

С.Д. Руднев, А.А. Крохалёв, С.А. Ратников

КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ФОРМИРОВАНИЯ ДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМ С ТВЕРДОЙ ФАЗОЙ ПРИ ДЕЗИНТЕГРАЦИИ

В статье приводятся обоснования внедрения критериев оценки качества дисперсных систем, получаемых при дезинтеграции. Качество измельченного материала следует оценивать не только по значению среднего размера, но и по виду (форме) распределительной функции, описывающей гранулометрический состав. Предложены к практическому применению (использованию) критерии товароведной оценки сыпучего материала, полученного в измельчителе. Предлагаемые критерии позволят оценивать не только качество сыпучих сред, но и работу технологического оборудования. Приведена методика оценки качества измельченного материала.

Сыпучие материалы, дезинтеграция, гранулометрический состав, распределительная функция, критерий качества.

Управление качеством процессов измельчения - предупредительная, надзорная и корректирующая деятельность, нацеленная на выполнение требований к качеству сыпучих материалов, получаемых в результате дезинтеграции, - является актуальной проблемой. Процессы дезинтеграции пищевых сырья и полуфабрикатов растительного происхождения являются одними из важнейших в технологии производства продуктов питания. Наряду с высокой энергоемкостью и низким КПД, эти процессы отличаются не всегда удовлетворительным качеством получаемых сыпучих смесей. Очень часто в технологических требованиях к сыпучим материалам, используемым в композиционных продуктах питания, предъявляются жесткие условия по среднему размеру частиц, гранулометрическому составу, форме частиц, поверхностной активности сыпучей среды и т.д. в связи с тем, что эти параметры определяют качество продукции в целом, влияют на весь технологический процесс производства. Важнейшим также представляется планирование качества сырья, подлежащего разрушению, потому как свойства сырья в первую очередь определяют, как будет протекать тот или иной дезинтеграционный процесс.

Главным критерием качества сыпучего материала принято считать средний размер его частиц, который определяется приближенной формулой [1]:

$$\bar{d} = \sum_{i=1}^k d_i \frac{M_i}{M} = \sum_{i=1}^k d_i \frac{C_i}{100}, \quad (1)$$

где \bar{d} - средний размер пробы сыпучего материала; d_i - средний размер i -й фракции сыпучей среды; M_i - масса фракции; M - масса пробы; C_i - процентное содержание i -й фракции; k - количество фракций.

Но средний размер сыпучей среды нельзя считать исчерпывающим критерием, так как этот критерий может быть одинаков у проб, содержащих различное количество стандартных фракций, и размеры минимальных и максимальных частиц в пробах будут значительно отличаться. В связи с этим не менее важным является такой критерий качества, как гранулометрический состав сыпучего продукта и распределительная функция [1], его описывающая. Гранулометрический состав может быть

представлен графиками или диаграммами различного рода и его задача - проиллюстрировать распределение частиц по размерам, объему, поверхности либо количеству в процентном соотношении к пробе сыпучей смеси. В первичном виде гранулометрический состав иллюстрируется гистограммой [2], по которой затем проводят кривую распределения, математическое описание этого графика часто называют распределительной функцией [1]. Обратимся к основам теории вероятности. Распределительная функция - это вероятностная функция, сопоставляющая каждому возможному значению d_i ее вероятность P_i ($0 \leq P_i \leq 1$), причем $\sum P_i = 1$. В технической литературе [1] распределительную функцию подразделяют на интегральную и дифференциальную, причем последняя является первой производной по аргументу от интегральной. Но проведя дифференцирование, исходя из определения производной, получают «среднюю вероятность» на единице длины аргумента, которая является числом, а не функцией. Производную функции распределения следует именовать ее дифференциальной характеристикой [2]. Функцией распределения в теории вероятностей называется функция переменной t , выражающая вероятность того, что X в результате испытания примет значение меньше, чем число t_0 . Из определения [2]

$$F(t) = P(X < t) \quad (2)$$

где $F(t)$ - функция распределения, X - непрерывная случайная величина.

Функция распределения - непрерывно неубывающая, т.е. $F(t_1) \leq F(t_2)$ при $t_1 \leq t_2$. Вероятность $P(t_1 \leq X \leq t_2)$ того, что случайная величина X примет значение в полуинтервале $(t_1; t_2)$ равна $F(t) = P(t_1 \leq X \leq t_2) = F(t_2) - F(t_1)$.

Производная $F'(t)$ функции распределения - это дифференциальная характеристика распределения непрерывной случайной величины X .

$$f(t) = F'(t) \quad (3)$$

Значения $f(t)$ являются плотностью вероятности случайной величины X . Дифференциальная характеристика распределения обладает следующими свойствами: $f(t) \geq 0$ в точках, где существует $F'(t)$, справедливо равенство:

$$P(\alpha \leq X \leq \beta) = \int_{\alpha}^{\beta} f(t) dt. \quad (4)$$

Вероятность $P(\alpha \leq X \leq \beta)$ численно равна площади заштрихованной криволинейной трапеции, ограниченной участком кривой с заданными координатами.

Дифференциальная характеристика функции распределения частиц сыпучего материала по размерам чаще всего приближенно описывается нормальным законом распределения, представленного выражением:

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(t-a)^2}{2\sigma^2}\right), \quad (5)$$

где σ и a - некоторые параметры (в случае дисперсного анализа сыпучей среды - линейные размеры).

Зависимость графика $f(t)$ от параметров a и σ такова: a является абсциссой максимума функции; малым σ соответствует крутой горб кривой, большим σ - пологий горб. Точки с абсциссами $a - \sigma$ и $a + \sigma$ являются точками перегиба.

Исходя из определений, нетрудно сделать вывод, что параметр a для пробы сыпучего материала является средним размером «пиковой» фракции, т.е. фракции, содержание которой максимально. Размер этой фракции может быть заданным номинальным размером сыпучей среды или же целевой фракцией при дезинтеграции какого-либо материала. Параметр $\pm 3\sigma$ выступает в роли допустимого отклонения от размера, заданного технологическими условиями либо параметрами качества, так как в этот диапазон возможность попадания случайной величины составляет 0,997 (правило шести сигма).

Проанализируем формы распределительных функций различных сыпучих сред с одинаковым средним размером их частиц (рис. 1). Специалисты по измельчению гранулометрический состав с функцией $f_1(x)$ называют «узким», а с функцией $f_2(x)$ - «широким». Представим в общем виде, что в результате работы двух измельчителей один и тот же исходный сыпучий материал разрушается по-разному, т.е. характеристики распределения продуктов измельчения различны и соответствуют $f_1(x)$ и $f_2(x)$ на рис. 1.

Технологическими требованиями задан средний размер сыпучей среды после измельчения - \bar{d} , с регламентированными отклонениями $\pm 3\sigma$, т.е. $\bar{d} \pm 3\sigma$. В указанный диапазон попадет 99,7% частиц, что можно считать вполне приемлемым. Измельчитель I производит сыпучий материал, полностью соответствующий технологии. Сыпучий

продукт, полученный измельчителем, II не соответствует регламентированному отклонению. Частицы сыпучей смеси, размеры которых превышают $\bar{d} + 3\sigma$, должны быть удалены каким-либо способом разделения и подвергнуты повторному разрушению, что влечет за собой дополнительные производственные затраты. Частицы, размеры которых меньше $\bar{d} - 3\sigma$, являются переизмельченными, не соответствующими технологическим требованиям и их необходимо удалить, таким образом, эта часть продукта измельчения является браком, необратимыми потерями.

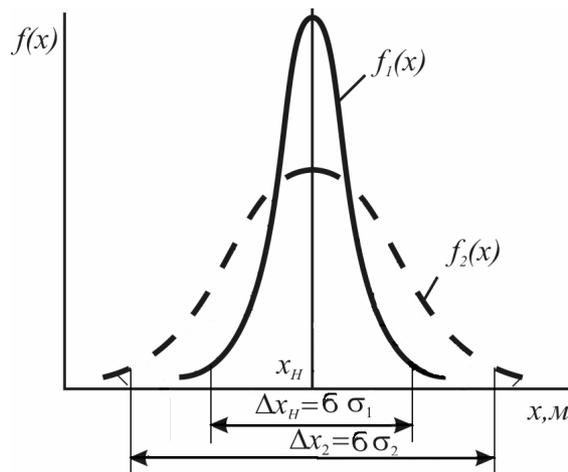


Рис. 1. Характеристики нормального распределения измельченного материала

На практике крайне редко измельченный сыпучий материал соответствует нормальному, симметричному относительно целевой фракции, закону распределения. На рис. 2 представлены кривые соответствующие реальным характеристикам распределения частиц сыпучего материала после измельчения.

Дифференциальная характеристика $f_0(x)$ соответствует требуемому качеству сыпучего материала, установленного технологическими регламентами. Задан номинальный размер частиц $x_H = t$ в интервале Δx_H . Функция $f_1(x)$ описывает распределение недоизмельченного материала, функция $f_2(x)$ - переизмельченного материала, причем в каждом из распределений пиковой фракцией является x_H .

Проведем оценку сыпучего материала установленному качеству. Доля материала, не соответствующая качеству, определится соотношением:

$$B_1 = \frac{\Delta S_1}{S_0}, \quad B_2 = \frac{\Delta S_2}{S_0}, \quad (6)$$

где S_0 - площадь, ограниченная кривой $f_0(x)$ в диапазоне $\Delta x_H = (6\sigma)$ (практически $S_0 = 1$), ΔS_1 , ΔS_2 - площади, ограниченные соответствующими кривыми и линиями ординат, проходящими через точки предельных отклонений.

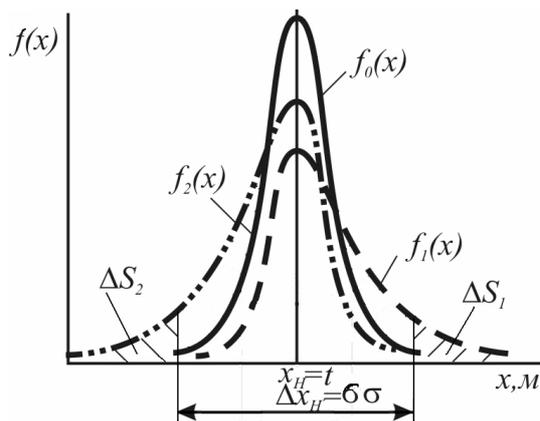


Рис. 2. Приближенные к реальным графические характеристики распределения сыпучих материалов после измельчения

Нетрудно сделать вывод, что если $B \rightarrow 0$, то и качество измельчения повышается, а измельченный материал все более соответствует требуемому качеству продукта.

Исходя из вышеуказанного, предлагается ввести критерий товароведной оценки сыпучего материала, полученного дезинтеграцией в каком-либо измельчителе:

$$C = \frac{\int_{x_{\min}}^{x_{\max}} f(x) dx - B}{\int_{x_{\min}}^{x_{\max}} f(x) dx}, \quad (7)$$

где определенный интеграл соответствует площади, ограниченной графиком дифференциальной характеристики номинального продукта; x_{\max} , x_{\min} - предельные максимальный и минимальный размеры частиц, заданные номинальным отклонением $\pm 3\sigma$.

Или, исходя из свойств дифференциальной характеристики распределения:

$$C = 1 - B. \quad (8)$$

Предлагается следующая методика оценки качества сыпучей среды.

1. Проводится разделение пробы сыпучего материала на фракции, определяется дисперсный (гранулометрический) состав.

2. Находятся плотности распределения вероятности для каждой фракции отношением ее доли в пробе к диапазону фракции (разности между верхней и нижней границами), строится кривая распределения - дифференциальная характеристика функции распределения.

3. По заданному среднему размеру $\bar{d} = a$ и допускаемому отклонению от номинала $a \pm 3\sigma$ в тех же осях строится график плотности вероятности нормального закона распределения.

4. Определяется интегральный критерий соответствия сыпучего материала требуемому качеству выражением $C = 1 - B$, где B - площади условных прямоугольных треугольников, вершины прямых углов которых являются абсциссами верхнего и нижнего предельного отклонения размеров от номинала, а гипотенузы - спрямленные линии кривой распределения, не попавшие в заданный диапазон. При полном соответствии качеству $C = 1$.

5. Определяется дифференциальный критерий соответствия распределительной функции пробы сыпучей среды нормальному закону распределения выражением:

$$K = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n-1} \frac{|f_i^* - f_i|}{f_i^* + f_i}, \quad (9)$$

где n - число фракций; f_i^* и f_i - плотности вероятностей для нормального закона и реального распределения для i -й фракции соответственно.

Значение f_i^* вычисляют по формуле (5), где t соответствует среднему размеру фракции d_i ; a соответствует требуемому размеру \bar{d} , σ определяется из заданного технологией отклонения. Очевидно, что при идеальном совпадении $K = 0$, при полном несоответствии $K = 1$. Если величину K выражать в процентах, то она будет характеризовать процентное расхождение реального закона распределения от нормального, соответствующего наилучшему качеству сыпучего материала.

Предлагаемые критерии позволяют не только оценивать качество сыпучих сред, но и работу оборудования для получения сыпучих материалов.

Например, если график распределительной функции сдвинут вправо от моды нормального закона (правоасимметричен), то необходимо повысить количество энергии, подводимой к материалу; если график левоасимметричен, то, наоборот, понизить. Пофракционное отклонение распределительной функции - формула (9) - от нормального закона распределения дает возможность детально проанализировать особенности разрушения материала, связать фракционный состав с морфологическими, прочностными особенностями перерабатываемого материала и произвести точную настройку оборудования с целью получения максимально высокого качества процесса.

Предлагаемые критерии помогут не только оценить качество, но и при известной кинетике их изменения прогнозировать возможное качество при определенных управляемых параметрах того или иного технологического процесса получения сыпучей среды заданного качества.

Исходя из вышеуказанного, критериями качества сыпучего продукта предлагается считать не только его средний номинальный размер, но и критерии дифференциального K и интегрального C товароведного соответствия.

Список литературы

1. Коузов, П.А. Основы анализа дисперсионного состава промышленных пылей и измельченных материалов / П.А. Коузов. - Л.: Химия, 1974. - 280 с.
2. Вентцель, Е.С. Теория вероятностей: учебник для студ. вузов / Е.С. Вентцель. - 9-е изд., стер. - М.: Издательский центр «Академия», 2003. - 576 с.

ГОУ ВПО «Кемеровский технологический институт
пищевой промышленности»,
650056, Россия, г. Кемерово, б-р Строителей, 47

SUMMARY

S. D. Rudnev, A.A. Krokhalov, S.A. Ratnikov

Quality estimation criteria in forming the of dispersed systems with a hard phase in disintegration process

Substantiations of using the quality estimation criteria for disperse systems obtained under conditions of disintegration are presented. It is shown that quality of milled material should be estimated not only by its medium-sized value, but also by the form of the distributive function that describes the material granulometric structure. Criteria of merchandising estimations for the material milled with a grinder are offered for practical application. The suggested criteria allow to estimate not only quality of milled materials but also performance of the process equipment. Method of estimation of particulate solids quality is presented.

Grinded materials, decomposition, granulometric structure, distributive function, quality criterion.

