

Рис. 2. Последовательность операций при выборе оборудования производства комбикормов

В нашем случае минимальное значение $K = 1,14$ показывает, что среди рассмотренных комбикормовых агрегатов в рамках предложенной методики наиболее эффективен агрегат КМА «Алтай». Однако эталоном при рассмотренной методике будет являться агрегат с $K = 1$, которое показывает направление совершенствования данных типов агрегатов.

Библиографический список

1. Эленшлегер А.А. Скармливание комбикормов – основа повышения продуктивности животных / А.А. Эленшлегер, И.Я. Федоренко, С.Н. Васильев // Алтай: село и город. 2001. № 42. С. 15-17.
2. Федоренко И.Я. Производство и использование комбикормов в коллективных и фермерских хозяйствах / И.Я. Федоренко, С.Н. Васильев. Барнаул, 2003.
3. Дронов С.В. Многомерный статистический анализ / С.В. Дронов. Барнаул: Изд-во Алт. ун-та, 2007.



УДК 664.741.8

О.Н. Терехова

ПНЕВМОЦЕНТРОБЕЖНОЕ СЕПАРИРОВАНИЕ ДИСПЕРСНЫХ МАТЕРИАЛОВ

При производстве муки и крупы выделяется значительное количество тонкодисперсной пыли, которая перемещается в системах пневмотранспорта и аспирации и отделяется в пылеотделителях. Для очистки воздуха от пыли в аспирационных сетях мельниц, а также для отделения продукта от воздуха в пневмотранспортных сетях используют инерционно-гравитационные центробежные пылеотделители – циклоны. Эффективность сепарации центробежного пылеотделителя зависит от его конструктивного исполнения, соблюдения условия определенной входной скорости воздуха и свойств самой пыли. Из этого следует, что для оптимальной работы циклона необходимо соблюдение большого ряда параметров, и несоответствие даже одного параметра заданным условиям ведет к резкому снижению эффективности его работы. Этим объясняется тот факт, что реальная эффективность очистки воздуха в циклонах в производственных усло-

виях гораздо ниже, чем та, которая указана в паспортных данных и литературе.

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.

Эффективное разделение аэродисперсных систем позволит не только извлечь из воздушно-пылевого потока ценные пищевые продукты, но и улучшить санитарно-гигиенические условия на производстве, предотвратить возможность возникновения пылевых взрывов. Поэтому повышение качества отделения твердой фазы из аэросмеси в процессе пневмотранспортирования является важной задачей. Добиться этого возможно за счет интенсификации центробежной сепарации мелкодисперсных частиц.

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.

Пылевые частицы в циклоне сепарируются в кольцевом пространстве между двумя цилиндрическими поверхностями, расположенными концентрично. Из данных литературы известно, что дисперсность отделяемых в циклоне частиц тем меньше, чем меньше вязкость воздуха и наружный радиус циклона, и чем больше плотность пыли, частота вращения частиц пыли и число витков, которое она совершает [1].

Вязкость для данного состояния воздуха – величина постоянная, так же как и плотность для пыли данного типа. Уменьшать отношение наружного радиуса циклона к внутреннему невозможно 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.

Проблемы повышения эффективности процесса сепарации привели к созданию конструкций, позволяющих увеличить действие центробежных сил. С этой целью разработаны различные типы отделителей, например, центробежные пылеотделители с дисковым ротором, используемые рядом отраслей промышленности при производстве тонкодисперсных порошков и в газоочистке.

Сепарирующим элементом роторного центробежного пылеотделителя является уравновешенный по давлению ротор с независимым от дутьевых устройств (вентилятора, компрессора, вакуум-насоса) приводом.

Процесс циркуляционного движения пыли в корпусе пылеотделителя наблюдается как результат взаимодействия воздуха с крупными частицами, отделяемыми в центробежном поле ротора и частичное осаждение более мелких частиц, которые не могут быть задержаны в этом поле. Это приводит к повышению эффективности пылеотделения по сравнению с расчетным ее значением, получаемым, например, из равенства центробежной силы

и силы аэродинамического сопротивления, действующих на частицу равновесного размера на ободу ротора.

В центробежном роторном пылеотделителе выделяется две ступени процесса осаждения пыли – циклонная и роторная. На первой (циклонной) ступени вблизи цилиндрической стенки корпуса аппарата осаждаются наиболее крупные частицы, соответствующие развивающимся центробежным силам за счет тангенциального или улиточного ввода пылегазовой среды. На этой же ступени улавливается и часть мелких частиц в результате взаимодействия с крупными и между собой. Не уловленные на первой ступени мелкие частицы аэродинамическими силами увлекаются к ротору.

Подобное конструктивное решение, а соответственно, и правильная организация аэродинамики дают возможность существенно повысить эффективность работы аппарата, что особенно важно при очистке высокозапыленных, пульсирующих потоков газа, широко применяемых в технологии производства и переработки тонкодисперсных материалов при их пневматическом транспортировании, в связи с необходимостью улавливания большей доли очень мелких фракций частиц.

В работе М.И. Шипяева предложена формула, позволяющая при известном фракционном составе пыли определять теоретическое значение эффективности роторного аппарата [2]:

$$\varepsilon_T = 1 - G_b(\delta_p^*), \quad (1)$$

где $G_b(\delta_p)$ – весовая интегральная функция распределения частиц по размерам (функция проходов);

δ_p^* – предельно малый размер частиц, отделяемых ротором.

При достижении частицами равновесных траекторий в пространстве ротора силы аэродинамического сопротивления уравновешиваются центробежными, а их радиальная скорость становится равной нулю. В результате из уравнения движения получено соотношение:

$$-3\pi\eta\delta_p U_r = \frac{\pi\delta_p^3}{6} \rho_m \frac{U_\phi^2}{R}, \quad (2)$$

где U_r – радиальная скорость газа, обтекающего частицу, вращающуюся на равновесной траектории радиуса R , $U_r < 0$ и соответствует направлению течения, противоположному направлению радиуса;

η – динамическая вязкость газа;

ρ_m – плотность частицы;

U_ϕ – окружная скорость частицы на радиусе R .

Из соотношения (2) размер частицы δ_p выразится формулой:

$$\delta_p^2 = -\frac{18\eta u_r r}{\omega \rho_m u_\phi^2}, \quad (3)$$

где $u_r = U_r/\omega R_0$;

$u_\phi = U_\phi/\omega R_0$ – безразмерные скорости;

$r = R/R_0$ – безразмерный радиус;

ω – угловая скорость вращения ротора;

ωR_0 – масштаб скорости;

R_0 – радиус сепарационной секции ротора.

Учитывая, что на равновесной траектории окружная скорость частиц любого размера равна окружной скорости газа, выражение (3) перепишем в виде:

$$\delta_p^2 = -A \frac{u_r r}{u_\phi^2}. \quad (4)$$

В соотношении (4) размерный комплекс $A = 18\eta/\omega\rho_m$ связан с физическими константами, выражающими свойства газа и пыли, а также с числом оборотов ротора, и для конкретных условий имеет вполне определенное значение. В противоположность ему комплекс u_r/u_ϕ^2 полностью определяется скоростями движения газа и может быть получен только на основании изучения аэродинамики ротора. Очевидно, что соотношение (4) описывает некоторую совокупность частиц различного размера δ_p , вращающихся на равновесных траекториях в междисковом пространстве при фиксированных значениях радиуса r и поперечной координаты z . Задача отыскания предельного размера δ_p^* сводится к определению наименьшей из всего множества, описываемого формулой (4), частицы пыли, которая удерживается на равновесной траектории и не попадает в его центральный канал.

Если предположить, что в междисковом пространстве распределение окружной скорости газа подчиняется квазитвердому закону вращения $u_\phi = r$, а радиальную заменить, как это принято для оценочных расчетов, ее среднерасходным значением, тогда получится:

$$u_r = L/r,$$

где $L = q/2\pi R_0^2 \omega h$ (q – объемный расход газа через щель между дисками ($q < 0$), h – расстояние между дисками).

Минимальное значение $\delta_p = \delta_{p0}^*$ будет соответствовать максимальной окружной скорости газа $u_\phi = 1$, реализующейся на ободе ротора при $r = 1$, откуда

$$\delta_{p0}^* = \sqrt{-AL}. \quad (5)$$

Учитывая, что $\omega = \pi N/30$, где N – число оборотов ротора в минуту, зависимость (5) представим виде:

$$\delta_{p0}^* = \frac{9 \cdot 10^7}{\pi N R_0} \sqrt{\frac{|q|\eta}{\pi \rho_m h}}. \quad (6)$$

Эта формула в совокупности с выражением (1) определяет связь эффективности пылеулавливания с геометрическими размерами ротора, скоростью его вращения и параметрами газового потока и служит основой для ориентировочного расчета рассматриваемого типа сепараторов.

В действительности, как показали экспериментальные исследования и производственные испытания центробежных роторных пылеотделителей, величина эффективности аппарата ε_s значительно выше ее теоретического значения ε_t , определяемого с помощью формул (1) и (6) и приближается к теоретическому значению ε_t по мере уменьшения запыленности потока на входе. Это объясняется, в первую очередь, уже отмеченным эффектом взаимодействия мелких частиц с крупными и между собой, носящим вероятностный характер и проявляющимся в основном на первой (циклонной) ступени, причем тем сильнее, чем выше запыленность потока на входе. Кроме того, опытным путем было обнаружено, что в междисковом пространстве ротора в определенной мере идет процесс укрупнения мелких частиц. Это приводит к увеличению центробежных сил, действующих на частицы, их выбросу из области ротора и к дополнительному повышению эффективности.

Полученный таким образом эффект отделения мелкодисперсных частиц из потока газа позволяет применять данный способ сепарации для улавливания тонкой фракции, полученной при размоле зерна. Однако при отделении полифракционной смеси от потока воздуха большой практический интерес может иметь одновременное разделение его на фракции при прохождении вращающихся элементов ротора, например, на этапе отделения продуктов размолы зерна от воздуха при пневмотранспортировании. Такое совме-

щение транспортных и технологических функций способствует уменьшению затрат на промежуточное транспортирование продукта, позволит значительно сократить технологическую схему размола отделения мельницы за счет снижения нагрузки на просеивающую поверхность рассева. Выделение фракций частиц с размером до 50 мкм не может быть решено с помощью ситового разделения продуктов помола.

Проведенные на кафедре МАПП АлтГТУ экспериментальные и теоретические исследования процесса пневмосепарации показали высокую эффективность отделения и разделения продуктов размола зерна в пневмоцентробежном классификаторе, рабочим элементом которого являлся вращающийся ротор, выполненный в виде двух дисков.

Процесс сепарации частиц был рассмотрен в ряде научных статей, рассматривалось поведение частицы в пространстве, образованном двумя коаксиальными вращающимися поверхностями – конусами. Частным вариантом решения этой задачи является случай, когда угол между осью и образующей конусов стремится к 90° (рис. 1).

В кольцевой вращающийся канал (с параметрами Q , m^3/c и v , m/c) подается воздушно-пылевой поток или продукты размола пневмотранспортом. 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 (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) частицы в горизонтальной плоскости относительно произвольной неподвижной плоскости, проведенной через ось вращения (рис. 1).

Соответствующие дифференциальные уравнения, описывающие движение частицы, представлены в исследованиях [3]. Нелинейная система дифференциальных уравнений была реализована на ЭВМ численным методом. Уравнения приведены к безразмерному виду для доступности анализа:

$$\left. \begin{aligned} \ddot{r} &= r(\dot{\varphi} + 1)^2 - \tilde{k}_v(\dot{r} - u_r(z))v_{омн}, \\ r\ddot{\varphi} &= -2\dot{r}(\dot{\varphi} + 1) - \tilde{k}_v r \dot{\varphi} v_{омн}, \\ \ddot{z} &= -\tilde{k}_{un} - \tilde{k}_v(\dot{z} - u_z(z))v_{омн}. \end{aligned} \right\} (7)$$

Таким образом, были получены четыре параметра: \tilde{u} , \tilde{k}_{un} , \tilde{k}_v , $\tilde{v}_{омн}$. Кроме влияния 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 рисунке 2 показаны траектории движения частиц с различных драных систем между двумя вращающимися коническими элементами пневмокласификатора при различных углах раскрытия конусов.

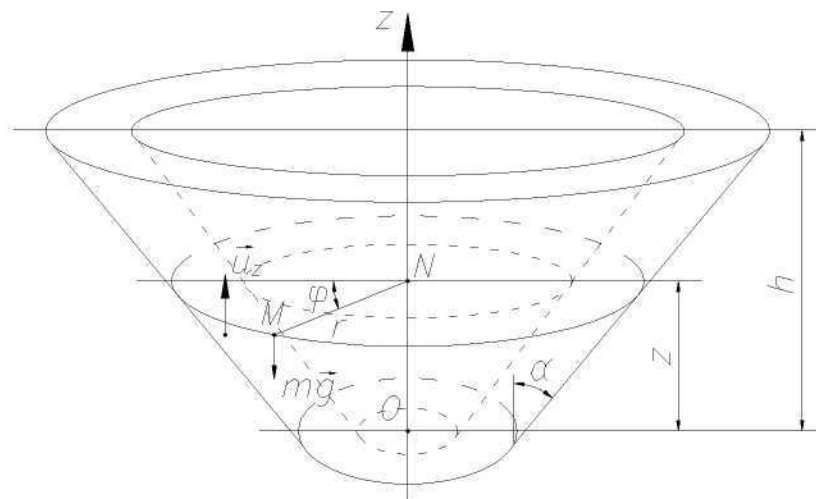


Рис. 1. Координаты частиц

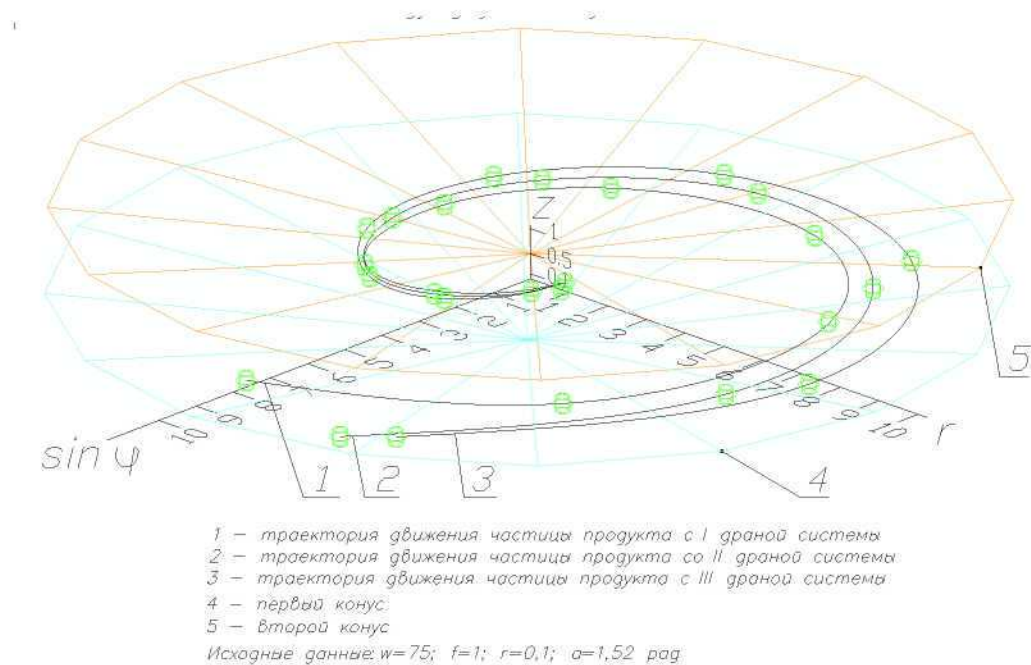


Рис. 2. Траектории движения частиц в рабочей области пневмоцентробежного классификатора

Анализ траекторий движения частиц, полученных при различных значениях коэффициента трения частиц о поверхность рабочих элементов, частоты вращения рабочих элементов, углов раскрытия конусов, соотношения высоты конусов к радиусу наружного конуса в нижнем его сечении, позволяет сделать вывод о возможности эффективного тонкого разделения частиц различной дисперсности. Проведенные экспериментальные исследования подтверждают основные теоретические положения.

Разработка разгрузителей нового поколения позволит изменить технологические потоки и определить возможность

формирования продуктов размола после первой размольной системы.

Библиографический список

1. Веселов С.А. Вентиляционные и аспирационные установки предприятий хлебопродуктов / С.А. Веселов, В.Ф. Веденев. М.: Колос, 2004. 255 с.
2. Шияев М.И. Гидродинамическая теория ротационных сепараторов / М.И. Шияев. Томск: Изд-во Томск. ун-та, 1983. 232 с.
3. Пневмоцентробежный классификатор-разгрузитель / В.Л. Злочевский, О.Н. Терехова, В.Г. Плотников // Техника в сельском хозяйстве. 2007. № 4. С. 6-9.

