

УДК 675.92.052.35

А.Б. ЛИПИЛИН, генеральный директор, Н.В. КОРЕНЮГИНА, главный технолог, М.В. ВЕКСЛЕР, инженер завода «ТЕХПРИБОР» (Тульская обл.)

Мельницы могут работать лучше

Хорошо известно, что эффективность любого помольного участка оценивается прежде всего по гранулометрическому составу полученного порошка и затратам на его производство. По мнению специалистов [1], причиной высокого расхода или перерасхода энергии на получение продукта заданной дисперсности является тормозящее действие тонких частиц, которые, оставаясь в массе материала, затрудняют измельчение крупных, т. е. чем быстрее и полнее из корпуса мельницы будут выведены частицы нужных размеров, тем меньше затраты энергии на помол, тем ниже себестоимость полученного порошка.

Разделение массы измельчаемого сырья на готовый порошок и крупку — задача воздушных классификаторов. Полнота отделения мелких частиц от крупных характеризует эффективность классификатора. В иностранной литературе этот параметр часто называют *separation sharpness* — четкость разделения, что вполне точно отражает суть решаемой задачи. Чем точнее будет разделен исходный порошок, тем выше фракционная чистота тонкого продукта, тем меньше мелких частиц,

не выделенных из крупки, уйдет в мельницу на домол и на энергозатратное переизмельчение [1].

Производственная практика показывает, что увеличение эффективности классификации позволяет поднять единичную производительность мельничного оборудования на 15–30%, примерно настолько же сократив удельные расходы на помол [2].

Для того чтобы правильно оценить эффективность воздушной классификации, должны быть известны следующие показатели: гранулометрический состав порошка на входе в классификатор и гранулометрический состав тонкого продукта. Далее необходимо настроить воздушный классификатор на разделение продукта помола по **заданной или технологической границе разделения**. Граница разделения — это некоторый условный размер частиц $d_{c.s.}$, относительно которого должно соблюдаться правило: все частицы больше, чем $d_{c.s.}$, то есть крупная фракция, должны быть собраны в крупку, а меньшие (мелкая фракция) — в тонком продукте. Понятно, что чем мельче частица, тем больше вероятность ее попадания в тонкий продукт, а чем крупнее,

тем больше вероятность попадания в крупку. Другими словами, процесс воздушной классификации носит **вероятностный характер**. Поэтому под фактической границей разделения понимают медианный размер некоторого узкого класса частиц, имеющих равную вероятность попадания как в крупный, так и в мелкий продукт. Такая величина обозначается d_{50} и характеризует вероятностную границу разделения. Вероятностная граница разделения определяется конструкцией классификатора и его настройками, поэтому она может существенно отличаться от технологической границы, заданной исходя из требований к гранулометрическому составу целевого продукта.

В производственных условиях, когда гранулометрический состав целевого продукта задан требованиями нормативной документации, эффективность классификации может быть определена двумя показателями: фракционной чистотой целевого продукта (C_c либо F_p) и извлекаемостью соответствующей фракции η . Извлекаемость фракции — это отношение массы частиц нужной фракции к массе частиц этой же фракции в питании классификатора.

Извлечение крупной фракции рассчитывается по формуле:

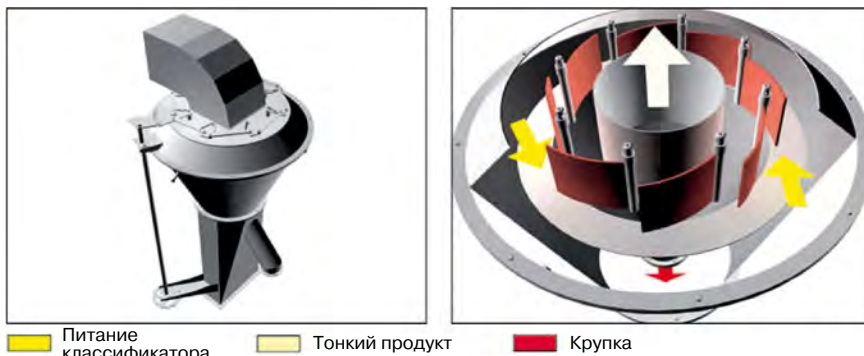


Рис. 1. Воздушно-проходной сепаратор «КАСКАД-М4» (ВПС)

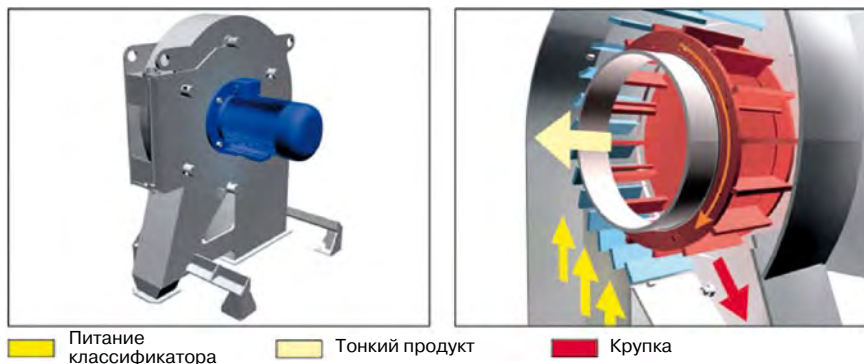


Рис. 2. Воздушно-центробежный классификатор «СЕЛЕКТОР-500/1500» (ВЦК)

$$\eta_c = m_c C_c / m_i C_i = \gamma_c C_c / C_i;$$

извлечение мелкой фракции:

$$\eta_f = m_f F_f / m_i F_i = \gamma_f F_f / F_i,$$

где m_i, m_c, m_f – массы исходного материала, крупного и мелкого продуктов; C_i, C_c, C_f – содержание крупной фракции соответственно в питании классификатора, крупке и мелких продуктах; F_i, F_c, F_f – содержание мелкой фракции соответственно в исходном материале, крупке и мелких продуктах.

Содержание определенной фракции в соответствующем продукте C_c и F_f называют фракционной чистотой продуктов, а величины C_f и F_c – загрязнениями продуктов.

Отношением массы частиц данной фракции к питанию определяют выход продуктов, соответственно γ_c и γ_f – выход крупки и мелкого продукта. Ясно, что $\gamma_c + \gamma_f = 1$.

Выход (γ) дает количественную оценку разделения, а извлечение (η) характеризует эффективность разделения.

На практике для расчета технологических показателей процесса классификации часто пользуются формулами без массовых показателей [2]:

$$\gamma_c = \frac{C_i - C_f}{C_c - C_f}; \quad \gamma_f = \frac{F_i - F_c}{F_f - F_c}; \quad \eta_c = \frac{C_c}{C_i} \cdot \frac{C_i - C_f}{C_c - C_f}; \quad \eta_f = \frac{F_f}{F_i} \cdot \frac{F_i - F_c}{F_f - F_c}.$$

Для примера расчета эффективности воздушной классификации на территории завода «ТЕХПРИБОР» (г. Щекино Тульской области) был проведен эксперимент по разделению минерального порошка с помощью центробежных классификаторов разных конструкций.

Таблица 1

Класс крупности, мкм	Исходный минеральный порошок	Крупка	Тонкий продукт
+180	6,5	11,6	0,3
-180 – +100	9,2	16,1	2,58
-100 – +71	26,3	18,7	17,71
-71 – +55	5	15,9	18,57
-55 – +38	5,3	8,65	3,68
-38	47,7	35,05	57,16
Σ	100	100	100

Таблица 2

Класс крупности, мкм	Исходный минеральный порошок	Крупка	Тонкий продукт
+ 180	6,5	10,84	–
- 180 – + 100	9,2	17,7	–
-100 – +71	26,3	43,07	1,3
-71 – +55	5	6,5	11,08
-55 – +38	5,3	2,43	17
-38	47,7	19,46	70,62
Σ	100	100	100

Воздушно-проходной сепаратор «КАСКАД-М4» (ВПС) с регулируемым направляющим аппаратом и статической зоной разделения (рис. 1) и ему подобные широко применяются в комбинации с мельницами для разделения сыпучих материалов в диапазоне крупности 63–400 мкм. Воздушно-центробежный классификатор «СЕЛЕКТОР-500/1500» (ВЦК) с приводным делительным ротором и динамической зоной разделения (рис. 2) используется на современных производствах для получения порошков с преобладающим размером частиц 10–200 мкм.

Представленные агрегаты принадлежат к группе воздушно-центробежных или вихревых классификаторов. Разделение полидисперсных порошков по крупности частиц происходит во вращающемся потоке воздуха за счет взаимодействия центробежных сил и давления воздуха, который нагнетается вентилятором. В обоих классификаторах материалоздушная смесь подается снизу, главное их отличие состоит в способе формирования вихря. В воздушно-проходном сепараторе «КАСКАД-М4» (ВПС) для этого используется направляющий аппарат, который состоит из поворотных лопаток, закручивающих воздушный поток, а в воздушно-центробежном классификаторе «СЕЛЕКТОР-500/1500» (ВЦК) эту задачу выполняет делительный ротор, который приводится во вращение собственным электродвигателем. В первом аппарате регулировка границы разделения производится поворотом лопаток направляющего аппарата, что позволяет изменять текущий радиус вихря, а значит, и тангенциальную скорость частиц, во втором – граница разделения регулируется за счет изменения частоты вращения делительного ротора.

Крупные, обладающие большими размерами и массой частицы под действием центробежных сил отбрасываются к стенкам корпуса классификаторов, теряют свою скорость, оседают в сборнике крупки, выводятся из классификатора и отправляются в мельницу на домол. Если в статической зоне разделения воздушно-проходного сепаратора «КАСКАД-М4» скорость частиц в зоне разделения не может превышать скорости несущего воздушного потока, то в динамической зоне разделения воздушно-центробежного классификатора «СЕЛЕКТОР-500/1500», оснащенного делительным ротором с электроприводом, скорость, а с ней и центробежная сила, действующая на частицы, значительно выше.

Сравнение эффективности классификации воздушно-проходного сепаратора «КАСКАД-М4» и воздушно-центробежного классификатора «СЕЛЕКТОР-500/1500» проводилось на минеральном порошке, гранулометрический анализ размеров частиц отобранных проб которого выполнялся на лазерном дифракционном анализаторе частиц Fritch Particle Sizer Analysette 22.

При заданной технологической границе разделения 71 мкм требуется выяснить эффективность воздушно-проходного сепаратора «КАСКАД-М4». Гранулометрический состав минерального порошка и продуктов его классификации приведен в табл. 1.

Как видно из табл. 1, в исходном минеральном порошке содержится 58% частиц размерами менее 71 мкм. После классификации получен тонкий продукт с содержанием 79,41% частиц менее 71 мкм.

Извлечение фракции +71 мкм в крупку составило:

$$\eta_c = \frac{C_c}{C_i} \cdot \frac{C_i - C_f}{C_c - C_f} = \frac{46,4}{42} \cdot \frac{42 - 20,59}{46,4 - 20,59} = 1,1047 \times 0,8295 = 91,63\%,$$

при этом выход фракции +71 мкм составил 82,95%, соответственно выход фракции -71 мкм – 17,05%.

Извлечение фракции -71 мкм в тонкий продукт составило:

$$\eta_f = \frac{F_f \cdot F_i - F_c}{F_i \cdot F_f - F_c} = \frac{79,41}{58} \cdot \frac{58 - 53,6}{79,41 - 53,6} = 1,3691 \times 0,1704 = 23,32\%$$

Таким образом, эффективность разделения воздушно-проходного сепаратора «КАСКАД-М4» по технологической границе разделения 71 мкм составила 57,5%, что является вполне обычным показателем работы классификаторов данной конструкции.

Теперь при той же заданной технологической границе разделения -71 мкм вычисляем эффективность воздушно-центробежного классификатора «СЕЛЕКТОР-500/1500». Гранулометрический состав минерального порошка и продуктов его классификации приведен в табл. 2.

Тонкий продукт представлен частицами менее 71 мкм (D99=71 мкм).

Извлечение фракции +71 мкм в крупку составило:

$$\eta_c = \frac{C_c \cdot C_i - C_f}{C_i \cdot C_c - C_f} = \frac{71,61}{42} \cdot \frac{42 - 1,3}{71,61 - 1,3} = 1,7050 \times 0,5788 = 98,67\%$$

при этом выход фракции +71 мкм составил 57,88%, соответственно выход фракции -71 мкм – 42,12%.

Извлечение фракции -71 мкм в тонкий продукт составило:

$$\eta_f = \frac{F_f \cdot F_i - F_c}{F_i \cdot F_f - F_c} = \frac{98,7}{58} \cdot \frac{58 - 28,39}{98,7 - 28,39} = 1,7017 \times 0,4211 = 71,66\%$$

Эффективность разделения воздушно-центробежного классификатора «СЕЛЕКТОР-500/1500» по технологической границе разделения 71 мкм состав-

ляет 85,2%, что является хорошим показателем работы классификатора.

По итогам проведенного эксперимента по сравнению эффективности воздушно-центробежных классификаторов разных конструкций можно сделать следующие выводы:

- лучшие результаты классификации минерального порошка при заданной границе разделения -71 мкм показал воздушно-центробежный классификатор «СЕЛЕКТОР-500/1500». Его эффективность оказалась выше, чем у воздушно-проходного сепаратора «КАСКАД-М4», на 28%;
- качество тонкого продукта, полученного на воздушно-центробежном классификаторе «СЕЛЕКТОР-500/1500», также оказалось выше; фракционная чистота $F_f = 98,7\%$ по сравнению с $F_f = 79,41\%$ у воздушно-проходного сепаратора «КАСКАД-М4».

Таким образом, использование современного оборудования воздушной классификации позволяет не только получать порошки более высокой фракционной чистоты, что зачастую является синонимом качества продукта, но и на ~28% уменьшить циркуляцию «мелочи», а значит, настолько же поднять производительность мельниц при выпуске минеральных порошков.

Ключевые слова: минеральный порошок, воздушная классификация, помол.

Список литературы

1. Сиденко П.М. Измельчение в химической промышленности. М.: Химия, 1977, 368 с.
2. Мизонов В.Е., Ушаков С.Г. Аэродинамическая классификация порошков. М.: Химия, 1989, 160 с.

ЧЕТЫРНАДЦАТАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА

ЭКСПОКАМЕНЬ

МЕЖДУНАРОДНЫЙ ВЫСТАВОЧНЫЙ ЦЕНТР
«КРОКУС ЭКСПО», ПАВИЛЬОН 2, ЗАЛЫ 5, 6
РОССИЯ, МОСКВА

2013

ДОБЫЧА, ОБРАБОТКА, ПРИМЕНЕНИЕ ПРИРОДНОГО КАМНЯ

КОНТАКТЫ:
Тел: +7 (499) 127 3881, 120 6211, 123 0109
E-mail: expo@expostroy.ru, expostroy@expostroy.ru

ОРГАНИЗАТОРЫ:

- ТОРГОВО-ВЫСТАВОЧНЫЙ КОМПЛЕКС «ЭКСПОСТРОЙ НА НАХИМОВСКОМ»
- ИНВЕСТИЦИОННАЯ ГРУППА АБСОЛЮТ
- КОМИТЕТ ТОРГОВО-ПРОМЫШЛЕННОЙ ПАЛАТЫ РФ ПО ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСТВУ В СФЕРЕ СТРОИТЕЛЬСТВА И ЖКХ

ПРИ ПОДДЕРЖКЕ:

- АССОЦИАЦИИ СТРОИТЕЛЕЙ РОССИИ
- РОССИЙСКОГО СОЮЗА СТРОИТЕЛЕЙ
- РОССИЙСКОГО ОБЩЕСТВА ИНЖЕНЕРОВ СТРОИТЕЛЬСТВА

ПРИ УЧАСТИИ:

- АССОЦИАЦИИ «ЦЕНТР КАМНЯ» (РОССИЯ)
- «HUMMEL GMBH» (ГЕРМАНИЯ)
- «CONFINDUSTRIA MARMOMACCHINE – Assomarmomacchine» (ИТАЛИЯ)

25
ИЮНЯ **28**

www.expostone-russia.ru