

УДК 621.928; 532.517

В.С. Францкевич, кандидат технических наук, доцент  
А.М. Волк, кандидат технических наук, доцент  
(Белорусский государственный технологический  
университет)

## **ФРАКЦИОНИРОВАНИЕ ПОЛИДИСПЕРСНЫХ МАТЕРИАЛОВ В ДИНАМИЧЕСКИХ КЛАССИФИКАТОРАХ**

Ежегодно во многих отраслях промышленности Республики Беларусь, в том числе и в химической, механической переработке подвергаются миллионы тонн сыпучих материалов. После их измельчения, как основной стадии переработки, в конечном продукте содержатся частицы, не всегда удовлетворяющие требованиям эффективного протекания последующих технологических процессов. Измельчение же частиц сверх требуемой степени приводит к резкому возрастанию затрат энергии. Поэтому практически во всех технологических линиях по производству полидисперсных материалов, прежде всего в системах измельчения, устанавливают специальные аппараты (классификаторы), назначение которых состоит в разделении исходного материала в простейшем случае на две фракции с преимущественным содержанием мелких и крупных частиц.

На кафедре МиАХиСП УО БГТУ постоянно ведутся работы в области совершенствования оборудования и процесса разделения полидисперсных материалов [1]. Несмотря на удовлетворительные результаты, с точки зрения эффективности процесса разделения, существует ряд нерешенных вопросов при исследовании воздушного разделения измельченного материала на фракции. Увеличение эффективности разделения приводит или к усложнению конструкции оборудования, или к повышению удельных энергозатрат при эксплуатации. Однако чтобы быть конкурентоспособными на мировом рынке производственного оборудования необходимо добиваться высокой эффективности работы классифицирующего оборудования без усложнения конструкций. Поэтому необходимо концентрировать усилия, в первую очередь, на оптимизации непосредственно процесса классификации путем его физико-математического моделирования.

Использование результатов математического моделирования, экспериментальных исследований, масштабного перехода на основе теории подобия совершенно необходимо при разработке новых технических решений. Для достижения уровня зарубежных фирм в изучении и изготовлении классифицирующего оборудования необходимо также компьютерных приложений, позволяющих ускорить процесс разработки импортозамещающего оборудования, путем проведения теоретических исследований, которые довольно сложно реализовать

на практике. Существующие методики расчета в ряде случаев позволяют достаточно точно определить граничный размер разделения классификатора, однако не в состоянии учесть влияние изменения конструктивных и режимных параметров на эффективность процесса и вид кривой разделения. Для известных типов классификаторов показатели эффективности разделения принимаются на основании эксплуатационных данных, для новых типов или новых условий работы такие данные могут быть получены только в результате специальных экспериментальных исследований [2].

До недавнего времени изучение поведения газожидкостных систем было ограничено экспериментальными методами, но в связи с быстрым ростом производительности компьютерных систем стало возможным анализировать и рассчитывать подобные процессы даже на персональных компьютерах. Поэтому целью работы было создание универсальной математической модели процесса классификации полидисперсных материалов, позволяющей определять граничный размер разделения в динамических классификаторах с учетом изменения как их конструктивных (соотношение геометрических размеров вращающейся корзины и корпуса, расстояние между лопатками), так и технологических параметров (частота вращения корзины, скорость воздушного потока, гранулометрический состав материала).

Рассмотрим движение твердых частиц в закрученном потоке газа. Принимаем, что частицы имеют сферическую форму диаметром  $d$ , плотность  $\rho_a$ , и массу  $m$ , объем  $V$ . Скорость частицы обозначим через  $v$ , а скорость газового потока через  $w$ . Гидродинамика установившегося движения закрученного газового потока внутри цилиндра радиуса  $R$  описывается уравнениями Навье-Стокса и неразрывности в цилиндрической системе координат  $r, \varphi, z$ . Профиль осевой составляющей скорости считаем постоянным по длине цилиндра.

Запишем в цилиндрической системе координат уравнения движения твердой частицы под воздействием закрученного газового потока [3].

$$\left\{ \begin{array}{l} m \left( \frac{dv_r}{dt} - \frac{v_\varphi^2}{r} \right) = F_r, \\ m \left( \frac{dv_\varphi}{dt} + 2 \frac{v_\varphi v_r}{r} \right) = F_\varphi \\ m \frac{dv_z}{dt} = -mg + F_z + F_A, \end{array} \right. \quad (1)$$

В уравнение движения входят следующие силы [4].

1. Сила воздействия внешних силовых полей – сила тяжести

$$\vec{F}_g = mg \quad (2)$$

2. Сила гидродинамического воздействия  $\vec{F} = F_r \vec{e}_r + F_\varphi \vec{e}_\varphi + F_z \vec{e}_z$  потока, движущегося с некоторой скоростью относительно частицы, будет

$$\vec{F} = \zeta \frac{1}{8} \rho_r |\vec{w} - \vec{v}| (\vec{w} - \vec{v}) \pi d^2. \quad (3)$$

Коэффициент сопротивления  $\zeta$  зависит от режима движения частицы, определяется числом Рейнольдса  $Re_a = |\vec{w} - \vec{v}| \frac{d}{\nu}$  и может быть определен по формуле [4]  $\zeta = 24(1 + 0,17 Re_a^{2/3}) / Re_a$ .

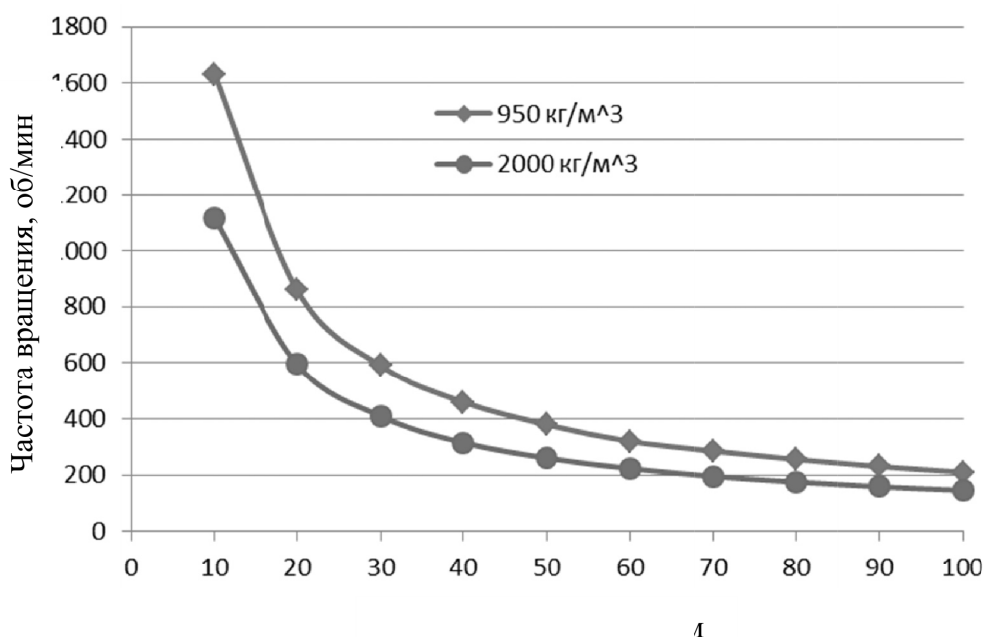
3. Нормальная составляющая учитывает силы, действующие по нормали к поверхности

$$F_N = F_{Ц} - F_r.$$

4. Величина центробежной силы будет  $F_{Ц} = m \frac{v_\varphi^2}{r}$ .

Полученный анализ сил позволил рассчитать траекторию движения твердых частиц в газовых потоках. Программа расчета составлена в системе MATHCAD.

Апробация полученной математической модели проводилась на примере расчета граничного размера разделения в типовом воздушном динамическом классификаторе, выпускаемым крупнейшим отечественным производителем классифицирующей техники. Были приняты следующие геометрические параметры классификатора: диаметр цилиндрической корзины – 650 мм; высота корзины – 650 мм; диаметр корпуса – 1100 мм. Расход газа рассчитывался при условии транспортирования частиц материала диаметром до 1,5 мм. Скорость витания при этом составила 3 м/с. При апробации разработанной модели определялась требуемая частота вращения ротора классификатора для достижения граничных размеров частиц в пределах от 100 мкм до 10 мкм. Полученные данные представлены в виде графической зависимости (рисунок 1). Сравнение расчетных данных показало хорошую сходимость с экспериментальными, предоставленными заводом-изготовителем.



**Рис. 1 – Изменение граничного размера разделения от частоты вращения ротора**

Таким образом, разработана математическая модель процесса классификации полидисперсных материалов, позволяющая определить необходимую частоту вращения ротора динамического воздушного классификатора для достижения требуемого граничного размера разделения, учитывающая важнейшие конструктивные и технологические параметры классифицирующего агрегата.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Дорогокупец, А.С. Влияние технологических параметров динамического классификатора на аэродинамику и эффективность классификации измельченного продукта в среднеходной мельнице / А.С. Дорогокупец, П.Е. Вайтехович, В.С. Францкевич // Вестник ПГУ. Сер. В, Промышленность. Прикладные науки. – 2013. – Новополюцк. – № 11. – С. 44–51.
2. Андреев Андрей Александрович. Разделение угольной пыли в динамическом сепараторе с предвключенным направляющим аппаратом: дис. ... канд. техн. наук: 05.14.14 Иваново, 2006. – 124 с.
3. Кутепов, А. М., Латкин, А. С. Вихревые процессы для модификации дисперсных систем. – М.: Наука, 1992. – 250 с.
4. Волк, А. М., Терешко, Е. В. Анализ сил, действующих на твердую частицу в сплошном потоке // Труды БГТУ. – 2015. – № 6: Физ.-мат. науки и информатика. – С. 10–14.