

На правах рукописи

ПЛОТНИКОВ
Виктор Георгиевич

УДК 664.726.1(043.3)

**ПНЕВМОСЕПАРАЦИЯ ПРОДУКТОВ РАЗМОЛА ЗЕРНА В
ПРОЦЕССЕ ЕГО ПЕРЕРАБОТКИ И ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ**

Специальность 05.20.01 – Технологии и средства механизации
сельского хозяйства

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени кандидата
технических наук

Барнаул 2007

Работа выполнена в государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (АлтГТУ)»

Научный руководитель: кандидат технических наук,
доцент Терехова Ольга Николаевна

Официальные оппоненты: доктор технических наук,
профессор Трухина Вера Дмитриевна;

кандидат технических наук, старший
научный сотрудник
Тейтельбаум Александр Ханинович

Ведущее предприятие: Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Алтайский Государственный Аграрный Университет (АГАУ)»,
г. Барнаул

Защита состоится «08» ноября 2007 года в 9⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета Д 212.004.02 в Алтайском государственном техническом университете им. И.И.Ползунова по адресу: 656099, г. Барнаул, пр. Ленина, 46, адрес сети Internet: www.astu.alt.ru; E-mail: ntsc@desert.secna.ru.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Алтайского государственного технического университета им. И.И.Ползунова.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью Вашего учреждения, просим направлять по указанному адресу на имя ученого секретаря диссертационного совета.

Автореферат разослан «05» октября 2007 г.

И.о. ученого секретаря

Диссертационного совета Д 212.004.02

доктор технических наук, профессор



Куликова Л.В.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В настоящее время широкое распространение получили малогабаритные комплектные мельницы, работающие в системе предприятий агропромышленного комплекса. По данным Росстата на 1 января 2005 г. производством муки у нас в стране занималось 495 средних и крупных предприятий и 1662 малых предприятия, суммарная мощность которых составила 10,8 млн. т муки в год. В 1990 году в России насчитывалось всего 380 мельзаводов, которые, однако, производили 20 млн. т муки. В Алтайском крае насчитывается около 420 мельниц малой производительности, которые вырабатывают около 46% всего объема производимой в крае муки.

Российский Союз мукомольных и крупных предприятий отмечает, что «на маломощных мельницах неэффективно используется сырье, низкая производительность труда, применяются примитивные слаборазвитые технологии, нет возможности контролировать качество зерна и готовой продукции». Безусловно, мини-мельница не может по качеству продукции и организации производства конкурировать с мельзаводами, но заниматься вопросами повышения эффективности работы таких мельниц, необходимо.

Анализ мини-мельниц с целью улучшения их работы необходимо вести по многим направлениям: с точки зрения технологической эффективности, экономической эффективности, надежности оборудования, энергоемкости, эргономичности, ремонтпригодности, оснащенности средствами дистанционного управления и контроля, экологичности, возможности экономии тепла в зимнее время за счет введения режима рециркуляции воздуха в производственном помещении и др.

Кроме того, следует отметить, что мини-мельница – это не только комплекс зерноочистительного, размольного, транспортного и аспирационного оборудования, но и пожаро-взрывоопасный объект, который должен быть оборудован устройствами взрывопредупреждения и взрывозащиты, где должен соблюдаться пылевой режим.

Технология современного мукомольного завода сложна и энергоемка, и мельница малой производительности не может являться его уменьшенной копией. В целях экономии, мельницы малой производительности работают по сокращенным технологическим схемам, в кото-

рых могут отсутствовать отдельные технологические операции, что, безусловно, отражается на качестве продукции.

Значительной экономии при неизменном качестве можно добиться за счет применения в малых агрегатных мельничных модулях многофункциональных устройств. В данной работе предлагается производить разделение продуктов размола зерна на этапе выделения твердой фракции из аэродисперсного потока при пневмотранспортировании в пневмоцентробежном классификаторе.

В системах пневмотранспорта зерноперерабатывающих предприятий для отделения перемещаемого продукта от воздуха используются циклоны-разгрузители, запыленный воздух после которых поступает на очистку в фильтры циклоны или батарейные циклоны, при этом он имеет еще высокую остаточную запыленность из-за низкой эффективности работы разгрузителя при выделении мелкодисперсных частиц.

Эффективное разделение аэродисперсных систем позволит извлечь из воздушно-пылевого потока ценные пищевые продукты, а так же снизить интенсивность изнашивания трущихся поверхностей оборудования и предотвратить возможность возникновения пылевых взрывов. Поэтому одной из задач, поставленной в данной работе – повысить качество отделения твердой фазы из аэросмеси в процессе пневмотранспортирования за счет интенсификации центробежной сепарации мелкодисперсных частиц.

Методы инерционной центробежной сепарации мелкодисперсных частиц широко распространены во многих отраслях промышленности и сельского хозяйства благодаря простоте конструкции используемых устройств, низкому расходу энергии и возможности работы в условиях высоких температур и давлений.

В сельскохозяйственном производстве при работе блочно-модульных установок по переработке зерна в муку и крупу для очистки воздуха от пыли в аспирационных сетях, а также для отделения продукта от воздуха в пневмотранспортных сетях так же используют инерционно-гравитационные центробежные пылеотделители – циклоны. Однако данный тип отделителей имеет и ряд недостатков таких как - низкая эффективность очистки при работе на полидисперсных аэрозолях, что не позволяет применять режим рециркуляции воздуха в помещении. Как показывает опыт работы сепарационной техники, наибольший эффект разделения можно достичь при помощи устройств, которые в своей работе применяют не один, а несколько принципов сепарации и факторов определяющих данный процесс.

Пылевые частицы в циклоне сепарируются в кольцевом пространстве между двумя цилиндрическими поверхностями, расположенными концентрично.

Из литературных данных известно, что дисперсность отделяемых в циклоне частиц тем мельче, чем меньше вязкость воздуха и наружный радиус циклона и чем больше плотность пыли, частота вращения частиц пыли и число витков, которое она совершает.

Вязкость для данного состояния воздуха - величина постоянная, также как и плотность для пыли данного типа. Уменьшать отношение наружного радиуса циклона к внутреннему не возможно до бесконечности. Следовательно, чтобы повысить эффективность сепарации мелкодисперсной пыли в центробежном отделителе, необходимо увеличить частоту вращения частиц или создать такие условия сепарации, при которых частица совершала бы максимальное число витков, двигаясь по винтовой траектории в кольцевом пространстве.

В пылевоздушных потоках, разделяемых в циклонах и циклонах-разгрузителях, содержится значительное количество мелкодисперсных частиц, и при увеличении эффективности работы пылеотделителей данного типа, речь идет именно о таких частицах.

В данной работе рассматривается поведение частицы в центробежно-гравитационном поле, при изменении различных влияющих на процесс сепарации параметров, рассматривается теоретическая часть проектирования пневмоцентробежного классификатора, предназначенного для разделения продуктов размола зерна с возможностью улавливания мелкодисперсных частиц, очистки воздуха от пыли.

В основном изучается процесс выделения частиц с последующим их осаждением на поверхность и вибротранспортированием по ней. Формулируются дифференциальные уравнения движения отдельной частицы в воздушном вращающемся кольцевом пространстве, а также пневмоинерционного осаждения частицы на внутреннюю поверхность наружного конуса кольцевого пространства, с дальнейшим виброперемещением по ней.

Одной из задач современного производства является снижение пылевыделений на каждом этапе обработки и переработки зернового сырья.

Продукты измельчения зерновых материалов состоят из частиц различной дисперсности и неправильной геометрической формы. Разделение таких частиц, их поведение в аппаратах, взаимодействие с рабочими органами неодинаково. Поэтому для обоснованного выбора и

правильной оценки работы разделительных устройств необходимы сведения о дисперсном составе продуктов размола.

Задача получения высококачественной продукции в условиях производства с помощью ситового разделения продуктов размола приводит к увеличению площади производственных помещений, занимаемых оборудованием, к многократному перемещению продуктов как внутри отдельной машины, так и от одной машины к другой, что влечет за собой значительные затраты электроэнергии. Кроме того, диапазон размеров разделяемых частиц ограничивается проходным размером отверстий сит. Исходя из вышесказанного, актуальным направлением является научный поиск методов разделения аэродисперсных потоков, основанных на других принципах, например, центробежных, пневмоцентробежных. Важной особенностью работы классификаторов такого типа является возможность выделения весьма тонкой фракции с размерами до 90 мкм, характеризующиеся высоким содержанием белка, что современные ситовые поверхности не позволяют.

Цель и задачи исследования. Цель настоящего исследования – повышение эффективности процесса разделения продуктов размола зерна в процессе их пневмотранспортирования на зерноперерабатывающих предприятиях. Для достижения указанной цели были поставлены следующие задачи:

- разработать основы механико-технологической модели процесса сепарации продуктов размола в кольцевом канале, заключенном между двумя твердыми вращающимися виброконусами, и обосновать выбор параметров;
- определить экспериментально оптимальные параметры разделения продуктов размола в пневмоинерционном классификаторе, сравнить их с данными, полученными математическим моделированием.

Объект исследований. В качестве объекта исследований рассматривался процесс пневмосепарации продуктов размола и устройство для его осуществления на малогабаритной мельнице.

Предмет исследований состоит в установлении взаимосвязи между эффективностью процесса разделения продуктов размола зерна в пневмоцентробежном поле и взаимодействием продуктов размола с виброповерхностью.

Научная новизна. Разработан способ разделения продуктов размола зерна в центробежно-гравитационном поле и устройство для его осуществления, которое может применяться в качестве классификатора

и разгрузителя в системах пневмотранспорта, как для отделения продукта от воздуха, так и для отбора отдельных фракций из продуктов размола зерна, поступающих с различных систем.

Получено математическое описание и определены основные закономерности процесса сепарации частиц в кольцевом воздушном канале, определены скорости и ускорения движения частиц.

Исследовано влияние различных факторов на процесс сепарации в пневмоцентробежном классификаторе.

На основе принципов механики разработана модель перемещения частиц по поверхности рабочего элемента. Все это позволило разработать рекомендации по проектированию пневмоцентробежного классификатора, предназначенного для разделения продуктов размола зерна.

Практическая ценность. По результатам работы и на основании проведенных исследований обоснованы технологические режимы сепарирования продуктов размола зерна на зерноперерабатывающих предприятиях.

Все расчеты производились при помощи математического редактора Mathcad 6.0 PRO.

Апробация работы. Результаты работы докладывались на Восьмой всероссийской научно-практической конференции «Современные проблемы техники и технологии пищевых производств», третьем специализированном конгрессе зернопереработчиков «Нивы России» (Барнаул, 2005 г).

Результаты диссертационной работы внедрены в учебный процесс по кафедре «Машины и аппараты пищевых производств» АлтГТУ им И.И. Ползунова.

Пневмоинерционный классификатор был испытан в производственных условиях на ЗАО «Алейскзернопродукт» им. С.Н. Старовойтова, получен акт о внедрении.

Принято к внедрению техническое предложение по использованию пневмоинерционного классификатора-разгрузителя для разделения продуктов размола зерна, получен акт о внедрении результатов НИР (ОКР) на ООО «Машиностроительный завод «Мельник».

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 7 печатных работ, в том числе работа в журнале, рекомендованном ВАК для

опубликования результатов кандидатских и докторских диссертаций, получен патент РФ на изобретение.

В процессе работы над диссертацией автор пользовался научными консультациями доктора технических наук, профессора кафедры «Машины и аппараты пищевых производств» В.Л. Злочевского.

Структура и объём диссертационной работы. Диссертация состоит из введения, обзора литературы, описания материалов и методов исследования, экспериментальной части, теоретической части, выводов, библиографического списка литературы из 108 наименований, в том числе 6 иностранных. Работа изложена на 152 страницах машинописного текста, содержит 54 рисунка, 13 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ.

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цель и задачи исследований, указана научная новизна и практическая ценность, приведены сведения об апробации результатов работы.

В первой главе дана общая оценка методов и устройств, используемых для сепарирования аэродисперсного потока на предприятиях агропромышленного комплекса, устройств для отделения твердой фазы из аэросмеси в системах пневмотранспорта, а так же анализ пневмоцентробежных классификаторов, предназначенных для разделения продуктов размола зерна на фракции.

На основе анализа способов и конструкций пневмоцентробежных классификаторов, предложено устройство для повышения эффективности разделения продуктов размола на фракции. За основу взят центробежный классификатор с наличием перфорированных конусов.

Во второй главе разработаны основы механико-технологической модели процесса сепарации продуктов размола в кольцевом канале, заключенном между двумя твердыми вращающимися виброконусами, и обоснован выбор параметров. В основном изучается процесс выделения частиц и последующее их вибротранспортирование на поверхности оседания. Составлены дифференциальные уравнения движения отдельной частицы в воздушном вращающемся кольцевом пространстве, а также на поверхности оседания, совершающей виброколебания.

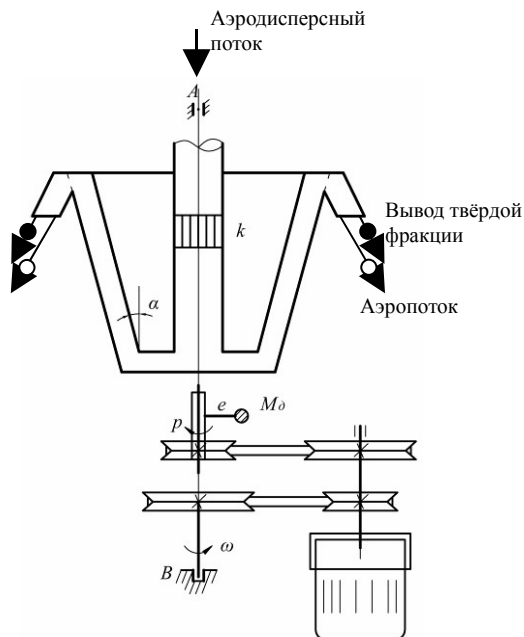


Рисунок 1 - Модель пневмосепаратора

Основная рабочая часть сепаратора состоит из 2-х усеченных конусов, которые являются соосными и равномерно вращаются вместе с валом AB вокруг вертикальной оси (рисунок 1).

В кольцевой вращающийся канал (с расходом - Q , m^3/c и скоростью - v , m/c) подается аэросмесь в процессе пневмотранспорта продуктов размола. В канале поток предварительно закручивается крыльчаткой. Затем он поступает в кольцевое пространство, где вращательные скорости частиц воздуха и твердой фазы вокруг оси AB приближаются к соответствующим скоростям точек конусов. Это пространство является рабочей областью.

Рассмотрим уравнение движения частицы в воздухе, не находящейся вблизи внешней конической поверхности при действии на нее силы тяжести $m\vec{g}$ и силы аэродинамического сопротивления $\vec{F}_c$ (здесь m - масса частицы).

Воспользуемся неподвижной цилиндрической системой с координатами r, z, φ , где r - расстояние частицы до оси вращения конусных поверхностей, z - вертикальная координата, отсчитываемая вверх от основания внешнего конуса, φ - угловое смещение (в радианах).

нах) частицы в горизонтальной плоскости относительно произвольной неподвижной плоскости, проведенной через ось вращения.

Соответствующие дифференциальные уравнения движения частицы имеют такой вид:

$$\left. \begin{aligned} ma_r &= F_{rc}, \\ ma_\varphi &= F_{\varphi c}, \\ ma_z &= -mg + F_{zc}; \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

здесь a_r - радиальное ускорение, a_φ - тангенциальное, a_z - вертикальное.

Будем считать, что воздушный поток движется между усеченными конусами как твердое тело при винтовом движении. Это означает, что поток вращается вместе с усеченными конусами вокруг оси Oz с угловой скоростью ω , равной угловой скорости конусов, и поступательно движется вверх вдоль образующей конусов с известной постоянной скоростью на входе u . Тогда на входе составляющие u_r и u_z вектора скорости равны соответственно $u \sin \alpha$ и $u \cos \alpha$. Пусть r_0 - радиус нижнего основания внешнего усеченного конуса, r_1 - радиус основания внутреннего усеченного конуса. Тогда площадь сечения между конусами в основании $S_0 = \pi (r_1^2 - r_0^2)$, а расход воздуха через нижнее основание за единицу времени равен $u_z S_0$. Обозначим через $u_z(z)$ скорость воздуха вдоль оси Oz на высоте z , а $S(z)$ - площадь сечения на высоте z .

Скорость воздуха в точке с координатами r, φ, z имеет следующие составляющие:

$$u_\varphi = r\omega, \quad u_z(z) = \frac{u \cos \alpha}{1 + \frac{2z \operatorname{tg} \alpha}{r_1 + r_0}}, \quad u_r(z) = u_z(z) \operatorname{tg} \alpha. \quad (2)$$

Скорость движения частицы относительно воздуха $\vec{v}_{отн}$:

$$v_{r_{отн}} = \dot{r} - u_r(z), \quad v_{\varphi_{отн}} = r(\dot{\varphi} - \omega), \quad v_{z_{отн}} = \dot{z} - u_z(z) \quad (3)$$

Сила аэродинамического сопротивления, действующая на частицу, предполагается зависимой от квадрата относительной скорости $\vec{v}_{отн}$ и противоположна ей по направлению:

$$\vec{F}_C = -k_1 v_{отн}^2 \frac{\vec{v}_{отн}}{v_{отн}} = -k_1 v_{отн} \vec{v}_{отн}, \quad (4)$$

здесь k_1 - постоянный коэффициент пропорциональности, индивидуальный для частицы, $v_{отн}$ - модуль относительной скорости частицы. Коэффициент k_1 можно найти, задавшись скоростью витания $v_{вит}$ данной частицы, которую можно определить экспериментально для частиц определенной массы и определенных размеров: $k_1 = mg/v_{вит}^2$.

С учетом последних выражений запишем уравнения (1) в таком виде:

$$\left. \begin{aligned} \ddot{r} &= r\dot{\varphi}^2 - \frac{k_1}{m}(\dot{r} - u_r(z))v_{отн}, \\ r\ddot{\varphi} &= -2\dot{r}\dot{\varphi} - \frac{k_1}{m}r(\dot{\varphi} - \omega)v_{отн}, \\ \ddot{z} &= -g - \frac{k_1}{m}(\dot{z} - u_z(z))v_{отн}. \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Выделим движение частицы относительно поверхности конуса, представив угол φ абсолютного поворота частицы через угол φ_* поворота частицы относительно поверхности конусов: $\varphi = \varphi_* + \omega t$, где ωt - угол поворота конусов. Это будет особенно важно при переходе частицы на поверхность внешнего конуса. Согласно этому, перепишем уравнения (5):

$$\left. \begin{aligned} \ddot{r} &= r(\dot{\varphi}_* + \omega)^2 - \frac{k_1}{m}(\dot{r} - u_r(z))v_{отн}, \\ r\ddot{\varphi}_* &= -2\dot{r}(\dot{\varphi}_* + \omega) - \frac{k_1}{m}r\dot{\varphi}_*v_{отн}, \\ \ddot{z} &= -g - \frac{k_1}{m}(\dot{z} - u_z(z))v_{отн}. \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Система уравнений (6) дополняется следующими начальными условиями при $t = 0$:

$$r = r_0, \quad \varphi_* = 0, \quad z = z_0 = 0, \quad \dot{r} = u_r, \quad \dot{\varphi}_* = 0, \quad \dot{z} = u_z. \quad (7)$$

После интегрирования уравнений (6) можно найти уравнения движения частицы: $r = r(t)$, $\varphi_* = \varphi_*(t)$, $z = z(t)$.

Нелинейная система дифференциальных уравнений (6) была реализована на ЭВМ численным методом. Результаты расчетов, конечно, будут зависеть от большого числа постоянных параметров системы. Чтобы уменьшить это число, а сами результаты сделать более доступными для анализа, приведем уравнения (6) к безразмерному виду:

$$\left. \begin{aligned} \ddot{r} &= r(\dot{\varphi} + 1)^2 - \tilde{k}_v(\dot{r} - u_r(z))v_{отн}, \\ r\ddot{\varphi} &= -2\dot{r}(\dot{\varphi} + 1) - \tilde{k}_v r\dot{\varphi} v_{отн}, \\ \ddot{z} &= -\tilde{k}_{ин} - \tilde{k}_v(\dot{z} - u_z(z))v_{отн}. \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

Безразмерные постоянные параметры определяются по формулам:

$$\begin{aligned} \tilde{u} &= u/(r_1\omega), \quad \tilde{k}_{ин} = g/(r_1\omega^2), \quad \tilde{k}_v = \tilde{g}/\tilde{v}_{вм}^2, \\ \tilde{v}_{вм} &= v_{вм}/(r_1\omega). \end{aligned} \quad (9)$$

Таким образом, имеем четыре параметра (9). Кроме этих параметров движение частицы зависит от ее начальных условий. Была разработана программа, позволяющая моделировать процесс сепарации частиц различной дисперсности при различных начальных условиях, результаты представлены в графическом виде.

На рисунках 2 - 4 показаны основные результаты расчетов для различных значений постоянных параметров:

$$r_1 = 0,1м, \quad r_0 = 0,08м, \quad -0,4 \leq \alpha \leq +0,7 \text{ рад},$$

$$40 \leq \omega \leq 75 \text{ рад/с}, \quad v_{\text{вум}} \geq 0,05м/с,$$

$$\omega \leq p \leq 10\omega, \quad 0 \leq f \leq 3, \quad 1 \leq \tilde{H} \leq 4, \quad u_z = 3 \text{ м/с}.$$

Заметим, что $\tilde{k}_v = \frac{g \cdot r_1}{v_{\text{вум}}^2}$. Поэтому задание величины $\tilde{k}_v$ одно-

значно определяет $v_{\text{вум}}$ и наоборот. Так, например, для $v_{\text{вум}} = 0,05м/с$, коэффициент $\tilde{k}_v = 24,5$, при $v_{\text{вум}} = 0,1м/с$ коэффициент $\tilde{k}_v = 98$, при $v_{\text{вум}} = 0,2м/с$ коэффициент $\tilde{k}_v = 392$.

На всех рисунках все параметры безразмерные и, как и в предыдущих параграфах, знак тильда над ними опускается. Кроме того, опускается знак тильда над коэффициентами на подписях в рисунках.

Для сепарации частиц из воздуха основное значение имеет параметры: α , ω ,

r_1 , u , $v_{\text{вум}}$ и начальные расстояния r частицы от оси вращения. Примеры расчетов траекторий частиц при ее сепарации показаны на приведенных ниже рисунках. Так, в частности, на рисунках 2, 3 для угла конусности $\alpha = 0,2$ приведены зависимости безразмерных величин z от r , которые являются весьма типичными по своему виду. Предполагается, что в начальный момент времени частица находится на нижнем основании в непосредственной близости от внутреннего конуса, причем ее скорость совпадает со скоростью воздуха. Рисунок 2 соответствует угловой скорости вращения $\omega = 75\text{рад/с}$, а рисунок 3 - значению $\omega=40\text{рад/с}$.

Из рисунков видно, что более «крупные» частицы с малыми скоростями витания достигают поверхности внешнего конуса на меньшей высоте, чем «мелкие». Кроме того, на координаты точки оседания частицы на стенку существенное влияние оказывает угловая скорость вращения. Это связано с тем, что при $\omega = 75 \text{ рад/с}$ центробежная сила инерции частицы $F_u = m\omega^2 r$ примерно в 46 раз больше ее силы тяжести в то время как для $\omega = 40 \text{ рад/с}$ - всего в 13 раз. Траектории показывают, что для оседания частицы на поверхность в пределах рабочей области необходимо большое значение центробежной силы инерции частицы. Для этого нужно получить достаточно большую угловую скорость ω вращения конусов и воздуха. Кроме этого, если взять расстоя-

ние между конусами является относительно малым, то частицы уже в начале сепарации окажутся вблизи поверхности оседания. При этом удастся сепарировать более легкие частицы с малыми скоростями витания.

Для траекторий характерным является также практически линейная зависимость z от r вдоль вертикальной оси. Это связано, прежде всего, с тем, что радиальная скорость очень быстро возрастает, а затем практически не меняется (см. рисунок 4).

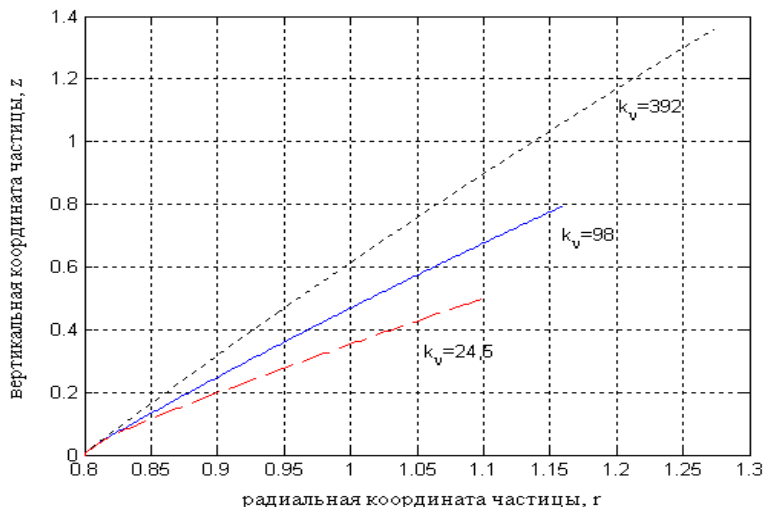


Рисунок 2 - Зависимость координаты z частицы от r ; $\omega = 75$ рад/с, $\alpha = 0,2$.

В качестве примера на рисунке 3 показана зависимость r от φ . Он дает представление о траектории частиц при их движении по поверхности рабочего элемента пневмоинерционного разгрузителя-классификатора.

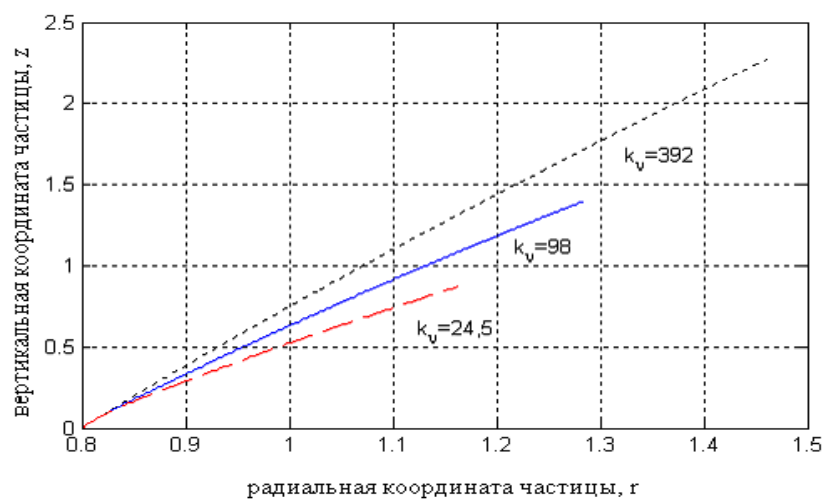


Рисунок 3 - Зависимость координаты z частицы от r , $\omega=40 \text{ рад/с}$, $\alpha = 0,2$.

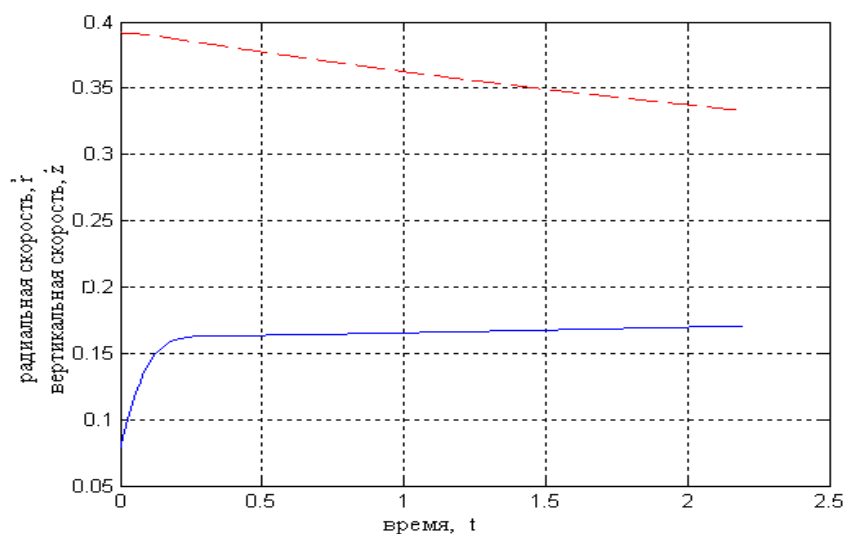


Рисунок 4 - Зависимость $\dot{r}(t)$ (нижняя кривая) и $\dot{z}(t)$ (верхняя кривая) при $\omega=75 \text{ рад/с}$, $\alpha = 0,2$, $k_v = 98$.

Анализ траекторий движения позволяет сделать вывод о возможности эффективного тонкого разделения частиц различной дисперсности.

Сформулированные механико-технологические основы определяют пути совершенствования работы мельниц с пневмотранспортными системами. Разработка разгрузителей нового поколения позволит изменить технологические потоки и определить возможность формирования продуктов размола после первой размольной системы.

Третья глава. Исследования проводили в научно-исследовательской лаборатории кафедры «Машины и аппараты пищевых производств» Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова.

Для проверки основных теоретических положений работы, а также для определения оптимальных кинематических и технологических параметров работы пневмоинерционного классификатора разработана программа экспериментальных исследований, которая включает в себя:

- исследование влияния удельного расхода воздуха на эффективность пневмосепарирования;
- определение оптимальных кинематических параметров пневмокласификатора;
- определение оптимальной частоты вращения ротора пневмоцентробежного классификатора и входной скорости воздушного потока в установку на эффективность сепарирования.

В качестве объекта исследования принят процесс разделения продуктов размола зерна и выделения пыли в пневмоцентробежном классификаторе. Порядок проведения эксперимента был определен согласно ГОСТов и методик расчета плановых показателей по охране атмосферного воздуха зерноперерабатывающих предприятий и элеваторов.

Для определения параметров при проведении экспериментов и их анализа применялось типовое лабораторное оборудование: весы аналитические «Sartorius» BP 121 S ГОСТ 24104-2001, дифференциальный манометр цифровой ДМЦ - 01/М, ротаметр N 6123139 типа РМ-УЗ класса точности по ГОСТ 13045-81, барометр N 1245 типа МД-49-2, линейка миллиметровая, сито, вольтметр типа М42100, трансформатор типа ЛАТР - 2М.

Планирование эксперимента и статистическая обработка опытных данных и анализ полученных результатов проводились классическим методом при использовании стандартных программ.

Четвёртая глава. Эффективность работы классификатора это комплексный показатель, он определяется наибольшей степенью выделения фракций из аэрозольсмеси при наименьших энергетических и эксплуатационных затратах.

Для проведения испытаний использовалась экспериментальная установка пневмоинерционного классификатора. Был спланирован и поставлен двухфакторный эксперимент ПФЭ²³.

Экспериментальные исследования были направлены на определение влияния частоты вращения ротора пневмоинерционного классификатора и входной скорости воздушного потока в установку на эффективность отделения фракции манной крупы из продуктов размола зерна.

Цель данного эксперимента в определении наиболее оптимального соотношения входной скорости и частоты вращения, при которых значение эффективности отделения нужной фракции будет максимальной.

Все расчеты по двухфакторному эксперименту производились при помощи математического редактора Mathcad 6.0 PRO, позволяющего с максимальной точностью и быстротой производить любые математические вычисления. Ввод данных и вывод результата осуществляется с экрана в виде матрицы или графика. Ниже приведен расчет двухфакторного эксперимента ПФЭ²³.

По результатам эксперимента составлено и решено уравнение регрессии в виде полинома третьей степени, включающее члены, учитывающие эффект парного межфакторного взаимодействия:

$$y(x_1, x_2) = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_3 \cdot x_1^2 + b_4 \cdot x_2^2 + b_5 \cdot x_1 \cdot x_2 + b_6 \cdot x_1^3 + b_7 \cdot x_2^3$$

Результаты эксперимента представлены в графическом виде на рисунке 5.

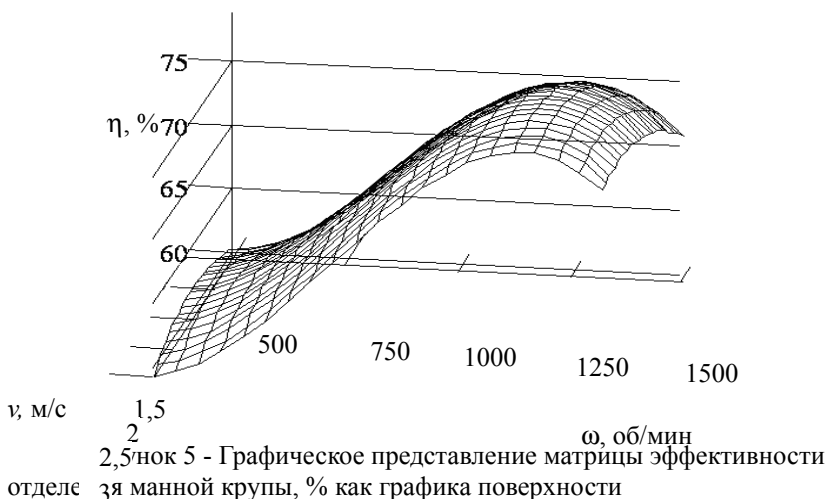


Рисунок 5 - Графическое представление матрицы эффективности отделения манной крупы, % как графика поверхности

Таким образом, можно сделать вывод о наиболее благоприятном сочетании значений входной скорости и частоты вращения ротора классификатора, при котором эффективность отделения манной крупы максимальная.

Как видно из графика на рисунке 5 максимальная эффективность отделения соответствует входной скорости 2,5 м/с, при частоте вращения ротора 1350 об/мин.

С увеличением максимального размера частиц полидисперсного продукта, поступающего в классификатор, его рабочая зона также должна быть увеличена. Данная закономерность позволила разработать ряд предложений по усовершенствованию существующей конструкции экспериментального образца классификатора с целью организации возможности выделения в нем большего количества фракций.

Использование данной установки позволяет более эффективно разделить на фракции продукты размолы и увеличить производительность. Данное устройство позволяет отделять продукт от воздуха, а также разделять продукт на фракции.

На основе проведенных теоретических и экспериментальных исследований был разработан пневмоинерционный классификатор, предназначенный для очистки воздуха от мучной пыли и фракционирования продуктов размолы в производственных условиях, представляющий собой циклон с встроенным в него набором вращающихся конических рабочих элементов.

В данном устройстве реализован способ вибрационного транспортирования продуктов, осевших на поверхности рабочих элементов, рассмотренный подробно в теоретической части данной диссертационной работы.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Повышение эффективности процесса сепарирования продуктов размола зерна и воздушно-пылевого потока достигнуто путем проведения теоретических и экспериментальных исследований процесса разделения продуктов размола на зерноперерабатывающих предприятиях. Разработаны основы механико-технологической модели процесса сепарации продуктов размола в кольцевом канале, заключенном между двумя твердыми вращающимися виброконусами, и обоснован выбор параметров. Модель описывается системой дифференциальных уравнений.

2. Анализ процесса сепарации частиц со скоростями витания от 0,05 до 0,5 м/с, определил схему и параметры пневмоинерционного классификатора с кольцевым воздушным каналом. Для вывода частиц, осевших на стенке внешнего конуса, использован вибрационный метод, предусматривающий сообщение конусу колебаний перпендикулярно его оси вращения.

3. На основе анализа результатов математического моделирования процесса сепарирования аэродисперсной смеси, были получены основные кинематические параметры классификатора. Так наиболее оптимальной считается угловая скорость вращения конусов $\omega = (80-150) \text{ рад/с}$ ($n \approx (765-1435) \text{ об/мин}$).

4. Созданная с учётом результатов математического моделирования экспериментальная установка пневмоинерционного классификатора позволила спланировать и поставить двухфакторный эксперимент, направленный на определение оптимального режима работы при сепарации продуктов размола. По экспериментальным данным составлены уравнения регрессии в виде полинома третьей степени, выявлены наиболее благоприятные значения входной скорости и частоты вращения ротора классификатора. По экспериментальным данным, обработанным при помощи ЭВМ, наиболее оптимальным сочетанием частоты вращения и входной скорости воздуха, при котором значение эффективности разделения максимально, является входная скорость 2,5 м/с, частота вращения ротора 1350 об/мин.

5. С целью повышения эффективности разделения продуктов размола зерна и выделения мучной пыли в работе предложен метод, основанный на использовании центробежно-инерционного поля, полученного между двумя вращающимися коаксиальными поверхностями при прохождении между ними воздушного потока. Предложена модель классификатора, представляющий собой циклон с встроенным в него набором вращающихся конических рабочих элементов.

6. Классификатор адаптирован в производственных условиях и подтверждено, что он обладает высокой эффективностью разделения продуктов размола зерна с размером частиц от 0,5 до 250 мкм.

Результаты диссертационной работы внедрены в учебный процесс и используются при ведении курсового и дипломного проектирования для студентов специальности 17.06.00 МАПП.

Внедрение разработанного устройства позволит сэкономить значительное количество электроэнергии. Годовой экономический эффект от внедрения на мельнице производительностью 12 т/сут составит 75 тыс. руб., а на 430 т/сут – 163 тыс. руб.

Список работ, опубликованных по теме диссертации:

1. Злочевский, В.Л. Пути снижения энергозатрат при производстве муки / В.Л. Злочевский, В.Г. Плотников // Вестник Алтайского научно-го центра Сибирской Академии наук высшей школы: научный и общественно-информационный журнал. – 2005. – №8. – С. 43–52.

2. Злочевский, В.Л. Анализ движения частиц в центробежном кольцевом сепараторе / В.Л. Злочевский, О.Н. Терехова, В.Г. Плотников // Третий специализированный конгресс зернопереработчиков «Нивы России»: сб. материалов (25-27 октября 2005г). – Барнаул: АзБука, 2005. – С. 12–16.

3. Злочевский, В.Л. Движение твердой частицы в воздушном потоке / В.Л. Злочевский, О.Н. Терехова, В.Г. Плотников // Третий специализированный конгресс зернопереработчиков «Нивы России»: Сб. материалов (25-27 октября 2005г). – Барнаул: АзБука, 2005. – С. 25–28.

4. Злочевский В.Л. Движение частицы на поверхности конуса сепаратора / В.Л. Злочевский, О.Н. Терехова, В.Г. Плотников // Третий специализированный конгресс зернопереработчиков «Нивы России»: Сб. материалов (25-27 октября 2005г). – Барнаул: АзБука, 2005. – С. 29–32.

5. Злочевский В.Л. Пневмосепарация продуктов размола и пыли / В.Л. Злочевский, О.Н. Терехова, В.Г. Плотников // Третий специализированный конгресс зернопереработчиков «Нивы России»: Сб. материалов (25-27 октября 2005г). – Барнаул: АзБука, 2005. – С. 72–76.

6. Злочевский В.Л. Пневноцентробежный классификатор-разгрузитель / В.Л. Злочевский, О.Н. Терехова, В.Г. Плотников // Техника в сельском хозяйстве. Научно-теоретический журнал. – 2007. – №4. – С.6– 9. (*Печатное издание рекомендованное ВАК для опубликования результатов кандидатских и докторских диссертаций*)

7. Плотников В.Г. Пневноцентробежный классификатор / В.Г. Плотников, В.Л. Злочевский, О.Н. Терехова // Современные проблемы техники и технологии пищевых производств: (8-я республиканская научно-практическая конференция с международным участием, 15-16 декабря 2005 г.). – Барнаул, 2005. – С. 19 – 23.

8. Пат. 2286855 RU C1, МПК B07D 7/00. Способ пневмосепарации дисперсного материала / В.Л. Злочевский, В.В. Савинков, В.Г. Плотни-

ков. – № 2005111118/03; заявл. 15.04.2005; опубл. 10.11.2006; Бюл.
№31.