

На правах рукописи

**ЛАЗЫКИН**

**Виктор Алексеевич**

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА И  
ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ  
ФРАКЦИОННОГО ПНЕВМОСЕПАРАТОРА СЕМЯН**

Специальность 05. 20. 01 - технологии и средства механизации сельского хозяйства

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

Киров-2016

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Зональный научно-исследовательский институт сельского хозяйства Северо-Востока имени Н.В.Рудницкого».

<b>Научный руководитель:</b>	<b>Бурков Александр Иванович</b> , доктор технических наук, профессор, заслуженный изобретатель РФ.
<b>Официальные оппоненты:</b>	<b>Волхонов Михаил Станиславович</b> , доктор технических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Костромская государственная сельскохозяйственная академия», проректор по учебной работе, профессор кафедры «Технические системы в агротехническом комплексе»;
	<b>Жолобов Николай Васильевич</b> , кандидат технических наук, доцент, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Вятская государственная сельскохозяйственная академия», доцент кафедры эксплуатации и ремонта машинно-тракторного парка.
<b>Ведущее предприятие:</b>	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Пермская государственная сельскохозяйственная академия имени академика Д.Н. Прянишникова».

Защита состоится 02 февраля 2017 г. в 13 часов 00 минут на заседании объединенного диссертационного совета ДМ 006.048.01 при Федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Зональный научно - исследовательский институт сельского хозяйства Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого» по адресу: 610007, г. Киров, ул. Ленина, 166-а, ауд.426.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Зональный научно - исследовательский институт сельского хозяйства Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого» и на сайте [niish-sv.narod.ru](http://niish-sv.narod.ru).

Автореферат разослан "\_\_\_" декабря 2016 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
кандидат технических наук

А. Л. Глушков

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** Увеличение сбора зерна и производства высококачественных кормов для животноводства является важнейшей задачей агропромышленного комплекса России. Одним из направлений решения данной задачи является повышение качества семян, которое во многом определяется применением высокоэффективных технологий и технических средств для послеуборочной обработки. При этом с целью снижения приведенных затрат на подготовку семян машины и оборудование технологических линий подбирают и размещают таким образом, чтобы требуемое качество получать за один пропуск.

В настоящее время для подготовки семян на стадии вторичной и окончательной очистки широкое применение получили отечественные зерновые пневмосепараторы. Основным недостатком большинства сепараторов заключается в отсутствии возможности делить семенной материал за один пропуск на фракции, соответствующие по чистоте категории не ниже ЭС и РСт, что при двукратной обработке увеличивает приведенные затраты.

При теоретическом исследовании процесса пневмосепарации большинство ученых принимают воздушный поток равномерным во всей зоне взаимодействия с частицей, что приводит к существенным погрешностям при расчетах. Учет неравномерности поля скоростей воздушного потока в зоне сепарации позволит более точно рассчитывать траектории движения компонентов очищаемого материала и определять конструктивные параметры пневмосепарирующего устройства.

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Зональный научно-исследовательский институт сельского хозяйства Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого» в соответствии с планом НИР по теме № 0767-2014-0037 (№ гос. регистрации АААА-А16-116021950082-7) «Совершенствование технологий и технических средств очистки семян зерновых культур и трав в условиях Евро-Северо-Восточного региона».

**Целью исследования** является снижение приведенных затрат на очистку семян за счет совершенствования технологического процесса и оптимизации основных конструктивных параметров фракционного пневмосепаратора.

Для достижения данной цели определены следующие **задачи исследования:**

- разработать конструктивно-технологическую схему фракционного пневмосепаратора семян;
- теоретически рассчитать траектории движения компонентов зернового материала в вертикальном пневмосепарирующем канале (ПСК), его отводе и разделительной камере с учетом неравномерности воздушного потока и обосновать в первом приближении основные параметры разделительной камеры;
- изучить процесс функционирования вертикального пневмосепарирующего канала с опорной сеткой и сплошной разделительной перегородкой, разделительной камеры с двумя секциями и поворотным клапаном, инерционного жалюзийно – противоточного Г-образного пылеуловителя, встроенного в осадочную камеру, и обосновать их основные конструктивные параметры;
- по результатам исследований разработать конструкторскую документацию и изготовить опытный образец фракционного пневмосепаратора семян;
- провести испытания опытного образца фракционного пневмосепаратора семян в производственных условиях;
- дать экономическую оценку применения нового фракционного пневмосепаратора.

**Объект исследования.** В качестве объектов исследования выбраны процесс очистки семян зерновых культур и трав воздушным потоком, экспериментальный и опытный образцы фракционного пневмосепаратора.

**Методы исследования.** При расчете траекторий движения компонентов зернового материала в ПСК и его отводе применен экспериментально - теоретический метод, в разделительной камере – метод конечных элементов.

Экспериментальные исследования проводили с использованием стандартных и разработанных нами методик. При реализации, подготовке и обработке результатов экспериментов использовали методы математической статистики и теории планирования многофакторного эксперимента с применением ЭВМ и пакета прикладных программ.

**Научная новизна.** Новизна исследования заключается в особенности технологического процесса пневмосепаратора по патентам РФ 2460592 и 2519237, содержащего вертикальный ПСК с опорной сеткой и сплошной разделительной перегородкой, последовательно соединенные с ним разделительную камеру, инерционный жалюзийно-противоточный Г-образный пылеуловитель, осадочную камеру и

диаметральный вентилятор с дроссельной заслонкой, работающий на всасывание, устройства ввода материала и вывода его фракций.

Новизна теоретического исследования состоит в том, что расчет траекторий движения частиц компонентов зернового материала в ПСК и его отводе выполнен с учетом реальной неравномерности полей скоростей воздушного потока в продольно – вертикальной плоскости, которые описаны аналитическими зависимостями.

**Достоверность** подтверждена результатами теоретических и экспериментальных исследований; положительными испытаниями опытного пневмосепаратора в хозяйственных условиях.

**Практическая ценность и реализация результатов исследования.** Аналитические зависимости, отображающие поля скоростей в ПСК и его отводе, позволяют более точно рассчитать траектории движения компонентов зернового материала, необходимые для расчета основных конструктивных параметров разделительной камеры на стадии проектирования.

Математические модели функционирования основных рабочих органов пневмосепаратора и полученные с их помощью оптимальные конструктивные параметры могут быть использованы при разработке семейства пневмосепараторов, отличающихся шириной проточной части (производительностью).

Предложенные технические решения, защищенные патентами РФ, повышают эффективность очистки семян и уменьшают габаритные размеры пневмосепаратора.

На основании результатов исследований разработана конструкторская документация и изготовлен опытный образец фракционного пневмосепаратора семян СП-2Ф производительностью 2,0 т/ч (по пшенице), который прошел ведомственные испытания в условиях опытного поля ФГБНУ «НИИСХ Северо-Востока» и приемочные испытания в ФГБУ « Кировская МИС». Годовой экономический эффект от применения нового пневмосепаратора за счет снижения приведенных затрат на очистку семян составил 52,1 тыс. рублей.

**Апробация работы.** Основные положения диссертации доложены, обсуждены и одобрены на научно-практических конференциях «Наука-Технология-Ресурсосбережение» в Вятской ГСХА (2012, 2013, 2015, 2016 гг.), 1-я Молодежная конференция «Молодые ученые – аграрной науки Евро-Северо-Востока» в ГНУ Северо-Восточный региональный научный центр (2013 г).

**На защиту выносятся:**

- конструктивно-технологическая схема фракционного пневмосепаратора семян;
- аналитические зависимости для расчета траекторий движения компонентов зернового материала в вертикальном ПСК, его отводе и разделительной камере в неравномерном воздушном потоке;
- математические модели функционирования и оптимальные конструктивные параметры вертикального ПСК с опорной сеткой и сплошной разделительной перегородкой, разделительной камеры с двумя секциями и поворотным клапаном, инерционного жалюзийно-противоточного Г-образного пылеуловителя;
- результаты функционирования опытного образца фракционного пневмосепаратора семян в производственных условиях;
- результаты экономической оценки применения нового фракционного пневмосепаратора.

**Публикации.** Основные положения работы отражены в 14 публикациях, в том числе 6 – в изданиях, рекомендованных ВАК, и в двух патентах РФ на изобретение.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, пяти разделов, заключения, списка использованной литературы, приложений. Работа содержит 178 страниц компьютерного текста, в том числе 50 рисунков, 24 таблицы, 20 приложений. Список использованной литературы включает 125 наименований.

**СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**В первом разделе** «Состояние вопроса и задачи исследования» проведен анализ зарубежных и отечественных пневмосепараторов, методов моделирования пневмосепарации зерновых смесей а также факторов, влияющих на процесс сепарации.

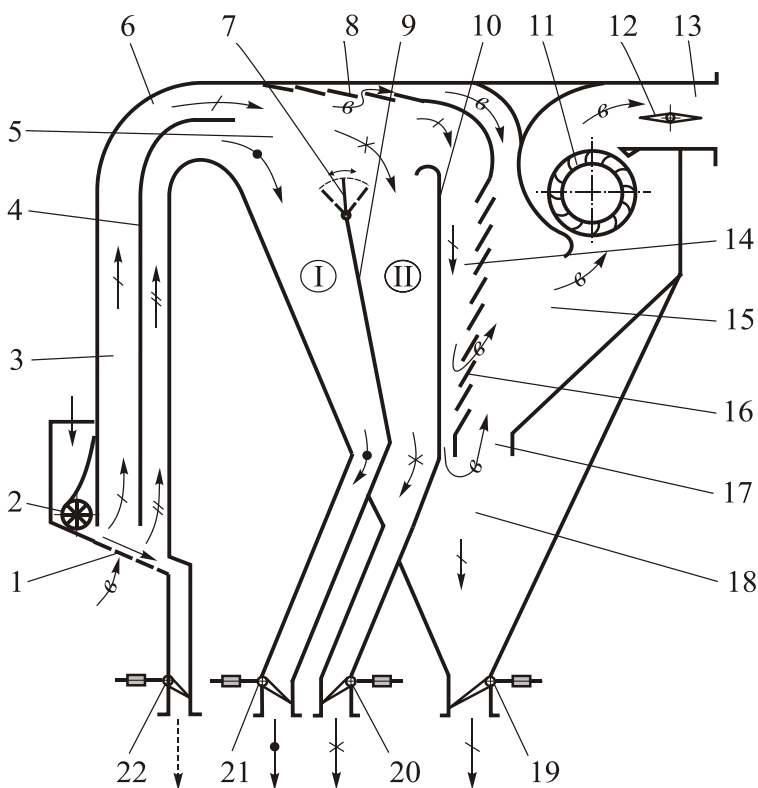
Весомый вклад в совершенствование технологий и машин для послеуборочной обработки семян в Российской Федерации внесли ученые Анискин В.И., Андреев В.Л., Бурков А.И., Волхонов М.С., Галкин В.Д., Гортинский В.В., Дринча В.М., Жолобов Н.В., Зюлин А.Н., Сычугов Н.П., Тарасенко А.П. и др.

В ходе проведенного анализа работ установлено, что для повышения эффективности работы пневмосепараторов необходимо разделять семенной материал на три и более фракции, использовать устройства ввода активного типа, диаметральные вентиляторы, работающие на всасывание, а для очистки отработанного воздуха приме-

нять многоступенчатую систему, включающую помимо осадочной камеры и тканевого фильтра инерционные очистители (жалюзийные, противоточные, ротационные и т.п.).

Проведенный обзор работ по теме диссертации позволил сформулировать цель научного исследования и задачи для ее достижения.

**Во втором разделе** «Теоретическое обоснование основных конструктивных параметров разделительной камеры» обоснована схема фракционного пневмосепаратора семян (рис. 1), рассмотрено движение частиц семенного материала в пневмосепарирующем канале и в разделительной камере с учетом неравномерности воздушного потока.



- > - очищаемый материал;
- - -> - тяжелая фракция (семена I сорт);
- / -> - легкая фракция (неиспользуемые отходы);
- // -> - средняя фракция;
- x -> - фуражная фракция;
- • -> - продовольственное зерно (семена II сорт);
- в -> - воздушный поток

17 – противоточный очиститель; 18 - осадочная камера; 19, 20, 21, 22 - устройства вывода фракций материала

- Рисунок 1 – Технологическая схема фракционного сепаратора семян: 1 - опорная сетка; 2 – устройство ввода; 3 - пневмосепарирующий канал; 4 - сплошная разделительная стенка; 5 - разделительная камера; 6 - отвод ПСК; 7 - поворотный клапан; 8 и 16 - горизонтальный и вертикальный участки жалюзийного очистителя; 9 - перегородка; 10 - смежная стенка; 11 - диаметральный вентилятор; 12 – дроссельная заслонка; 13 - выходной патрубок; 14 - инерционный жалюзийно-противоточный пылеуловитель; 15 - воздухоотводящая камера;

Для расчета траекторий движения частиц с учетом фактической неравномерности скорости воздушного потока по глубине и высоте канала использован экспериментально-теоретический метод расчета. Он включает в себя три этапа: на первом этапе экспериментально оп-

ределяются направления и величины скоростей воздушного потока в продольно-вертикальной плоскости пневмосепарирующего канала и его отвода; на втором этапе на основе реальных значений скоростей выводятся системы уравнений, описывающие изменение скоростей  $V_x$  и  $V_y$  воздушного потока по горизонтали и по вертикали; на третьем этапе рассчитываются траектории движения частиц в данном канале.

При исследовании скоростей воздушного потока в пневмосепарирующем канале и его отводе принято допущение, что при изменении средней  $V_{с.ср}$  скорости воздушного потока в исследуемом диапазоне (5...15 м/с) направление скоростей  $V_i$  в различных точках канала и его отвода остается неизменным, а их величина изменяется пропорционально изменению среднего значения. Данное допущение обусловлено тем, что моделирование потоков в жидкостях и газах, зависит от соотношения вязкости, плотности, скорости и линейных размеров элемента потока, выражаемого числом Рейнольдса ( $Re$ ). Область значений чисел  $Re$ , при которых они не влияют на характер течения, называют автомодельной  $Re_{авт}$ . В воздуховодах эта область наступает при значениях  $Re > 0,1 \cdot 10^5$ . В нашем случае число Рейнольдса находится в диапазоне от  $0,8 \cdot 10^5$  (при 5 м/с) до  $2,5 \cdot 10^5$  (при 15 м/с), что соответствует области автомодельности.

Для определения величины и направления воздушного потока пневмосепарирующий канал 3 был разбит на 4 элемента (рис. 2, а).

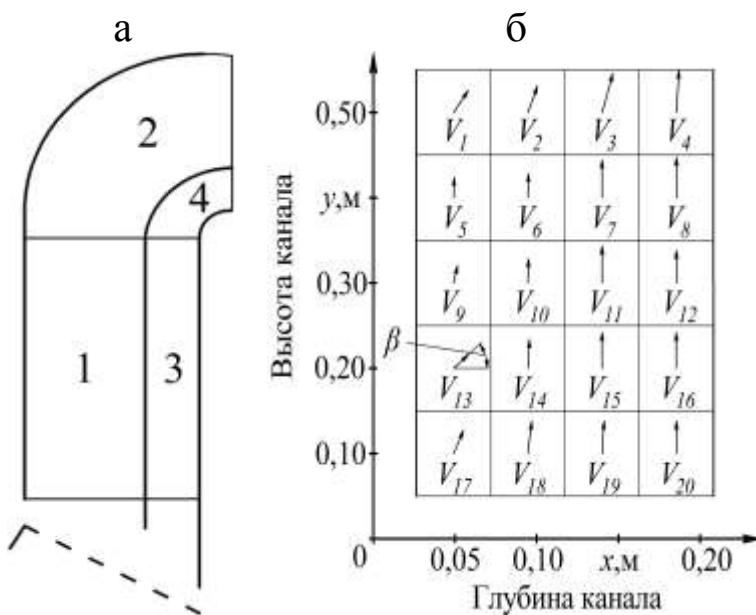


Рисунок 2 – К определению направления и величины скоростей воздушного потока в продольно-вертикальной плоскости пневмосепарирующего канала и его отвода: а – разбиение канала на 4 элемента; б - поле скоростей воздушного потока для прямого участка первой части канала; 1 - прямой участок первой части канала; 2 - отвод первой части канала; 3 - прямой участок второй части канала; 4 - отвод второй части канала

Каждый из данных элементов был разбит на прямоугольники (например, прямой участок первой части канала разбит на 20 прямоугольни-



ков, рис. 2, б). В центре каждого прямоугольника экспериментально определяли направление и величину скорости воздушного потока при средней скорости в первой части канала  $V_{срI}=6,0$  м/с. В таблице 1 приведены в качестве примера системы уравнений, описывающие значения скоростей  $V_{ey}$ ,  $V_{ex}$  воздушного потока на прямом участке первой части канала.

Таблица 1 – Системы уравнений, описывающие изменение скоростей  $V_y$ ,  $V_x$  воздушного потока на прямом участке первой части канала

Вертикальная составляющая скорости $V_{ey}$ , м/с						
$x/y$ , м	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	Уравнение
0,05	3,92	2,17	2,53	3,13	3,77	$V_{ey} = 35,85y^2 - 20,85y + 5,416$
0,10	5,98	5,11	4,04	4,04	4,68	$V_{ey} = 29,21y^2 - 21,19y + 7,916$
0,15	5,99	6,76	7,00	7,23	7,57	$V_{ey} = -6,214y^2 + 7,358y + 5,386$
0,20	5,99	6,76	5,99	7,88	8,28	$V_{ey} = 13,71y^2 - 2,528y + 6,23$
Горизонтальная составляющая скорости $V_{ex}$ , м/с						
$y/x$ , м	0,05	0,10	0,15	0,20	Уравнение	
0,10	0,98	0,42	0,21	0,00	$V_{ex} = 35x^2 - 15,05x + 1,627$	
0,20	1,35	0,18	0,00	0,00	$V_{ex} = 117x^2 - 37,71x + 2,902$	
0,30	0,36	0,07	0,00	0,00	$V_{ex} = 29x^2 - 9,55x + 0,757$	
0,40	0,05	0,07	0,00	0,00	$V_{ex} = -2x^2 + 0,06x + 0,06$	
0,50	1,45	0,99	1,20	0,29	$V_{ex} = -45x^2 + 4,71x + 1,237$	

На третьем этапе при помощи математического моделирования строились траектории движения частиц в ПСК с учетом неравномерности поля скоростей.

Отнесем начало координат в начальную точку поступления частицы в воздушный поток и исследуем ее движение в проекциях на выбранные оси координат. Уравнение движения частицы в пневмосепарирующем канале имеет вид:

$$m\vec{W} = \vec{G} + \vec{R}_g, \quad (1)$$

где  $m$  - масса частицы, кг;

$W$  - ускорение частицы, м/с<sup>2</sup>;

$\vec{G} = m \cdot \vec{g}$  - сила тяжести, Н;

$\vec{R}_g = m \cdot k_{II} \cdot V_r^2 \cdot \frac{\vec{V}_r}{V_r}$  - сила сопротивления воздушного потока, Н;

$k_{II}$  - коэффициент парусности, м<sup>-1</sup>;

$\vec{V}_r = \vec{V} - \vec{V}_g$  - вектор относительной скорости;

$V_r$  - модуль относительной скорости, м/с;

$\vec{V}$  - абсолютная скорость частицы, м/с;

$\vec{V}_e$  - скорость воздушного потока, м/с;

$\vec{g}$  - ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>.

В проекциях на выбранные оси координат выражение (1) принимает вид:

$$\begin{cases} \ddot{x} = -k_n (\dot{x} - V_{ex}) \sqrt{(\dot{x} - V_{ex})^2 + (\dot{y} - V_{ey})^2}; \\ \ddot{y} = g - k_n (\dot{y} - V_{ey}) \sqrt{(\dot{x} - V_{ex})^2 + (\dot{y} - V_{ey})^2}. \end{cases} \quad (2)$$

Решаем данную систему дифференциальных уравнений второго порядка методом Рунге-Кутты, дополнив ее начальными условиями:  $t(0)=0$ ;  $A(0)=\dot{x}_0$ ;  $x(0)=x_0$ ;  $B(0)=\dot{y}_0$ ;  $y(0)=y_0$ . Значения скоростей воздушного потока ( $V_{ex}$ ,  $V_{ey}$ ), определяем с помощью систем уравнений, полученных для каждого из элементов канала.

При сепарации зернового вороха часть зерна и примесей достигает поверхности пневмосепарирующего канала и после удара о нее составляющие скорости частицы изменяются. При условии отсутствия трения между частицей и поверхностью стенки канала касательная составляющая скорости после удара остается неизменной, а нормальная составляющая скорости  $V_{2n}$  изменяет свое направление на противоположное. Ее новое значение определяют соотношением Ньютона:

$$V_{2n} = k_e V_{1n}, \quad (3)$$

где  $k_e$  – коэффициент восстановления нормального импульса после удара (зависит от упругих свойств материала, условий соударения тел и может изменяться от 0 до 1);

$V_{1n}$ ,  $V_{2n}$  – нормальная составляющая скорости частицы до и после удара.

Значения коэффициента  $k_e$  восстановления нормального импульса для различных культур определяли экспериментально.

В результате решения системы уравнений (2) определяем траектории движения частиц компонентов семенного материала яровой пшеницы (рис. 3), козлятника восточного и райграса пастбищного в неравномерном воздушном потоке. Средняя скорость воздушного потока в ПСК выбиралась для каждой культуры исходя из требований ТЗ (эффект очистки от легких примесей не менее 80%) на пневмосепаратор и с учетом допустимых потерь полноценного зерна в отходы. Так, для семенного материала яровой пшеницы для первой части канала I приняли скорость  $V_{e,срII}=8,5$  м/с. В связи с этим для корректи-

ровки значений скоростей  $V_{ex}$  и  $V_{ey}$  ввели поправочный коэффициент, равный отношению средних скоростей  $B = V_{в.срII} / V_{в.срI} = 8,5 / 6,0 = 1,4$ .

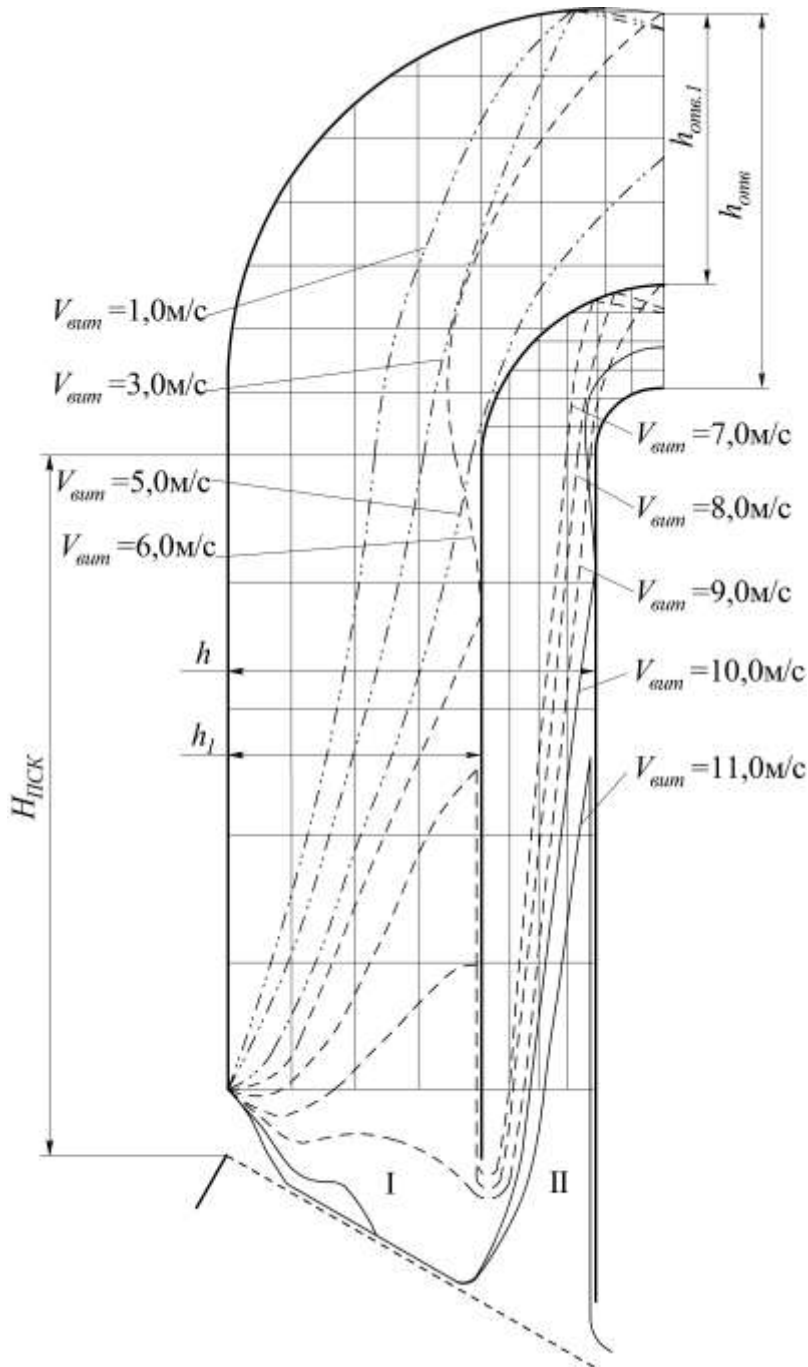


Рисунок 3 – Расчетные траектории движения частиц семенного материала пшеницы в неравномерном воздушном потоке в ПСК с опорной сеткой и разделительной перегородкой при средней скорости воздушного потока: в первой части канала

I - 8,5 м/с, во второй части канала II – 12,0 м/с;

— - яровая пшеница;

- - - - зерновая примесь;

- · - · - легкие примеси

В результате расчета и построения траекторий движения частиц компонентов семенного материала (яровой пшеницы, козлятника восточного и райграса пастбищного) в обеих частях ПСК (I и II) были получены сведения о их местоположении, направлении и величине

скорости на выходе из отвода пневмосепарирующего канала с учетом неравномерности скорости воздушного потока. Эти сведения использовались нами для дальнейшего расчета траекторий движения частиц данных компонентов в разделительной камере.

Было проведено построение поля скоростей воздушного потока в разделительной камере с использованием конечно-элементной модели, при помощи которой находятся значения векторов скоростей в каждом конечном элементе (треугольнике) в зависимости от координат точек поля. На рисунке 4 представлено поле скоростей воздушно-

го потока в разделительной камере, а на рисунке 5 - траектории движения частиц зерновой смеси яровой пшеницы, построенные с использованием системы уравнений (2). Таким же способом были построены траектории движения частиц компонентов семенных смесей козлятника восточного и райграса пастбищного.

Рассмотрев все траектории в совокупности, а также величины скоростей воздушного потока в нижней части разделительной камеры, можно сделать вывод, что уменьшение высоты разделительной камеры не приведет к существенному изменению характера движения частиц и воздушного потока в верхней части разделительной камеры.

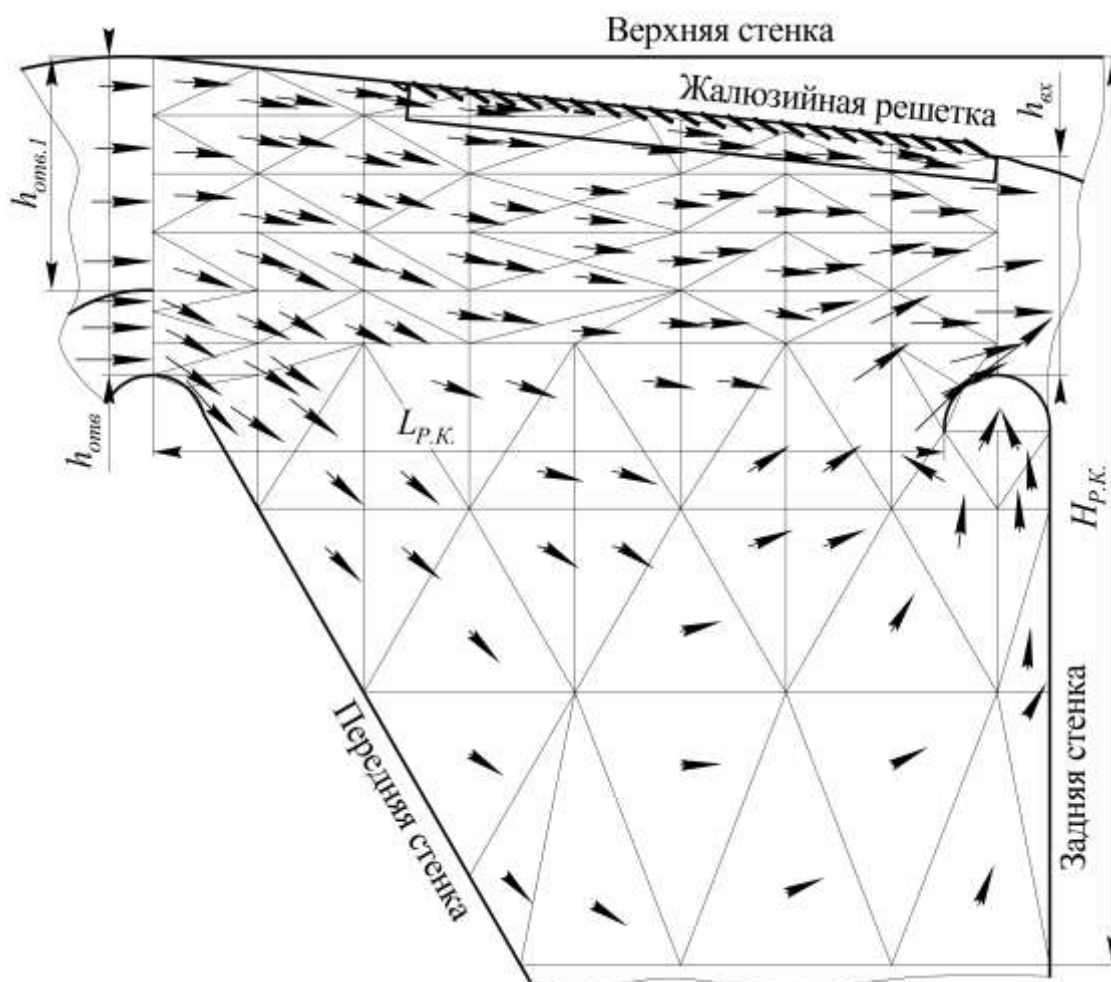
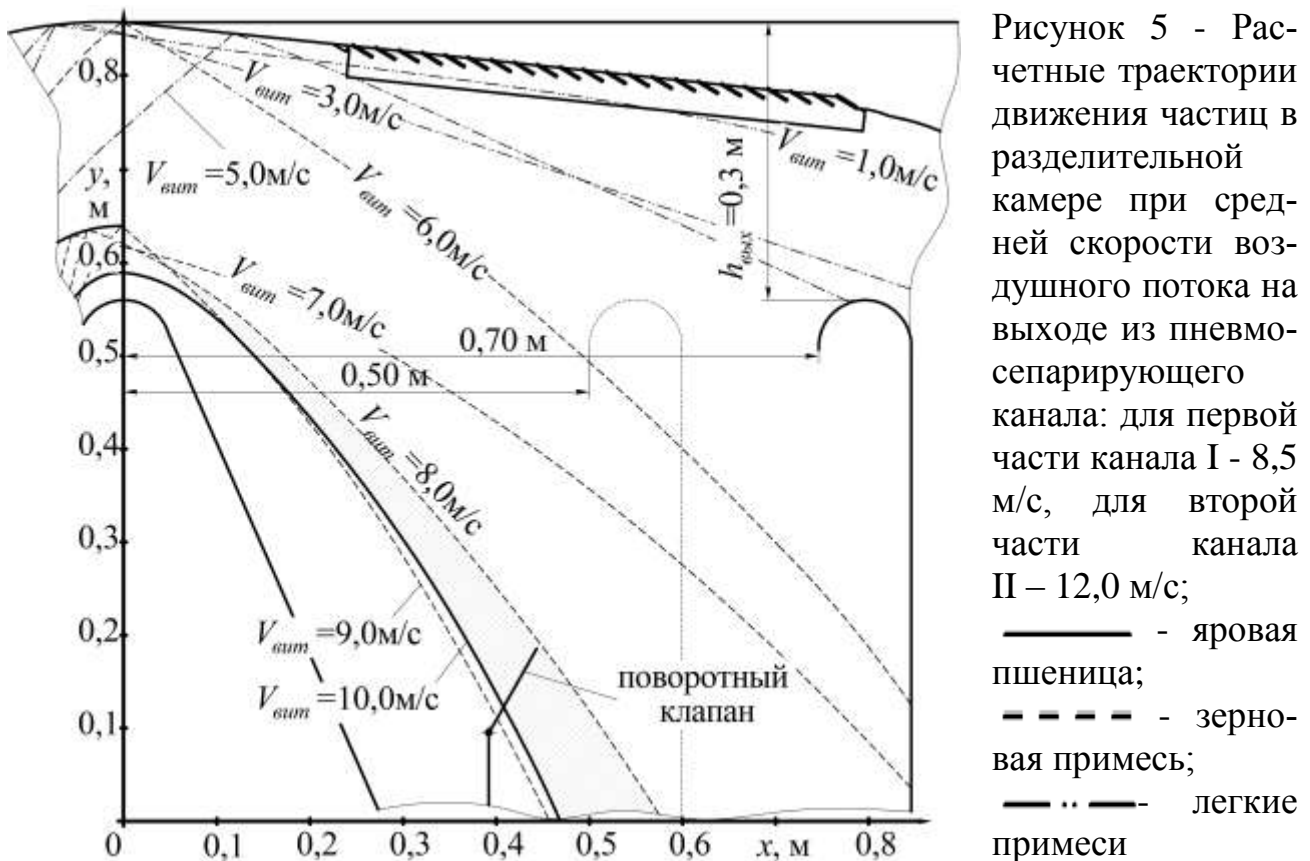


Рисунок 4 – Расчетные поля скоростей воздушного потока в разделительной камере при средней скорости воздуха на выходе из отвода пневмосепарирующего канала: в первой части канала I – 8,5 м/с, во второй части канала II – 12,0 м/с

Поэтому высоту  $H_{р.к.}$  камеры можно варьировать в большом диапазоне, как в меньшую сторону (уменьшение до 0,50 м), так и в большую, а ее величина будет зависеть от общей компоновки будущей машины и выбираться, исходя из конструктивных параметров пылеулавливающего устройства. Длина  $L_{р.к.}$  разделительной камеры мо-

жет быть уменьшена от 0,70 м до 0,50...0,60 м путем перемещения задней стенки. Выходная кромка задней стенки может устанавливаться на высоте  $h_{вых}$  в диапазоне от 0,30 до 0,35 м. Это позволит снизить количество легких примесей, поступающих в разделительную камеру, и уменьшить габаритные размеры проектируемой машины. Размещение в разделительной камере кромки поворотного клапана в заштрихованной зоне (рис. 5) позволяет в большинстве случаев разделить поступающий из ПСК материал на семенную и фуражную фракции.



**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 определения коэффициента восстановления частицы после удара о стенку пневмосепаратора, исследования распределения компонентов зернового материала по длине разделительной камеры. Описаны экспериментальная установка, использованные приборы и оборудование.

Экспериментальная установка имеет полезную ширину  $B = 0,3$  м и натуральные размеры в продольно-вертикальной плоскости. Высота

пневмосепарирующего канала  $H_{ПСК} = 0,4 \dots 0,7$  м, его глубина  $h = 0,3$  м, глубина отвода ПСК  $h_{отв} = 0,3$  м, длина разделительной камеры  $L_{Р.К} = 0,7$  м, высота разделительной камеры  $H_{Р.К} = 1,7$  м, максимальная длина жалюзийной решетки  $L_{Ж\ max} = 1,3$  м (общая длина жалюзийной решетки Г-образного пылеуловителя равна сумме длин горизонтального и вертикального участков  $L_{Ж} = L_{Ж1} + L_{Ж2}$ ), высота входного патрубка пылеуловителя  $h_{вх} = 0,21$  м, глубина пылеосадительной камеры  $H_{П} = 0,6 \dots 1,0$  м, диаметр колеса вентилятора  $D = 0,4$  м, частота его вращения  $n = 820$  мин<sup>-1</sup>.

Для проведения опытов использовали искусственно приготовленную зерновую смесь влажностью 14,0 %, состоящую из основной культуры (яровая пшеница) - 95 %, зерновой примеси (щуплое зерно озимой ржи) - 3 % и легких примесей (древесный опил) - 2 %. При очистке семян трав использовали смеси семян козлятника восточного с клевером сорта Мартум и древесным опилом и райграса пастбищного с древесным опилом. Содержание примесей в очищаемом материале составляло 5 % - 3 % клевера и 2 % опила в смеси козлятника восточного и 5 % опила в смеси райграса пастбищного.

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*.

**В четвертом разделе "Результаты экспериментальных исследований"** изложены особенности функционирования пневмосепаратора, работающего по фракционной технологии и определены его основные конструктивные и технологические параметры.

Исследование вертикального пневмосепарирующего канала с опорной сеткой (рис. 6) проводили с целью дальнейшего повышения эффективности его функционирования за счет оптимизации параметров нижней части наружной стенки ПСК, положения разделительной перегородки в канале и его отводе, высоты канала (зоны сепарации).

Однофакторными экспериментами определяли оптимальную длину  $L_c$  нижней части наружной стенки ПСК и угол  $\alpha$  ее наклона, конструкцию разделительной перегородки. Изучали влияние высоты  $H_{пск}$  ПСК на качество работы сепаратора. В результате данных исследований определена минимальная длина  $L_c$  нижней части наружной стенки, равная 0,05 м и угол ее наклона  $\alpha = 20 \dots 30^\circ$ . Обоснован выбор сплошной разделительной перегородки, делящей ПСК на две части. Установлено, что уменьшение высоты  $H_{пск}$  ПСК от 1,0 до 0,4 м

не приводит к существенному ухудшению работы сепаратора.

Для выявления зависимости между глубиной  $h_1$  ПСК канала и глубиной  $h_{отв1}$  отвода реализован план эксперимента Бокса-Бенкина второго порядка для двух факторов (глубина  $h_1$  ( $x_1$ ) ПСК, глубина  $h_{отв1}$  ( $x_2$ ) отвода) при скорости воздуха в ПСК  $V_{в.сп} = 10,0 \pm 0,1$  м/с, потерях  $a$  семян в отходы не более 10 %, высоте  $H_{ПСК} = 1,0$  м, параметрах нижней части наружной стенки ПСК  $L_C = 0,05$  м,  $\alpha = 20^\circ$ , зазоре  $S = 0,1$  м. После реализации плана и обработки результатов экспери-

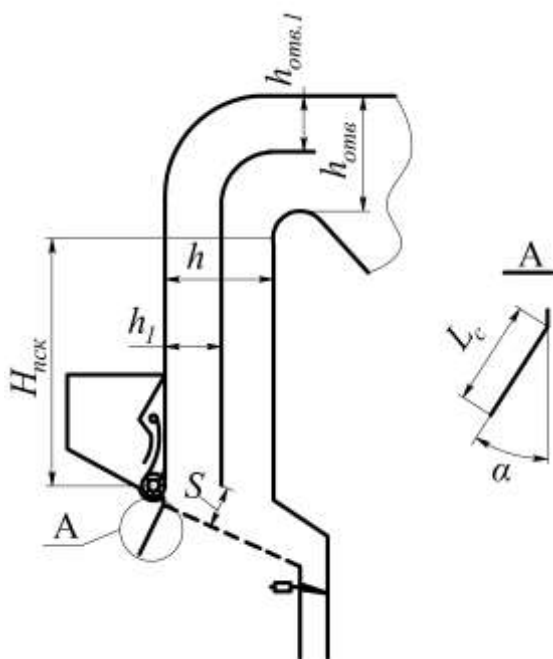


Рисунок 6 – Схема вертикального пневмосепарирующего канала с опорной сеткой и сплошной разделительной перегородкой

изучения влияния положения кромки поворотного клапана на распределение компонентов обрабатываемого материала в разделительной камере при допустимых потерях семян в отходы были реализованы планы эксперимента Бокса-Бенкина второго порядка для двух факторов для каждой из изучаемых культур (положение кромки поворотного клапана относительно входной кромки стенки разделительной камеры по горизонтали  $X$  ( $x_1$ ) и его положение по вертикали  $Y$  ( $x_2$ )) при длине разделительной камеры  $L_{Р.К} = 0,7$  м, высоте разделительной камеры  $H_{Р.К} = 1,7$  м, высоте ПСК  $H_{ПСК} = 0,4$  м, глубине ПСК  $h = 0,3$  м, глубине отводов  $h_{отв1} = 0,22$  и  $h_{отв2} = 0,08$  м соответственно, глубине  $h_{вх}$  входного патрубка пылеуловителя  $h_{вх} = 0,21$  м.

После реализации планов и обработки результатов эксперимента получены адекватные с 95 % вероятностью уравнения регрессии чистоты  $Ч_{П}$  пшеницы,  $Ч_{К}$  козлятника восточного и  $Ч_{Р}$  райграса пастбищ-

мента получены адекватные с 95 % вероятностью уравнения регрессии потерь  $a$  семян в отходы и выхода  $C$  семян чистотой, соответствующей категории ОС, и выбрано оптимальное сочетание изучаемых факторов:  $x_1 = 0$  ( $h_1 = 0,21$  м) и  $x_2 = 1$  ( $h_{отв1} = 0,22$  м).

Исследование разделительной камеры (рис. 7) включало в себя определение оптимального положения кромки поворотного клапана в разделительной камере при сортировании семян пшеницы, козлятника восточного и райграса пастбищного и оптимизацию размеров камеры. Для

ного II фракции (%) и выбрано оптимальное сочетание изучаемых факторов:  $x_1 = -1$  ( $X_{II} = 0,25$  м) и  $x_2 = -1$  ( $Y_{II} = -0,10$  м) для пшеницы,  $x_1 = -1$  ( $X_K = 0,225$  м) и  $x_2 = -1$  ( $Y_K = -0,125$  м) для козлятника восточного,  $x_1 = +1$  ( $X_P = 0,475$  м) и  $x_2 = +1$  ( $Y_P = 0$  м) для райграса пастбищного.

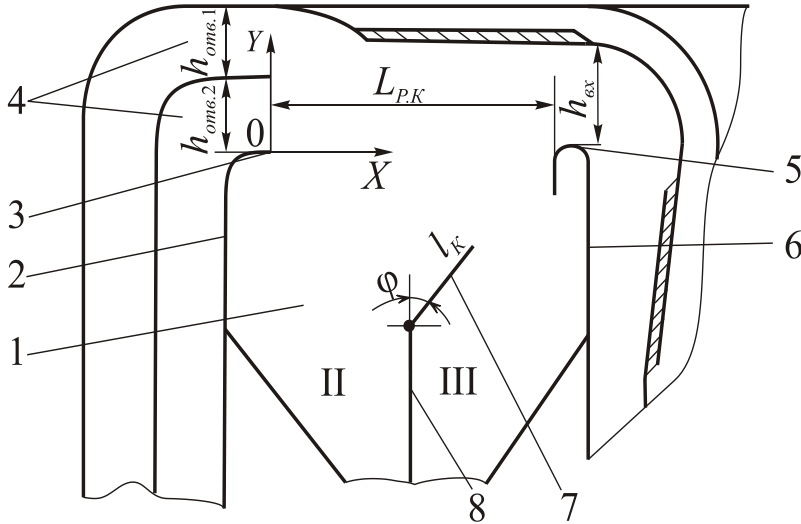


Рисунок 7 - Схема разделительной камеры: 1 - разделительная камера; 2, 6 - передняя и задняя стенки разделительной камеры; 3, 5 - входная и выходная кромки стенок разделительной камеры; 4 - отвод ПСК; 7 - поворотный клапан; 8 - перегородка разделительной камеры; II, III - вторая и третья фракции очищаемого материала

Результаты исследования разделительной камеры по влиянию конструктивных параметров и положения кромки поворотного клапана на качество очистки семян зерновых и кормовых культур II фракций были использованы для определения длины  $l_k$  поворотного клапана и места установки кромки  $A$  перегородки (рис. 8).

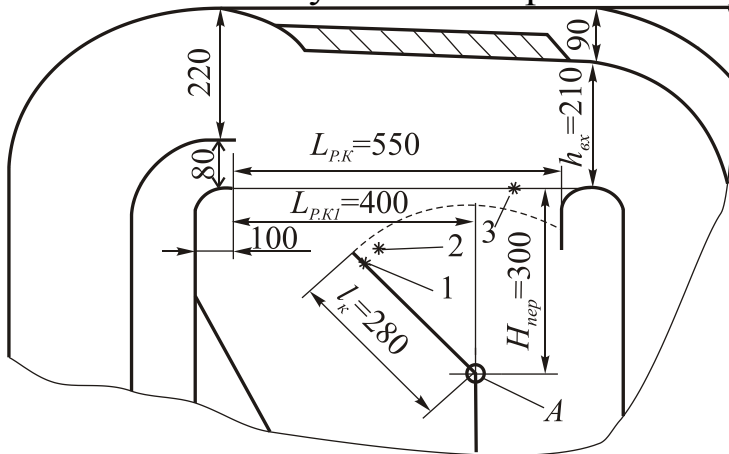


Рисунок 8 - Схема установки поворотного клапана и перегородки в разделительной камере: 1, 2, 3 - оптимальное положение кромки поворотного клапана при очистке семян яровой пшеницы, козлятника восточного, райграса пастбищного; - - - - траектория движения кромки поворотного клапана

Траектория движения кромки клапана при его повороте относительно точки крепления наилучшим образом проходит около оптимальных положений 1, 2, 3 (с учетом компоновки секций камеры) при длине  $l_k = 0,28$  м и установке его на кромке перегородки, расположенной на расстоянии  $L_{P.K1} = 0,40$  м от входной кромки передней стенки и ниже ее уровня на  $H_{пер} = 0,30$  м.

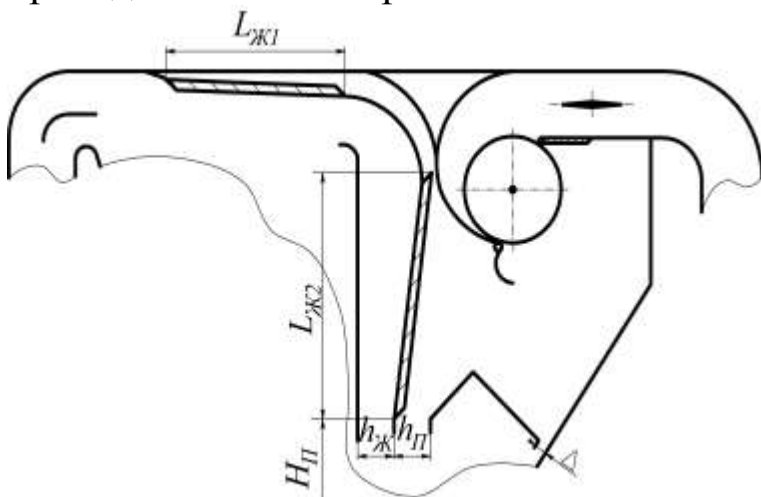


Исследования по определению оптимальной длины разделительной камеры и положения выходной кромки 5 задней стенки 6 (рис. 7) разделительной камеры по вертикали проводили при оптимальном положении кромки поворотного клапана. Условия проведения опытов оставались идентичными предыдущему исследованию.

Для определения данных параметров реализован план эксперимента Бокса-Бенкина второго порядка для двух факторов (длина разделительной камеры  $L_{P.K}$  ( $x_1$ ), положение выходной кромки задней стенки разделительной камеры по вертикали  $Y_{3.C}$  ( $x_2$ )). Уровни факторов выбирали с учетом однофакторных экспериментов и результатов теоретического исследования разделительной камеры ( $L_{P.K}=0,55; 0,625; 0,70$  м.  $Y_{3.C}=0; -0,05; -0,10$  м). В качестве критериев оптимизации были выбраны потери  $a$  (%) полноценного зерна в отходы и масса  $m_{лн}$  (%) легких примесей в III фракции по отношению к их общей массе в исходном материале.

После реализации плана и обработки результатов эксперимента получены адекватные с 95 % вероятностью уравнения регрессии потерь  $a$  семян в отходы и массы  $m_{лн}$  легких примесей в III фракции и выбрано оптимальное сочетание изучаемых факторов:  $x_1 = -1$  ( $L_{P.K} = 0,55$  м) и  $x_2 = +1$  ( $Y_{3.C} = 0$  м).

Для определения оптимальных конструктивных параметров Г-образного жалюзийно-противоточного пылеуловителя (рис. 9) был проведен план эксперимента Бокса-Бенкина второго порядка для трех



факторов: длина жалюзийной решетки  $L_{Ж} = (L_{Ж1} + L_{Ж2}) = 1,00; 1,15; 1,30$  м ( $x_1$ ); высоты выходных отверстий жалюзийного и противоточного очистителей  $h_{Ж}$  и  $h_{П} = 0,09; 0,11; 0,13$  м ( $x_2$ ); глубина пылесадительной камеры  $H_{П} = 0,6; 0,8; 1,0$  м ( $x_3$ ). Критериями оптимизации являлись

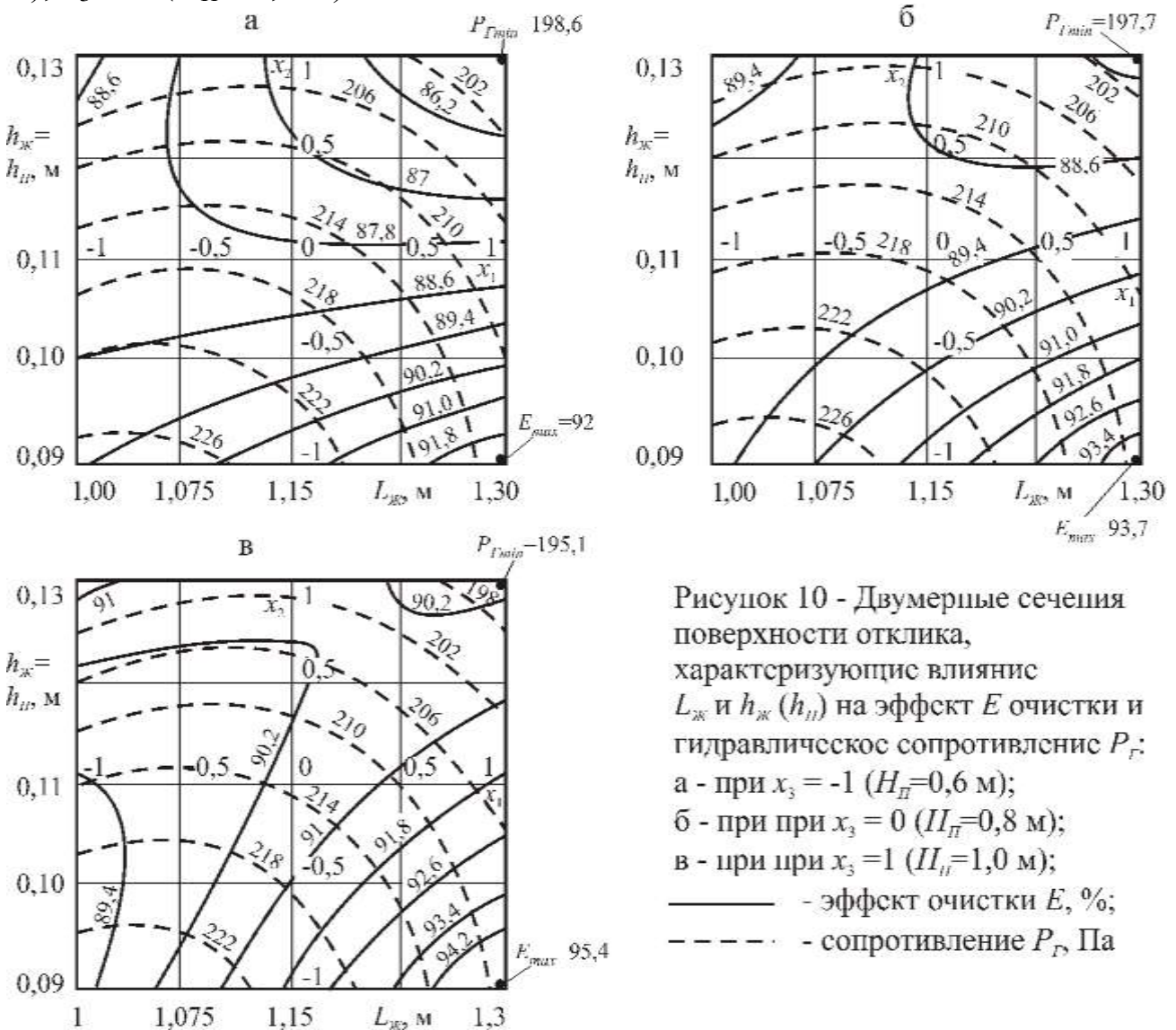
Рис. 9 – Схема Г-образного жалюзийно-противоточного пылеуловителя

эффект  $E$  очистки воздуха (%) и гидравлическое сопротивление  $P_{Г}$  (Па). После реализации плана и обработки результатов эксперимента получены адекватные с 95 % вероятностью математические модели:

$$Y_E = 89,27 + 0,55x_1 - 1,34x_2 + 0,39x_3 - 1,75x_1x_2 + 0,65x_1x_3 + 0,63x_2x_3 + 0,77x_2^2; \quad (4)$$

$$Y_{P_r} = 217,3 - 4,45x_1 - 10,24x_2 - 1,14x_3 + 3,3x_1x_2 - 4,56x_1^2 - 2,74x_2^2 - 2,34x_3^2. \quad (5)$$

По результатам анализа уравнений (4) и (5) с помощью двумерных сечений поверхностей отклика (рис. 10) выбрано следующее сочетание конструктивных параметров Г-образного жалюзийно-противоточного пылеуловителя  $x_1 = 1 (L_{ж} = 1,3 \text{ м})$ ,  $x_2 = -1 (h_{ж} = h_{п} = 0,09 \text{ м})$ ,  $x_3 = 0 (H_{п} = 0,8 \text{ м})$ .



Далее при выбранных значениях  $L_{ж}$ ,  $h_{ж}$  и  $H_{п}$  было проведено исследование взаимозависимости высоты  $h_{п}$  выходного отверстия противоточного очистителя и высоты  $\Delta$  выходного окна пылесадительной камеры.

Для определения оптимальных значений данных параметров был реализован план эксперимента Бокса-Бенкина второго порядка для двух факторов (высота  $h_{II}$  выходного отверстия противоточного очистителя ( $x_1$ ), высота  $\Delta$  выходного окна пылеосадительной камеры ( $x_2$ )). После реализации плана и обработки результатов эксперимента получено адекватное с 95 % вероятностью уравнение регрессии эффекта  $Y_E$  очистки воздуха и гидравлического сопротивления  $Y_{P_r}$  и выбрано оптимальное сочетание изучаемых факторов:  $x_1 = 1$  ( $h_{II} = 0,13$  м) и  $x_2 = -0,6$  ( $\Delta = 0,08$  м).

Таким образом, оптимальными основными конструктивными параметрами инерционного Г-образного жалюзийно-противоточного пылеуловителя являются:  $L_{Ж} = 1,3$  м,  $h_{Ж} = 0,09$  м,  $h_{II} = 0,13$  м,  $H_{II} = 0,8$  м,  $\Delta = 0,08$  м.

**В пятом разделе** "Испытания опытного образца фракционного пневматического сепаратора" приведены результаты ведомственных испытаний опытного образца фракционного пневмосепаратора СП-2Ф в условиях опытного поля ФГБНУ «НИИСХ Северо-Востока» и приемочных испытаний в ФГБУ «Кировская МИС». В результате испытаний сепаратора СП-2Ф установлено, что машина работоспособна, удовлетворительно очищает материал от легких, крупных и мелких примесей. Машина обеспечивает высокий эффект очистки от легких примесей семян различных культур 65,3...95,0%. При этом потери полноценных семян в отходы не превышают допустимых значений и находятся в диапазоне от 0,47 до 7,5 %. При работе машины в режиме вторичной очистки получены за один проход семена 1 сорта, соответствующие по чистоте категории не ниже ЭС, а в разделительной камере выделены семена, соответствующие по чистоте категории РСт.

По результатам испытаний сделано заключение о том, что сепаратор пневматический СП-2Ф соответствует основным требованиям НД и ТЗ по показателям назначения, надежности и безопасности, и рекомендуется к применению в сельскохозяйственном производстве.

Годовой экономический эффект от работы сепаратора пневматического СП-2Ф по фракционной технологии достигается за счет уменьшения кратности обработки материала для получения семян требуемого качества и составляет 52,1 тыс. руб.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В результате анализа научно-технической литературы и патентных исследований разработана конструктивно-технологическая схема фракционного пневмосепаратора семян, содержащего вертикальный пневмосепарирующий канал с опорной сеткой и сплошной разделительной перегородкой, последовательно соединенные с ним разделительную камеру, инерционный жалюзийно-противоточный Г-образный пылеуловитель, осадочную камеру и диаметральный вентилятор с дроссельной заслонкой, работающий на всасывание, устройства ввода материала и вывода его фракций (патенты РФ на изобретение №№ 2460592, 2519237).

2. С помощью экспериментально - теоретического метода, учитывающего реально существующую неравномерность поля скоростей воздушного потока, рассчитаны траектории движения компонентов семенного материала в вертикальном пневмосепарирующем канале и его отводе, а с использованием метода конечных элементов - в разделительной камере, что позволило определить в первом приближении длину разделительной камеры ( $L_{P.K.}=0,5...0,6$  м), ее высоту ( $H_{P.K.}\geq 0,5$  м) и положение выходной кромки задней стенки разделительной камеры относительно ее верхней стенки ( $h_{вых}=0,30...0,35$  м).

3. Экспериментальными исследованиями определены основные конструктивные параметры вертикального ПСК с опорной сеткой и сплошной разделительной перегородкой при удельной подаче  $q=1,74$  кг/(с·м):  $H_{ПСК}=0,4...0,8$  м,  $h=h_{омв}=0,3$  м,  $h_I=0,21$  м,  $h_{омв.I}=0,22$  м,  $S=0,1$  м,  $L_c=0,05$  м,  $\alpha=20...30^\circ$ .

4. Получены математические модели функционирования разделительной камеры и определены ее основные конструктивные параметры:  $L_{P.K.}=0,55$  м,  $L_{P.K.I}=0,40$  м,  $H_{неп}=0,30$  м,  $l_k=0,28$  м,  $Y_{з.с}=0$  м ( $h_{вых}=0,30$  м).

5. Получены математические модели эффекта  $E$  очистки воздуха и гидравлического сопротивления  $P_\Gamma$  инерционного жалюзийно-противоточного Г-образного пылеуловителя и определены его основные конструктивные параметры:  $L_{ж} = 1,3$  м,  $h_{ж} = 0,09$  м,  $h_{п} = 0,13$  м,  $H_{п} = 0,8$  м,  $\Delta = 0,08$  м.

6. Испытания опытного образца разработанного фракционного пневмосепаратора СП-2Ф показали, что на номинальном режиме чистота I сорта семян соответствует категории не ниже ЭС, II сорта – не ниже РС и РСт при допустимых потерях полноценных семян в отхо-

ды. Эффект очистки семян различных сортов овса и клевера от легких примесей составил 65,3...95,0%.

7. Расчетный годовой экономический эффект от применения нового пневмосепаратора СП-2Ф в сравнении с пневмосепаратором СП-2У-ОК за счет снижения удельных приведенных затрат составляет 52,1 тыс. руб.

Помимо этого, благодаря работе вентилятора на всасывание, концентрация пыли в воздухе рабочей зоны оператора снижается и соответствует требованиям ГОСТ Р 53055-2008.

Перспективы дальнейшей разработки темы заключаются в разработке типоразмерного ряда фракционных пневмосепараторов производительностью от 2,0 до 6,0 т/ч и создании с их использованием воздушно-решетных семяочистительных машин.

**Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:**

***Статьи в ведущих рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК РФ***

1. Бурков, А. И. Обоснование основных конструктивных параметров пылеуловителя универсального пневмосепаратора семян / А. И. Бурков, А. Л. Глушков, В. А. Лазыкин // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. - 2012. - №6. – С. 63 – 67.

2. Бурков, А. И. Влияние положения поворотного клапана на процесс работы разделительной камеры универсального сепаратора семян / А. И. Бурков, А. Л. Глушков, В. А. Лазыкин // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. - 2013. - №6. – С. 60 – 64.

3. Бурков, А. И. Исследование разделительной камеры фракционного пневмосепаратора при очистке семян кормовых трав / А. И. Бурков, А. Л. Глушков, В. А. Лазыкин // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. - 2014. - №5. – С. 69 – 74.

4. Бурков, А. И. Исследование вертикального пневмосепарирующего канала с опорной сеткой / А. И. Бурков, А. Л. Глушков, В. А. Лазыкин // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. - 2015. - №1. – С. 73 – 79.

5. Бурков, А. И. Фракционный пневматический сепаратор семян СП-2Ф / А. И. Бурков, В. А. Лазыкин // Сельский механизатор. - 2016. - №3. – С. 4, 5, 7.

6. Бурков, А. И. Результаты приемочных испытаний сепаратора пневматического фракционного СП-2Ф/ А. И. Бурков, В. А. Лазыкин // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. - 2016. - №5. – С. 73 – 78.

***Статьи в других изданиях***

7. Бурков, А. И. Результаты ведомственных испытаний опытного образца фракционного пневматического сепаратора / А. И. Бурков, А. Л. Глушков, В. А.

Лазыкин // Вестник Марийского государственного университета. - 2015. - №2. – С. 14 – 17.

8. Лазыкин, В. А. Направления повышения эффективности функционирования сепараторов семян / В. А. Лазыкин // Улучшение эксплуатационных показателей сельскохозяйственной энергетики: Сб. науч. тр. – Киров: Вятская ГСХА, 2012. - Вып. 13. –С. 60-65.

9. Лазыкин, В. А. Совершенствование конструкции пневмосепарирующего канала универсального сепаратора семян / В. А. Лазыкин // Улучшение эксплуатационных показателей сельскохозяйственной энергетики: Сб. науч. тр. – Киров: Вятская ГСХА, 2013. - Вып. 14. –С. 76-79.

10. Лазыкин, В.А. Обоснование схемы пылеуловителя универсального пневмосепаратора семян / В. А. Лазыкин // Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства: Сб. науч. тр. – Йошкар-Ола: Марийский НИИСХ, 2013. – Вып. 15. – С. 141-144.

11. Лазыкин, В. А. Исследование работы фракционного пневмосепаратора СП-2Ф на семенах зерновой колосовой культуры / В. А. Лазыкин // Улучшение эксплуатационных показателей сельскохозяйственной энергетики: Сб. науч. тр. – Киров: Вятская ГСХА, 2015. - Вып. 16. –С. 104-108.

12. Лазыкин, В. А. Применение экспериментально-теоретического метода для расчета траекторий движения частиц в вертикальном пневмосепарирующем канале / В. А. Лазыкин // Улучшение эксплуатационных показателей сельскохозяйственной энергетики: Сб. науч. Тр. – Киров: Вятская ГСХА, 2016. - Вып. 17. – С. 147-150

### ***Патенты на изобретения***

13. Пневмосепарирующее устройство зерно- и семяочистительной машины: пат. 2460592 Рос. Федерация: МПК<sup>9</sup> В07В 4/02, А01F 12/44 / Бурков А. И., Глушков А. Л., Лазыкин В. А.; заявитель и патентообладатель ГНУ Зональный научно-исследовательский институт сельского хозяйства Северо-Востока им. Н. В. Рудницкого Россельхозакадемии. - №2010141200/03; заявл. 07.10.2010; опубл. 10.09.2012 Бюл. №25. – 6 с.

14. Пневмосепаратор: пат. 2519237 Рос. Федерация: МПК<sup>9</sup> В07В 4/00 / Бурков А. И., Глушков А. Л., Лазыкин В. А.; заявитель и патентообладатель ГНУ Зональный научно-исследовательский институт сельского хозяйства Северо-Востока им. Н. В. Рудницкого Россельхозакадемии. - №2012153621/03; заявл. 11.12.2012; опубл. 10.06.2014 Бюл. №16 – 6 с.

Подписано в печать 22.11.2016 г. Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>  
Усл. печ. л. 1,0. Тираж 90 экз. Заказ № 47.  
Отпечатано с оригинал-макета.  
Типография ФГБНУ «НИИСХ Северо-Востока».  
610007, г. Киров, ул. Ленина, 166а.

