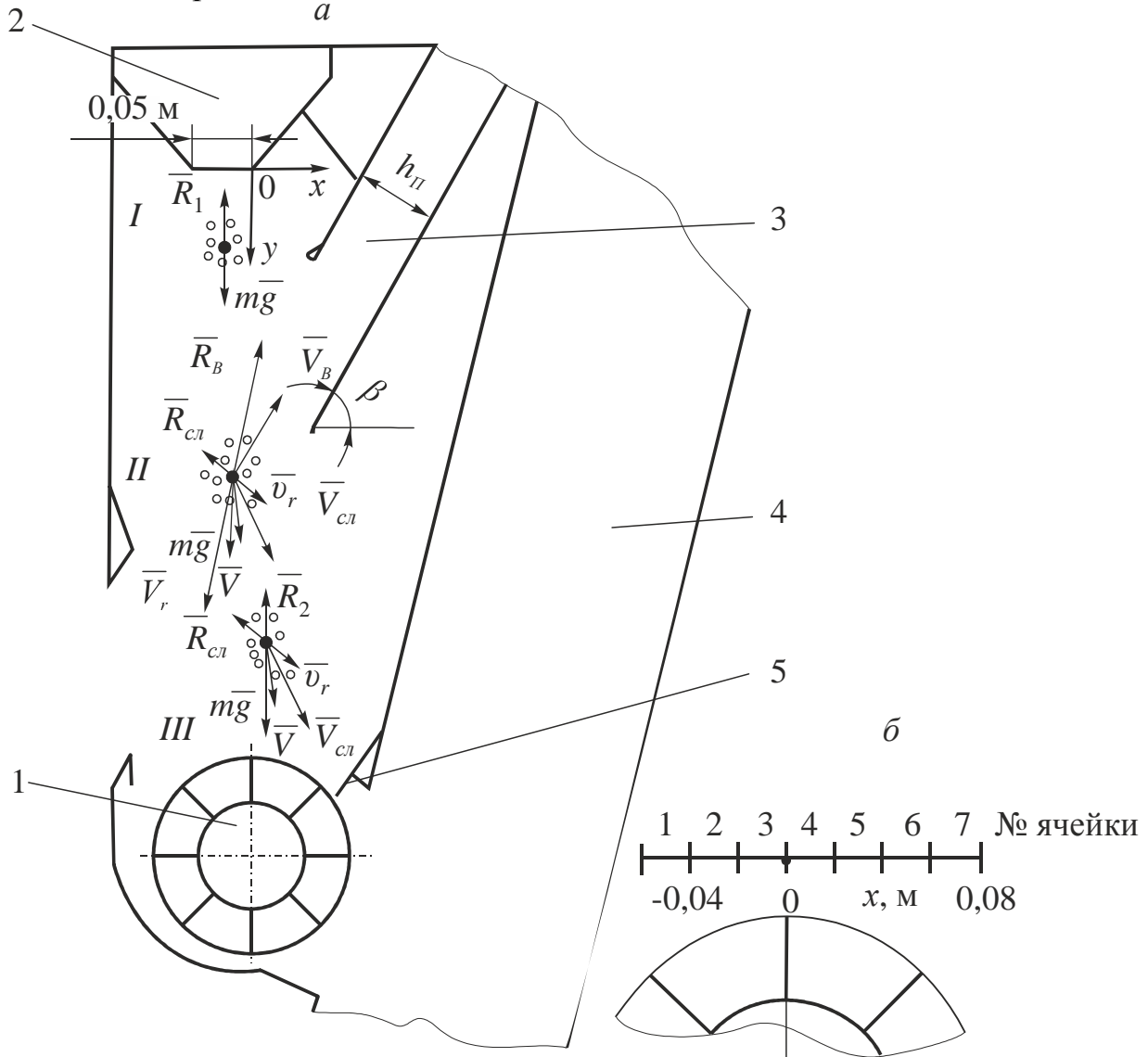


Рисунок 2 – Движение частицы в приемной камере: *a* – силы, действующие на частицу; *б* – зона падения частиц на питающий валик с указанием № ячеек; 1 – питающий валик; 2 – загрузочно-распределительное устройство; 3 – канал предварительной очистки; 4 – канал основной очистки; 5 – уплотняющий козырек

На участке *III* на частицу действуют силы: аэродинамическая R_2 , тяжести mg и сопротивления слоя материала $R_{сл}$.

Отнесем начало координат в начальную точку движения частицы на первом участке и исследуем ее движение в проекциях на оси координат x и y .

Составим дифференциальное уравнение движения частицы на первом участке:

$$m\bar{W}_y = m\bar{g} + \bar{R}_1, \quad (4)$$

где W_y – ускорение частицы, м/с².

В проекции на ось y получим в виде:

$$m \frac{dV_{1y}}{dt} = mg - k_{II} \cdot V_{1y}^2 \cdot m. \quad (5)$$

Решая численно уравнение (5) при начальных условиях $y(0)=0$, $V_{1y}(0)=0$, получаем уравнение для определения скорости частицы при входе во второй участок:

$$V_{1y} = \sqrt{\frac{g(1 - e^{-2k_{II}y})}{k_{II}}}. \quad (6)$$

Запишем дифференциальное уравнение движения частицы на втором участке в векторной форме:

$$m\bar{W}_y = m\bar{g} + \bar{R}_B + \bar{R}_{cl}. \quad (7)$$

Для определения вектора перемещения слоя материала рассматриваем движение частицы под действием силы сопротивления воздуха и силы тяжести.

Дифференциальное уравнение движения частицы в векторной форме:

$$m\bar{W}_y = m\bar{g} + \bar{R}_B. \quad (8)$$

Сила сопротивления воздуха

$$\bar{R}_B = -m \cdot k_{II} \cdot \mathbf{v}_r \cdot \frac{\bar{v}_r}{v_r} = -m \cdot k_{II} \cdot |\mathbf{v}_r| \cdot \bar{v}_r, \quad (9)$$

$$|\mathbf{v}_r| = \sqrt{(\dot{x} - V_{Bx})^2 + (\dot{y} - V_{By})^2}. \quad (10)$$

Уравнение (8) с учетом проекций сил на декартовы оси координат Ox и Oy и после сокращения на m запишется в виде:

$$\begin{cases} \ddot{x} = -k_{II}(\dot{x} - V_{Bx}) \cdot \sqrt{(\dot{x} - V_{Bx})^2 + (\dot{y} - V_{By})^2}; \\ \ddot{y} = g - k_{II}(\dot{y} - V_{By}) \cdot \sqrt{(\dot{x} - V_{Bx})^2 + (\dot{y} - V_{By})^2}. \end{cases} \quad (11)$$

Решая численно систему уравнений (11) в Mathcad 14, определяем значения скорости V_{cl} слоя материала по осям Ox и Oy .

Определив направление движения слоя материала, найдем траекторию движения частицы с учетом силы сопротивления слоя.

Определим коэффициент сопротивления слоя материала, исходя из равенства работ по перемещению частицы по поверхности зернового слоя и по перемещению частицы внутри зернового слоя.

Коэффициент сопротивления слоя материала

$$\varphi = \frac{g \cdot f}{v_r} \cdot \sqrt[3]{\frac{\epsilon_n}{\epsilon_v}}, \quad (12)$$

где $\varepsilon_n, \varepsilon_v$ - скважность зерновой струи в насыпном и движущемся состоянии;
 f - коэффициент трения частицы о зерновой слой.
 Уравнение (3) с учетом (12) получим в виде

$$\bar{R}_{cl} = -\frac{g \cdot f}{v_r} \cdot \sqrt[3]{\frac{\varepsilon_n}{\varepsilon_v}} \cdot \bar{v}_r \cdot m. \quad (13)$$

Тогда (7) с учетом проекций сил на декартовы оси координат Ox и Oy и после сокращения на m запишется в виде:

$$\begin{cases} \ddot{x} = -k_{II}(\dot{x} - V_{Bx}) \cdot \sqrt{(\dot{x} - V_{Bx})^2 + (\dot{y} - V_{By})^2} - \\ \frac{gf}{\sqrt{(\dot{x} - V_{clx})^2 + (\dot{y} - V_{cly})^2}} \cdot k_\varepsilon \cdot (\dot{x} - V_{clx}); \\ \ddot{y} = g - k_{II}(\dot{y} - V_{By}) \cdot \sqrt{(\dot{x} - V_{Bx})^2 + (\dot{y} - V_{By})^2} - \\ \frac{gf}{\sqrt{(\dot{x} - V_{clx})^2 + (\dot{y} - V_{cly})^2}} \cdot k_\varepsilon \cdot (\dot{y} - V_{cly}), \end{cases} \quad (14)$$

где $V_{Bx} = V_B \cdot \cos \beta$, $V_{By} = V_B \cdot \sin \beta$;

β – угол наклона вектора скорости \bar{V}_B к горизонтали;

k_ε – коэффициент скважности зерновой струи, $k_\varepsilon = \sqrt[3]{\varepsilon_n / \varepsilon_v}$.

Представим дифференциальное уравнение движения частицы на третьем участке в векторной форме:

$$m \bar{W}_q = m \bar{g} + \bar{R}_2 + \bar{R}_{cl}. \quad (15)$$

Выражение (15) с учетом проекций сил на декартовы оси координат Ox и Oy и сокращением на m запишется в виде:

$$\begin{cases} \ddot{x} = -k_{II} \dot{x}^2 - \frac{gf}{\sqrt{(\dot{x} - V_{clx})^2 + (\dot{y} - V_{cly})^2}} \cdot k_\varepsilon \cdot (\dot{x} - V_{clx}); \\ \ddot{y} = g - k_{II} \dot{y}^2 - \frac{gf}{\sqrt{(\dot{x} - V_{clx})^2 + (\dot{y} - V_{cly})^2}} \cdot k_\varepsilon \cdot (\dot{y} - V_{cly}). \end{cases} \quad (16)$$

Системы уравнений (14) и (16) не имеют точного аналитического решения. Поэтому решаем их численно в компьютерной программе Mathcad 14, предварительно дополнив данные системы уравнений начальными условиями: для второго участка $x(0)=0 \dots -0,05$ м, $y(0)=0,07 \dots 0,20$ м согласно конструкции, $\dot{y}(0)=V_{1y}$, $\dot{x}(0)=0$; для третьего участка по результатам расчетов $x(0)=-0,043 \dots 0,052$ м, $y(0)=0,285 \dots 0,430$ м, $\dot{x}(0)=V_{2x}$, $\dot{y}(0)=V_{2y}$ и задавшись коэффициентами трения $f=0,4$, скважности зерновой струи $k_\varepsilon=0,84$, углом наклона $\beta=60^\circ$ и глубиной $h_{II}=0,07$ м канала предварительной очистки.

Результаты расчета траекторий движения частиц легких примесей и зерна в приемной камере с коэффициентами парусности $k_{II}=9,81 \text{ м}^{-1}$ и $k_{II}=0,12 \text{ м}^{-1}$ при скорости воздушного потока в зерновом слое $V_B=7$ и 12 м/с представлены на рисунке

3. Траектории движения частиц легких примесей и зерна в приемной камере с коэффициентами парусности $k_{II}=1,09, 9,81$ и $0,12 \text{ м}^{-1}$ при $V_B=12 \text{ м/с}$ представлены на рисунке 4.

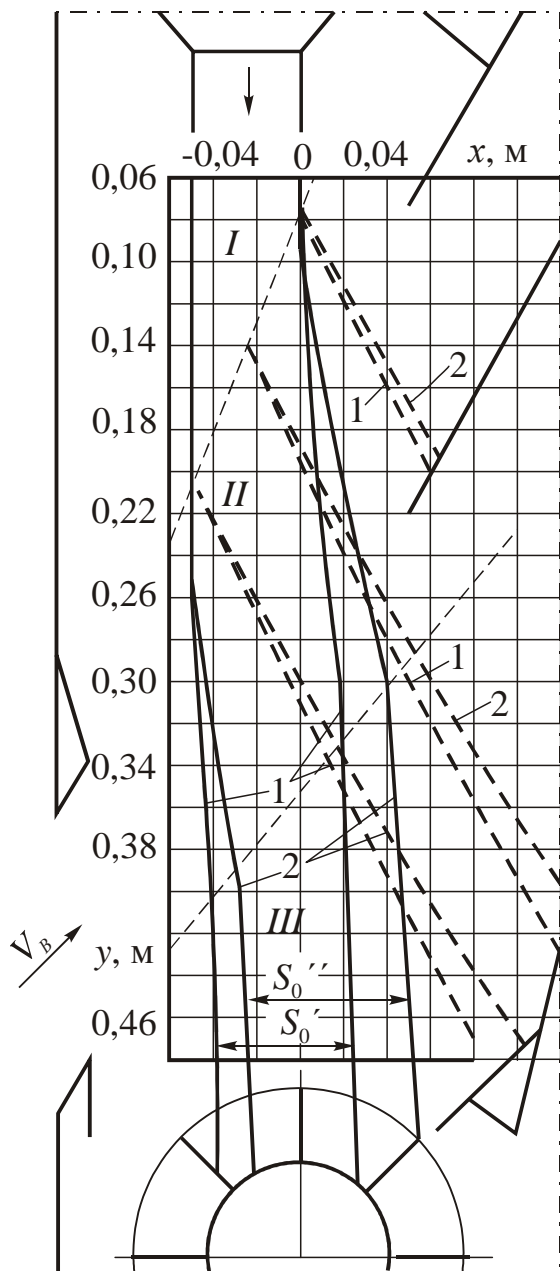


Рисунок 3 - Траектории движения частиц легких примесей (---, $k_{II}=9,81 \text{ м}^{-1}$) и зерна (—, $k_{II}=0,12 \text{ м}^{-1}$) в приемной камере при различной скорости воздушного потока в зерновом материале: 1 - $V_B=7 \text{ м/с}$; 2 - $V_B=12 \text{ м/с}$

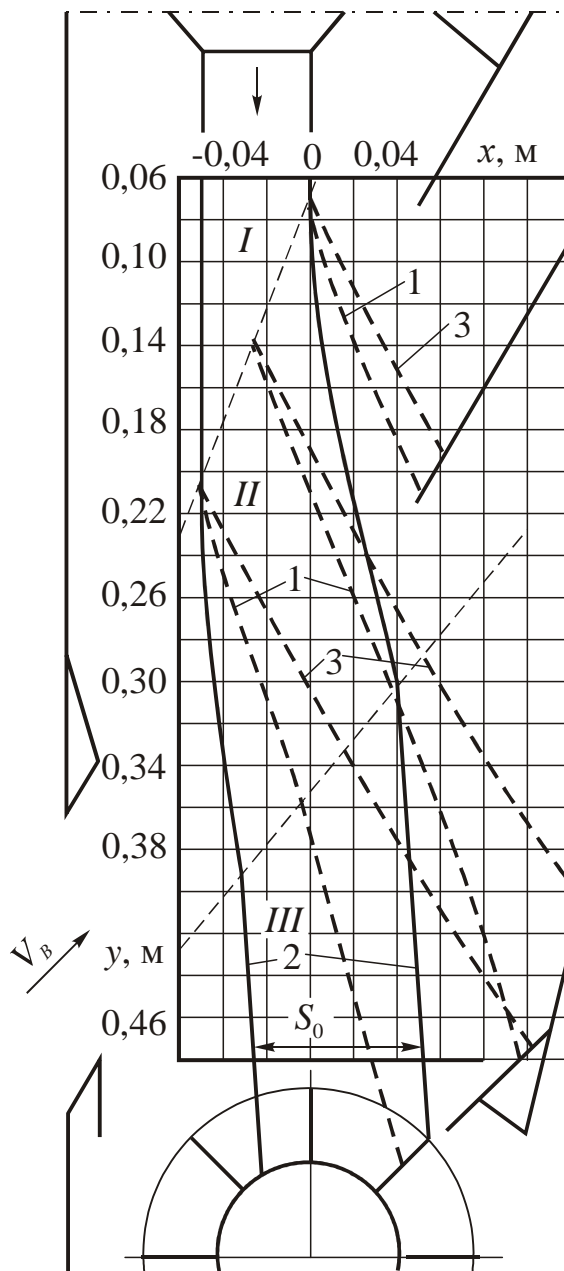


Рисунок 4 - Траектории движения частиц легких примесей (---) и зерна (—) в приемной камере при скорости воздуха в зерновом материале $V_B=12 \text{ м/с}$ с коэффициентами парусности: 1 - $k_{II} = 1,09 \text{ м}^{-1}$; 2 - $k_{II} = 0,12 \text{ м}^{-1}$; 3 - $k_{II} = 9,81 \text{ м}^{-1}$

Из рисунка 3 видно, что с увеличением скорости воздушного потока V_B в зерновом материале его компоненты перемещаются в сторону пневмосепарирующего канала на большее расстояние. Так, при увеличении скорости V_B от 7 до

12 м/с частицы легких примесей смещаются дальше на 0,025 м, а частицы зерна на 0,016 м.

Частицы легких примесей, находящиеся в пограничном слое зерновой струи со стороны воздухоподводящего канала и имеющие коэффициент парусности $k_{\Pi}=1,09\text{м}^{-1}$, перемещаются на 0,046 м, а имеющие $k_{\Pi}=9,81\text{м}^{-1}$ перемещаются на большее расстояние и падают на уплотняющий козырек, а затем под действием силы тяжести скатываются на питающий валик. Легкие частицы, находящиеся на поверхности зерновой струи со стороны канала предварительной очистки, под действием бокового воздушного потока удаляются из зоны сепарации в осадочную камеру пневмосистемы.

Анализ процесса перемещения компонентов зернового материала под действием бокового воздушного потока в приемной камере зерноочистительной машины позволил определить положение питающего валика относительно окна загрузочно-распределительного устройства и его минимальный наружный диаметр. Окно загрузочно-распределительного устройства должно располагаться над вторым квадрантом питающего валика, наружный диаметр которого должен быть не менее толщины струи S_0 основного зерна в месте его падения на валик (в рассматриваемом варианте $S_0 \approx 0,08\text{м}$).

При обосновании параметров питающего валика с верхней подачей зернового материала в наклонный пневмосепарирующий канал нами было изучено влияние частоты вращения питающего валика $n_B=120\dots220\text{ мин}^{-1}$, угла $\varphi_1=0\dots80^\circ$, определяющего положение уплотняющего козырька относительно вертикали, и внутреннего и наружного радиусов $r_1=0,025\dots0,065\text{ м}$ и $r_2=0,06\dots1,0\text{ м}$ валика (рисунок 2) на радиальную V_{r2} и абсолютную V_{02} скорости, угол α_2 ввода последней частицы и угол φ_2 поворота валика.

При расчете установлено, что изменение размеров r_1 и r_2 дает противоположный эффект. Так, при увеличении r_1 от 0,025 до 0,065 значения всех исследуемых аргументов V_{r2} , V_{02} , α_2 , φ_2 снижаются, а при увеличении r_2 , наоборот, повышаются. Оптимальные значения изучаемых параметров будут достигаться при радиусах $r_1 = 0,04\dots0,05\text{ м}$, $r_2 = 0,07\dots0,09\text{ м}$.

С учетом удельной нагрузки, а также результатов проведенного выше исследования, определены внутренний и наружный радиусы питающего валика и минимальная частота его вращения $r_1 = 0,045\text{ м}$, $r_2 = 0,08\text{ м}$ и $n_{B\text{min}} = 110\text{ мин}^{-1}$.

В третьем разделе «Программа и методика экспериментальных исследований» в соответствии с поставленными задачами изложена программа исследований, общепринятые и частные методики исследований и обработки экспериментальных данных. Разработана методика исследования распределения компонентов зернового материала по длине приемной камеры. Описаны экспериментальная установка (рисунок 5), использованные приборы и оборудование.

Для проведения опытов использовали искусственно приготовленную зерновую смесь влажностью 14 %, состоящую из зерна пшеницы сорта «Иргина» толщиной более 1,7 мм (95%) и легких примесей (5%). В качестве легких примесей применяли древесный опил, аэродинамические свойства которого были схожи с аэродинамическими свойствами легких примесей зернового вороха пшеницы сорта «Иргина».

Статистическую обработку результатов экспериментов и построение поверхностей отклика моделей регрессии выполняли на персональном компьютере с помощью прикладных программ *Statgraphics Plus 5.1* и *Microsoft Excel 2007*.



Рисунок 5 - Общий вид экспериментальной установки для исследования малогабаритной пневмосистемы машины предварительной очистки зерна (ширина проточной части $B=0,3$ м)

В четвертом разделе «Результаты экспериментальных исследований малогабаритной пневмосистемы машины предварительной очистки зерна» определены основные конструктивные и технологические параметры пневмосистемы машины предварительной очистки зерна.

Однофакторные исследования процесса очистки зернового вороха с помощью бокового воздушного потока позволили определить влияние скорости воздушного потока в канале предварительной очистки и основных конструктивно-технологических параметров на процесс сепарации зернового вороха и эффект E_{II} выделения легких примесей каналом предварительной очистки.

Для определения оптимальных конструктивных параметров канала предварительной очистки 7 (рисунок 1) был реализован план эксперимента Бокса-Бенкина второго порядка для четырех факторов (глубина $h_{II}(x_1)$, угол $\beta(x_2)$ наклона канала предварительной очистки, расстояния $c(x_3)$ и $d(x_4)$ от обрабатываемого материала до канала и входного окна) при удельной подаче зернового материала $q=9,9$ кг/(с·м) и потерях зерна в отходы $\Pi_3=0,05$ %.

После реализации плана и обработки результатов эксперимента получена адекватная математическая модель второго порядка эффекта очистки зерна каналом предварительной очистки от легких примесей (%):

$$Y_{E_{II}} = 17,1 + 1,9x_1 + 3,7x_2 - x_3 - 0,1x_4 - 1,7x_1^2 + 0,2x_1x_2 + 0,7x_1x_3 - 0,5x_1x_4 + 0,8x_2x_3 + x_2x_4 - 1,5x_3^2 - 0,3x_3x_4 - 1,9x_4^2. \quad (17)$$

Анализ математической модели (17) проводили с помощью двумерных сечений поверхности отклика (рисунок 6). Максимальное значение эффекта очистки зерна каналом предварительной очистки от легких примесей $E_{II} = 21,5\%$ достигается при $x_1 = 0,6$ ($h_{II} = 0,076$ м); $x_2 = 1$ ($\beta = 60^\circ$); $x_3 = 0,1$ ($c = 0,052$ м) и $x_4 = 0,1$ ($d = 0,052$ м).

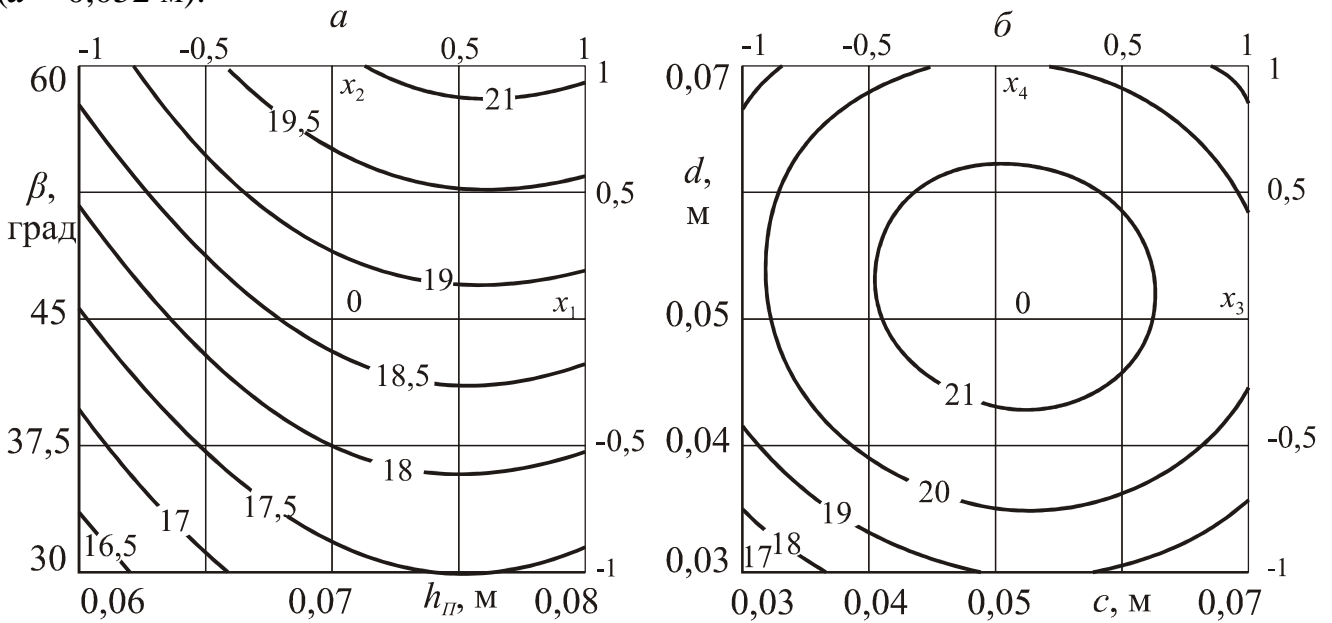


Рисунок 6 – Двумерные сечения поверхности отклика, характеризующие эффект E_{II} очистки зерна боковым воздушным потоком от легких примесей: *a* – при $x_3 = 0,1$ ($c = 0,052$ м) и $x_4 = 0,1$ ($d = 0,052$ м); *б* – при $x_1 = 0,6$ ($h_{II} = 0,076$ м) и $x_2 = 1$ ($\beta = 60^\circ$)

Для определения оптимальных конструктивно-технологических параметров канала основной очистки был реализован план эксперимента Бокса-Бенкина второго порядка для трех факторов (глубина h_{II} (x_1) ПСК, угол α (x_2) наклона ПСК, частота n_B (x_3) вращения питающего валика) при удельной подаче зернового материала $q = 9,9$ кг/(с·м) и потерях зерна в отходы $\Pi_3 = 0,05\%$. При этом уплотняющий козырек 5 (рисунок 2) установлен под углом $\varphi_1 = 30^\circ$.

После реализации плана и обработки результатов эксперимента получена адекватная математическая модель второго порядка эффекта очистки зерна в ПСК основной очистки от легких примесей (%):

$$Y_{E_0} = 79,0 + 5,3x_1 + 0,3x_2 + 3,1x_3 - 0,2x_1^2 + 2,8x_1x_2 - 0,2x_1x_3 - 3,5x_2^2 - 2,4x_2x_3 - x_3^2. \quad (18)$$

Анализ математической модели (18) проводили с помощью двумерных сечений поверхности отклика (рисунок 7).

Максимальное значение эффекта очистки зерна от легких примесей $E_0 = 86,1\%$ достигается при $x_1 = 1$ ($h_0 = 0,24$ м); $x_2 = 0,1$ ($\alpha = 76^\circ$) и $x_3 = 1$ ($n_B = 160$ мин⁻¹).

Для определения оптимальной частоты n_B (x_1) вращения питающего валика и угла φ_1 (x_2), определяющего положение уплотняющего козырька, был реализован трехуровневый план эксперимента 3^2 второго порядка, с границами исследо-

вания факторов $n_B=160\dots 200 \text{ мин}^{-1}$ и $\varphi_1=30\dots 60^\circ$. После реализации плана и обработки результатов эксперимента установлено, что максимальное значение эффекта очистки зерна от легких примесей достигается при $x_1=-0,22$ ($n_B=176 \text{ мин}^{-1}$) и $x_2=0,58$ ($\varphi_1 = 54^\circ$).

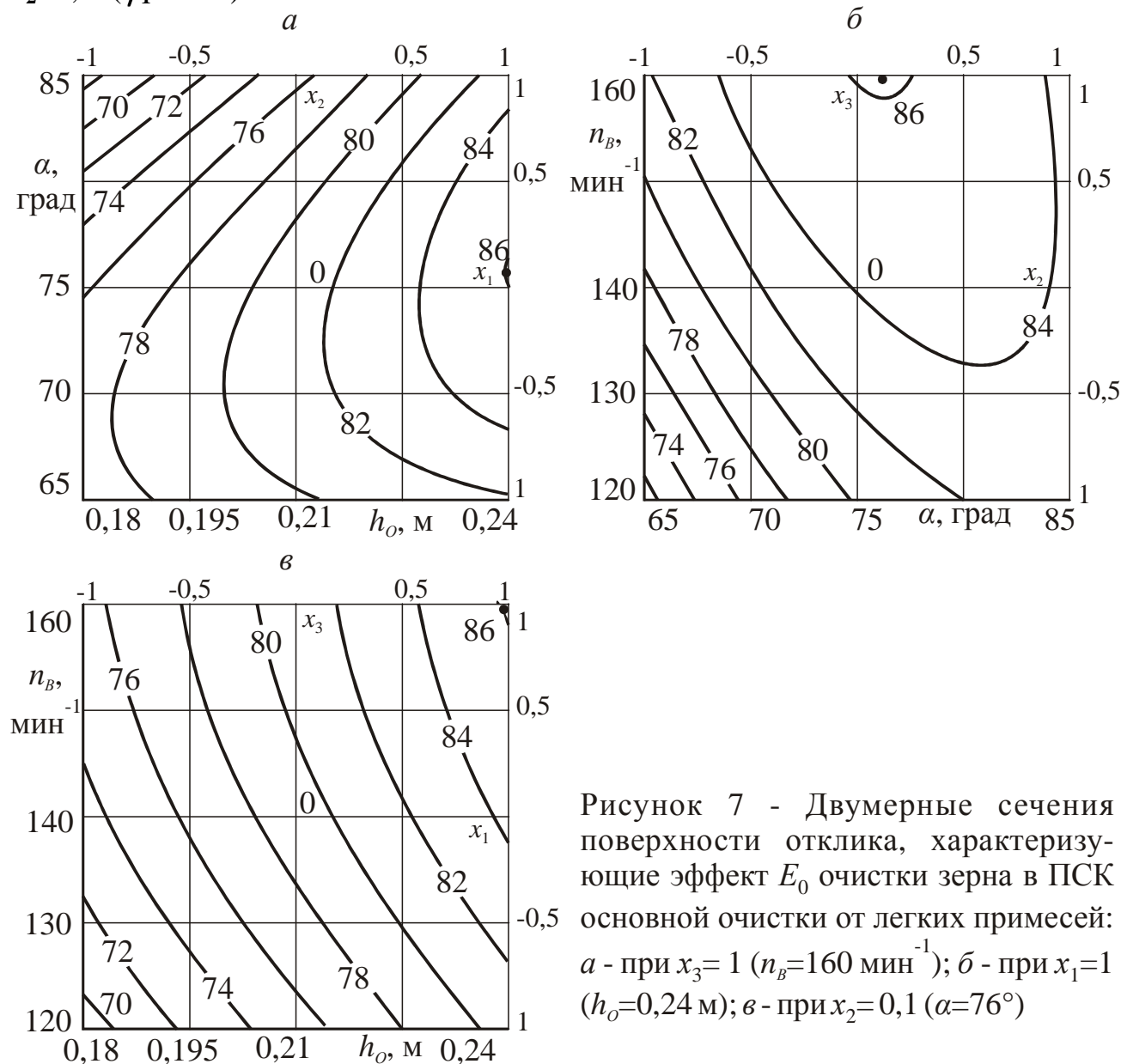


Рисунок 7 - Двумерные сечения поверхности отклика, характеризующие эффект E_0 очистки зерна в ПСК основной очистки от легких примесей: а - при $x_3=1$ ($n_B=160 \text{ мин}^{-1}$); б - при $x_1=1$ ($h_o=0,24 \text{ м}$); в - при $x_2=0,1$ ($\alpha=76^\circ$)

Исследование распределения компонентов зернового материала по длине приемной камеры подтвердило результаты теоретического исследования. Загрузочно-распределительное устройство должно располагаться по вертикали над вторым квадрантом питающего валика, поскольку в секциях 1, 2, 3 содержится наименьшее процентное содержание легких примесей, и этот материал будет укладываться на дно ячеек питающего валика. При этом следует отметить, что в секциях 1, 2, 3 содержится примерно 65% зернового материала от исходного.

Выполнено исследование осадочной камеры 9 (рисунок 1) с V-образным движением воздуха. Задачей данного исследования являлось уточнение длины l и положения прямолинейной части отрагательной перегородки относительно вертикали, определяемого углом θ . Для проведения исследования использовали трех-

уровневый план эксперимента 3^2 второго порядка с границами исследования факторов $l=0,04\dots0,24$ м и $\theta=-15\dots15^\circ$. Установлено, что максимальное значение эффекта осаждения легких примесей $E_{OK}=78,4\%$ достигается при $l=0,15$ м и $\theta=-2^\circ$.

При дросселировании диаметрального вентилятора заслонкой 12 (рисунок 1) установлено, что отношение $K_v=V_o/V_{II}$ скоростей воздуха в каналах основной и предварительной очистки изменяется незначительно ($K_v=1,20\dots1,22$). Это свидетельствует о стабильной работе пневмосистемы на различных скоростных режимах и обосновывает возможность регулирования скорости воздуха одновременно в обоих каналах одной дроссельной заслонкой 12.

Проведено исследование влияния удельной подачи q , засоренности Z и влажности W обрабатываемого зернового вороха на эффективность функционирования пневмосистемы машины предварительной очистки зерна. Выявлено, что увеличение засоренности Z , удельной подачи q и влажности W зернового вороха снижает общий эффект $E_{ПС}$ выделения легких примесей пневмосистемой. При удельной подаче $q=7\dots10$ кг/(с·м) пневмосистема с двумя пневмосепарирующими каналами по сравнению с одним каналом при одинаковой их суммарной глубине ($h=0,28$ м) имеет большую на 5...10% эффективность выделения легких примесей, а при одинаковом качестве очистки – на 8...20% большую удельную подачу (производительность).

Для определения оптимальных конструктивно-технологических параметров малогабаритного инерционного жалюзийно-противоточного пылеуловителя реализован план эксперимента Бокса-Бенкина второго порядка для четырех факторов: скорость $V_{вх}$ (x_1) воздушного потока на входе в пылеуловитель, высота $h_{жсo}$ (x_2) выходного окна жалюзийного отделителя, высота h_{no} (x_3) выходного окна противоточного отделителя и длина $l_{жс}$ (x_4) жалюзийной решетки.

После реализации плана и обработки результатов эксперимента были получены адекватные математические модели второго порядка эффекта очистки воздуха (%) и гидравлического сопротивления (Па) инерционного пылеуловителя:

$$Y_{E_{ПВ}} = 95,13 - 0,41x_1 + 0,46x_2 + 0,22x_3 - 2,42x_4 - 1,16x_1^2 + 0,25x_1x_2 - 0,35x_1x_3 - 1,11x_2^2 - 1,43x_2x_3 + 0,45x_2x_4 - 1,90x_3^2 + 0,23x_3x_4 - 0,10x_4^2; \quad (19)$$

$$Y_{\Delta P_{SV}} = 102,6 + 35,5x_1 - 9,2x_2 - 10,6x_3 - 23,3x_4 + 10,9x_1^2 + x_1x_2 - x_1x_3 - 5,1x_1x_4 + 2,9x_2^2 - 2,1x_2x_3 + 2,6x_2x_4 - 3,0x_3^2 + 1,3x_3x_4 + 5,0x_4^2. \quad (20)$$

Максимальное значение эффекта очистки воздуха $E_{ПВ}=97,5\%$ достигается при $x_1=-0,18$ ($V_{вх}=7,6$ м/с); $x_2=-0,02$ ($h_{жсo}=0,045$ м); $x_3=0,02$ ($h_{no}=0,05$ м) и $x_4=-1$ ($l_{жс}=0,4$ м), гидравлическое сопротивление при этих уровнях факторов составило $\Delta P_{SV}=109,2$ Па.

В то же время минимальное значение гидравлического сопротивления, равное $\Delta P_{SV}=47,0$ Па, может быть достигнуто при следующих уровнях факторов: $x_1=-1$ ($V_{вх}=6$ м/с); $x_2=1$ ($h_{жсo}=0,055$ м); $x_3=1$ ($h_{no}=0,060$ м) и $x_4=1$ ($l_{жс}=0,60$ м).

После определения оптимальных значений длины жалюзийной решетки, высоты выходного окна жалюзийного отделителя и высоты выходного окна противоточного отделителя, были проведены однофакторные эксперименты для опре-

деления оптимальной глубины $h_{пу}$ пылеуловителя. В результате проведенного исследования установлено, что глубина пылеуловителя должна составлять $h_{пу} \geq 0,8\text{м}$.

Помимо этого, изучено влияние вертикальной перегородки 15 (рисунок 1) в пылесадительной камере пылеуловителя на эффект очистки воздуха. Результаты опытов позволяют сделать вывод, что наличие перегородки повышает $E_{пу}$, а оптимальный диапазон высоты перепускного окна составляет $h_{он}=0,1 \dots 0,2\text{м}$.

В пятом разделе «Исследование малогабаритной пневмосистемы опытного образца машины предварительной очистки зерна МПЗ-50» приведены результаты исследования опытного образца машины МПЗ-50 (рисунок 8) с разработанной малогабаритной пневмосистемой в ООО Агрофирма «Подгорцы» Кировской области. Установлено, что машина имеет достаточно хорошую полноту выделения примесей и эффективность очистки, высокое качество воздушного потока, равномерное распределение зернового материала по ширине решета, низкую степень забиваемости решет.

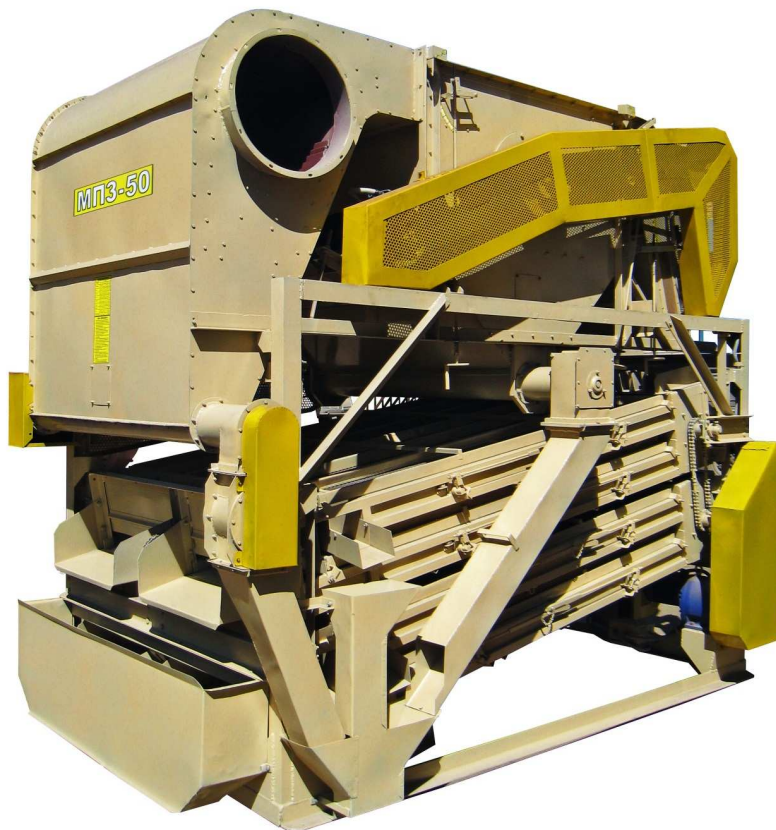


Рисунок 8 - Общий вид машины предварительной очистки зерна МПЗ-50 с разработанной малогабаритной пневмосистемой

При обработке исходного зернового вороха озимой ржи эффект $E_{пс}$ очистки от легких примесей на подачах 19,5...34,9 т/ч составил 52,8...65,5 % при потерях $П_z$ полноценного зерна в отходы пневмосистемой машины 0,02...0,03 %. За один проход машина улучшает качество обрабатываемого материала озимой ржи (по чистоте) на 0,97...1,36 % (от 95,51...96,99 до 96,87...98,11 %). Содержание сорной примеси во фракции очищенного зерна составляет 0,36...0,64 %, что соответствует технологическим требованиям к техническим средствам для послеубороч-

ной обработки (не более 3 %). Потери полноценного зерна в отходы (в целом по машине) составили 0,14...0,20 %, что не превышает допустимого значения (не более 0,20 %). Полнота выделения примесей составила 0,5..0,7, что также соответствует технологическим требованиям (не менее 0,5).

Расчетный годовой экономический эффект от применения машины МПЗ-50 в сравнении с машиной предварительной очистки ОЗФ-50 за счет более высокого качества очистки влажного зернового вороха достигает 227,2 тыс. руб. Уровень интенсификации новой машины за счет уменьшения габаритных размеров, общей энергоемкости и прямых затрат энергии составляет 12,3%.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Разработана малогабаритная пневмосистема машины предварительной очистки зерна, содержащая диаметральный вентилятор, наклонные пневмосепарирующие каналы предварительной и основной очистки, шнековое загрузочно-распределительное устройство, приемную камеру, осадочную камеру, регулятор расхода воздуха, устройства для ввода зернового материала и вывода его фракций и инерционный жалюзийно-противоточный пылеуловитель (патенты РФ на изобретение №№ 2350406, 2358814, 2377048, 2399419).

2. Обоснована схема подвода воздуха в зону сепарации канала предварительной очистки зерна с помощью воздухоподводящего канала. Выведена система дифференциальных уравнений для расчета траектории движения компонентов зернового вороха в приемной камере под действием бокового воздушного потока с учетом силы сопротивления слоя материала. Определены параметры питающего валика и его положение относительно окна загрузочно-распределительного устройства: внутренний и наружный радиусы $r_1=0,045$ м и $r_2=0,08$ м, частота вращения $n_B=176$ мин⁻¹, угол установки уплотняющего козырька $\varphi_1=54^\circ$. Загрузочное окно должно располагаться по вертикали над вторым квадрантом питающего валика.

3. Получены математические модели эффектов E_{II} и E_0 очистки зерна каналами предварительной и основной очистки, эффекта $E_{IIС}$ очистки зерна пневмосистемой, эффекта $E_{ОК}$ осаждения легких примесей в осадочной камере, эффекта $E_{IIУ}$ очистки воздушного потока и гидравлического сопротивления ΔP_{SV} пылеуловителя. Установлены оптимальные конструктивные параметры каналов предварительной и основной очистки, осадочной камеры и инерционного жалюзийно-противоточного пылеуловителя при удельной подаче зернового материала в ПСК $q=9,9$ кг/(с·м): $h_{II}=0,076$ м; $\beta=60^\circ$; $c=0,052$ м; $d=0,052$ м; $h_0=0,21$ м; $\alpha=75^\circ$; $l=0,15$ м; $\theta=-2^\circ$; $V_{ex}=6,5...8,5$ м/с; $l_{жс}=0,4...0,5$ м; $h_{жс0}=0,04...0,05$ м; $h_{но}=0,045...0,055$ м; $h_{IIУ} \geq 0,8$ м; $h_{он}=0,1...0,2$ м.

4. Определены зависимости влияния подачи q , засоренности Z и влажности W обрабатываемого зернового вороха на эффективность функционирования пневмосистемы машины предварительной очистки зерна. Выявлено, что увеличение засоренности Z_L , удельной подачи q и влажности W зернового вороха снижает общий эффект $E_{IIС}$ выделения легких примесей пневмосистемой. При удельной подаче $q=7...10$ кг/(с·м) пневмосистема с двумя пневмосепарирующими каналами по сравнению с одним каналом при одинаковой их суммарной глубине ($h=0,28$ м) имеет большую на 5...10% эффективность выделения легких примесей, а при оди-

наковом качестве очистки – на 8...20% бóльшую удельную подачу (производительность).

5. Испытаниями машины предварительной очистки зерна МПЗ-50, снабженной разработанной малогабаритной пневмосистемой, установлено, что пневмосистема машины обеспечивает эффект очистки от легких примесей при обработке вороха озимой ржи 52,8...65,5 % при уровне потерь полноценного зерна в отходы не более 0,05 %.

6. Расчетный годовой экономический эффект от применения машины МПЗ-50 с разработанной пневмосистемой в сравнении с машиной ОЗФ-50 за счет более высокого качества очистки влажного зернового вороха достигает 227,2 тыс.руб. Уровень интенсификации новой машины за счет уменьшения габаритных размеров, общей энергоемкости и прямых затрат энергии составляет 12,3%.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Бурков, А.И. Анализ процесса перемещения компонентов зернового материала под действием бокового воздушного потока в приемной камере зерноочистительной машины / А.И. Бурков, А.Л. Глушков, Д.С. Булдаков // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. - 2011. – Вып. 6. – С. 68-72.

2. Бурков, А.И. Исследование эффективности функционирования пневмосистемы машины предварительной очистки зерна МПЗ-50 / А.И. Бурков, А.Л. Глушков, Д.С. Булдаков // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. - 2012. – Вып. 4. – С. 60-66.

3. Бурков, А.И. Как уменьшить габаритные размеры пневмосистемы машины предварительной очистки зернового вороха / А.И. Бурков, А.Л. Глушков, Д.С. Булдаков// Сельский механизатор, – 2008. – №11. – С. 12.

4. Бурков, А.И. Малогабаритный инерционный жалюзийно-противоточный пылеуловитель для зерноочистительных машин/ А.И. Бурков, А.Л. Глушков, Д.С. Булдаков// Достижения науки и техники АПК. – 2010. – Вып. 12. – С. 73-76.

5. Бурков, А.И. Результаты испытаний машины МПЗ-50 для предварительной очистки зерна / А.И. Бурков, А.Л. Глушков, Д.С. Булдаков, М.Ф. Машковцев // Техника в сельском хозяйстве. – 2012. - №3. – С. 5-8.

6. Бурков, А.И. Обоснование конструктивных параметров пневмосепарирующих каналов машины предварительной очистки зерна / А.И. Бурков, А.Л. Глушков, Д.С. Булдаков // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2010. - №9. – С. 2-4.

7. Булдаков, Д.С. Обоснование схемы подвода воздуха в зону сепарации канала предварительной очистки/ Д.С. Булдаков // Улучшение эксплуатационных показателей сельскохозяйственной энергетики: Материалы IV Международ. науч.-практ. конф. «Наука-Технология-Ресурсосбережение». – Киров: Вятская ГСХА, 2011. – Вып. 12. – С. 7-9.

8. Булдаков, Д.С. Сравнительное исследование эффективности функционирования одно- и двух канальной пневмосистем / Д.С. Булдаков // Улучшение эксплуатационных показателей сельскохозяйственной энергетики: Материалы II Ме-

ждународ. науч.-практ. конф. «Наука-Технология-Ресурсосбережение». – Киров: Вятская ГСХА, 2009. – Вып. 10. – С. 19–22.

9. Глушков, А.Л. Испытание пневмосистемы машины предварительной очистки зерна МПЗ-50 на холостом ходу / А.Л. Глушков, Д.С. Булдаков // Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства: Мосоловские чтения: научное издание. Вып. XIII. – Йошкар-Ола: Аграрно-Технологический институт, 2011. – С. 157-160.

10. Глушков, А.Л. Обоснование направления исследований пневмосистемы машины предварительной очистки зерна / А.Л. Глушков, Д.С. Булдаков // Улучшение эксплуатационных показателей сельскохозяйственной энергетики: Материалы II Всерос. науч.-практ. конф. «Наука-Технология-Ресурсосбережение». – Киров: Вятская ГСХА, 2008. – Вып. 8. – С. 59-62.

11. Глушков, А.Л. Функционирование малогабаритного жалюзийно-противоточного пылеуловителя в составе пневмосистемы машины предварительной очистки зерна МПЗ-50/ А.Л. Глушков, Д.С. Булдаков // Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства: Мосоловские чтения: научное издание. Вып. XIV. – Йошкар-Ола: Аграрно-Технологический институт, 2012. – С. 154-156.

12. Пат. 2350406 Российская Федерация, МПК⁷ В07В11/06. Питающее устройство зерноочистительной машины/ Бурков А.И., Глушков А.Л., Булдаков Д.С.; заявитель и патентообладатель ГНУ НИИСХ Северо-Востока Россельхозакадемии. - № 2007136771; заявл. 03.10.07; опубл. 27.03.09, Бюл. №9. - 3 с.: ил.

13. Пат. 2358814 Российская Федерация, МПК⁷ В07В4/02, А01F12/44. Пневмосистема зерноочистительной машины/ Бурков А.И., Глушков А.Л., Булдаков Д.С.; заявитель и патентообладатель ГНУ НИИСХ Северо-Востока Россельхозакадемии. - № 2008103890; заявл. 01.02.08; опубл. 20.06.2009., Бюл. № 17. - 4 с.: ил.

14. Пат. 2377048 Российская Федерация, МПК⁷ В01D45/04. Инерционный пылеуловитель/ Бурков А.И., Сычугов Ю.В., Глушков А.Л., Коньшев Н.Л., Булдаков Д.С.; заявитель и патентообладатель ФГУП ПКБ НИИСХ Северо-Востока Россельхозакадемии. - № 2008141175; заявл. 16.10.08; опубл. 27.12.2009., Бюл. № 36. - 4 с.: ил.

15. Пат. 2399419 Российская Федерация, МПК⁷ В02В7/00. Шнековое распределительное устройство зерноочистительной машины/ Бурков А.И., Глушков А.Л., Коньшев Н.Л., Булдаков Д.С.; заявитель и патентообладатель ГНУ НИИСХ Северо-Востока Россельхозакадемии. - № 2009102908; заявл. 29.01.09; опубл. 20.09.2010., Бюл. №26. - 4 с.: ил.

Подписано в печать 07.03.2013 г. Формат 60×84 1/16

Усл. печ.л.1,0. Тираж 90 экз. Заказ №14

Отпечатано с оригинал-макета.

Типография ГНУ НИИСХ Северо-Востока Россельхозакадемии

610007, г. Киров, ул. Ленина, 166-а.