

УДК 693.52

А.Н. Баранов, д.т.н., проф. (УИПА, Харків),
Р.И. Рыбалко, к.т.н., доц. (ДонНАСА, г. Макеевка)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ НОВОГО ДВУХСТАДИЙНОГО ВОЗДУШНОГО СЕПАРАТОРА ДЛЯ СУХОГО ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ В ЗАМКНУТОМ ЦИКЛЕ

Постановка проблемы. Своевременное удаление готового продукта из зоны измельчения за счет воздушной сортировки позволяет значительно повысить эффективность помола в агрегатах замкнутого цикла и позволяет обеспечить заданную степень измельчения материала.

Воздушная сортировка производится в устройствах и машинах различной конструкции, которые применяются для обеспечения работы помольных машин при производстве цемента, гипса, извести и других материалов (в замкнутом цикле) и при сочетании помола с сушкой. Однако работа воздушных сепараторов характеризуется низкой эффективностью сортировки и большой засоренностью фракций.

Анализ последних исследований и публикаций. Низкая эффективность сортировки связана с тем, что теоретические основы создания машин воздушной сортировки не учитывают структуру турбулентного потока смеси воздуха и измельчаемого материала и специфику движения частиц материала различной granulometрии. Создание сепаратора новой конструкции [1] позволило значительно повысить эффективность разделения газодисперсного потока за счет использования двух принципиально новых решений:

- осаждения крупной фракции в первой ступени;
- повышения турбулентной однородности во второй ступени точного разделения.

В новом двухступенчатом сепараторе на первом этапе из двухфазного потока выделяются частицы твердой фракции, диаметр которых превышает равновесные частицы более чем в 4-5 раз, и отправляются на домол. Удаление из потока крупных частиц осуществляется за счет установки экранов под определенным углом атаки на пути двухфазного турбулентного потока, частично перекрывающий газоход. Мелкие частицы, время релаксации которых невелико, огибают экран вместе с потоком воздуха, и уходят во вторую ступень сепаратора на точное разделение. Крупные частицы и агломераты будут ударяться об экран. В результате удара об экран агломератов произойдет их разрушение, и мелкие частицы будут подхвачены потоком воздуха и доставлены во вторую ступень сепаратора. Крупные частицы после удара об экран, отражаются от него и попадают в зону осаждения.

Во второй ступени однородность обеспечивается установкой решеток, для разрушения крупномасштабных вихревых структур в потоках транспортирующей среды и там производится точное разделение, где размер равновесной частицы соответствует заданному значению. Такое решение в несколько раз снижает циркуляционную нагрузку во второй ступени сепаратора и предотвращает появления в нем крупных вихрей турбулентного следа.

Постановка задачи ее решение. Учитывая принципиально новые решения в конструкции сепаратора, требуется разработка методов определения его характеристик.

В основу создания оборудования следует положить необходимую тонкость помола, т.е. размер равновесной частицы δ_p – максимальный размер частиц на выходе из помольного агрегата. Размер равновесной частицы является условным показателем соотношения массовых и аэродинамических сил в данной точке потока [2]:



$$\delta_p = \left[\frac{3}{4} a \frac{\mu^n \rho^{1-n}}{g \rho_c} |v(x)|^{2-n} \right]^{1/(1+n)}, \quad (1)$$

где \bar{v} – скорость несущего газа;

ρ_c – плотность газа;

ρ_c – плотность частиц;

g – ускорение силы тяжести;

μ – вязкость несущего газа;

a и n – параметры аппроксимации зависимости $\xi(\text{Re}_\delta)$ в виде $\xi = a(\text{Re}_\delta)^{-n}$.

Из уравнения (1) находится осредненная \bar{v} – скорость несущего газа (воздуха). Зная осредненную скорость несущего газа (воздуха), находим диаметр зоны тонкого разделения

Оценка поперечной составляющей скорости частиц проводится по зависимости [3]:

$$\overline{w^2} = \int_0^\infty \frac{E_v(\omega) d\omega}{1 + \omega^2 \Lambda^2} = \frac{2}{\pi} \overline{v^2} \frac{\pi}{2\Lambda} \int_0^\infty \exp\left(-\frac{\tau}{T_v} - \frac{\tau}{\Lambda}\right) d\tau = \frac{\overline{v^2} T_v}{\Lambda + T_v} \quad (2)$$

Зависимость (2) получена в результате решения уравнения:

$$\Lambda \frac{dw}{dt} + w(t) = v(t). \quad (3)$$

Поперечная составляющая скорости частиц регламентирует длину зоны разделения классификатора после решетки разрушения крупномасштабных турбулентных структур. Если частица достигает стенки аппарата, то независимо от ее размеров она не подвергается аэродинамической классификации, поэтому длина зоны разделения классификатора не должна быть больше произведения времени пребывания частицы и поперечной составляющей скорости.

Время релаксации частиц, определяемое выражением:

$$\tau = \rho \delta^2 / 18\mu. \quad (4)$$

Для определения параметров решетки разрушения крупномасштабных турбулентных структур необходимо найти допустимый размер вихрей, при котором бы не происходило захвата крупных частиц. Захват может произойти при условии, когда диаметр вихря достаточно большой по сравнению с длиной пути релаксации частицы и энергия вихря будет превышать кинетическую энергию частицы.

Уравнение движения частицы размером δ имеет вид:

$$du/dt + \beta u = \beta (\bar{u}_g + U \sin \omega t) \quad (5)$$

Общим решением уравнения при $u_0 = 0$ является

$$u = \frac{U \sin(\omega t - \varphi)}{\sqrt{1 + \omega^2 \tau^2}} + \frac{\omega \tau U}{1 + \omega^2 \tau^2} e^{-t/\tau} + \bar{u}_g (1 - e^{-t/\tau}) \quad (6)$$

Численное значение u позволяет определить время взаимодействия вихря и частицы.

Время взаимодействия зависит как от скорости частицы, так и от размеров вихря. Прохождение двухфазного потока через решетку приводит к разрушению крупных вихрей и образованию за решеткой однородной турбулентности в виде вихрей одинакового размера. Размеры вихрей зависят от параметров решетки и не должны захватывать равновесные частицы.

Зная размах поперечных перемещений вихря и толщину зоны смешения, можно оценить величину радиуса вихря. Поперечное сечение потока заполнено тремя его

составными частями: толщиной вихря $2r_0$, двойным путем поперечного перемещения вихря $2L_{V0}$ и толщиной потока, обтекающего вихрь Δy . Таким образом [3]

$$\begin{aligned}\Delta_c &= 2r_0 + 2L_{V0} + \Delta y \\ r_0 &= 0.22\Delta_c\end{aligned}\quad (7)$$

Учитывая, что толщина слоя смешения (Δ_c) не может быть больше характерного размера ячейки решетки. Поэтому можно сказать, что радиус вихря (r_0) после прохождения решетки меньше или равен $0,22\Delta$ (где Δ – характерный размер ячейки решетки). При заданном размере радиусе вихря характерный размер ячейки решетки Δ не должен превышать $4,5r_0$, т.е.: $\Delta \leq 4,5r_0$

Кроме размеров вихря, необходимо учитывать его собственную скорость, т.к. при совпадении направления движения частицы и вихря время их взаимодействия увеличивается.

Связь между скоростью и завихренностью определяется с помощью интеграла Био-Савара:

$$V = c_0 \int \frac{(\omega \times r)}{r^3} dr \quad (8)$$

Крупномасштабный вихревой элемент образует окружность радиуса r_0 . Индуцированная им скорость заставляет двигаться сам вихрь. Скорость поступательного движения вихря была определена Прандтлем [4]

$$V = \frac{a^2 \Omega}{2r_0} \ln\left(\frac{6r_0}{a}\right), \quad (9)$$

где r_0 – радиус вихревого элемента;
 a – его тороидальный радиус;
 Ω – завихренность [2].

Кроме геометрических параметров вихря и его переносной скорости на взаимодействие частицы и вихря оказывает большое влияние энергия вихрей, которая меняется со временем.

Энергия вихря определяется из соотношения [4]:

$$E = C_0 k^4 \exp[-2vk^2(t - t_0)] \quad (10)$$

Размер ячеек решетки разрушения крупномасштабных турбулентных структур не должен превышать диаметра вихря критического для данной частицы.

Анализ результатов экспериментов показал, что соотношение диаметра прутьев решетки (D) и расстояния между прутьями ($D_1 = \Delta$) должно быть 0,025. Диаметр прутьев решетки составляет 0,025 размера ячейки решетки Δ для данной частицы.

Для исключения влияния на процесс классификации турбулентных следов крупных частиц в зоне разделения и разрушения агломератов частиц перед зоной разделения, на входе устанавливается первая ступень классификатора. В ней крупная фракция под действием сил инерции после удара об экран-отражатель поступает в зону осаждения крупного продукта, а оттуда в бункер осажденного продукта для подачи на измельчение.

Экран-отражатель должен быть установлен таким образом, чтобы частица, ударяясь об него под углом α^- отражалась от него под углом α^+ и поступала в зону осаждения. Углы α^- и α^+ связаны зависимостью [4]:

$$\alpha^+ = \arctg\left[\operatorname{tg}\alpha^- - \frac{f(1+k_y)}{k_y} \right] \quad (11)$$



Выводы. Предложены методы расчета элементов нового двухстадийного воздушного сепаратора для сухого измельчения в замкнутом цикле.

В зависимости от измельчаемого материала и конструкции помольного агрегата вышеизложенные принципы могут быть реализованы как частично, так и полностью при создании нового оборудования и реконструкции.

Литература

1. Патент № 18198, Україна МПК В02С 23/10 (2006.01). Двостадійний класифікатор сипучих матеріалів // Рыбалко Р.І., Баранов А.М. (Україна); – № u2006 09779; Заявлено 12.09.2006г.; Опубл. 16.10.2006р., Бюл. № 10, 2006р.
2. Рыбалко Р.И. Влияние структуры воздушного потока на эффективность разделения в сепараторах помольных агрегатов // Науковий Вісник будівниц-тва. Матеріали міжнародної конференції “Ресурс і безпека експлуатації конструкцій, будівель і споруд”. – Харків, ХДГУБА, ХОТВ АБУ, № 23, 2003. – С. 195-200.
3. Баранов А.Н., Емельянова И.А., Рыбалко Р.И., Постельняк С.В. Основы создания оборудования на базе учета влияния турбулентных структур многофазных потоков // Материалы международной научно-технической конференции «Промышленная гидравлика и пневматика». – Киев, 2004. – С. 21-24.
4. Рыбалко Р.И. Теоретические основы создания сепараторов новой конструкции // Вестник ДонГАСА. Выпуск 2004-5 (47). – Макеевка, 2004. – С. 113-119.