

В.И. Пожуев, ректор, д.ф.-м.н., профессор

М.Ю. Пазюк, проректор, д.т.н., профессор

Ю.М. Пазюк, доцент, к.т.н.

Е.Н. Барищенко, доцент, к.т.н.

А.С. МНЫХ, доцент, к.т.н.

## ИДЕНТИФИКАЦИЯ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА АГЛОМЕРАЦИОННОЙ ШИХТЫ, ПОДГОТОВЛЕННОЙ К СПЕКАНИЮ

*Запорожская государственная инженерная академия*

Наведено результати досліджень процесів підготовки агломераційної шихти до спікання. Розроблено математичну модель, що дозволяє розрахувати гранулометричний склад агломераційної шихти, при цьому помилка моделювання не перевищує 5,1 %.

Приведены результаты исследований процессов подготовки агломерационной шихты к спеканию. Разработана математическая модель, которая позволяет рассчитать гранулометрический состав агломерационной шихты, при этом ошибка моделирования не превышает 5,1 %.

*Введение.* Для повышения эффективности управления предприятиями по переработке сыпучих материалов в горно-обогатительной, горно-химической, металлургической и других отраслях промышленности необходимо иметь возможность оперативного контроля качественных показателей сырья, одним из которых является гранулометрический состав сыпучих материалов.

Гранулометрический состав промышленного сырья характеризуется распределением частиц материала по классам крупности, то есть по размеру, который оценивают по величине так называемого эквивалентного диаметра. Определение гранулометрического состава материала осуществляют при помощи ситового анализа, который заключается в просеивании пробы материала через ряд сит с выделением надрешеточного продукта на каждом сите. Для увеличения достоверности ситового анализа выполняют несколько рассевов проб материала, отобранных из разных точек исследуемой массы. Такие пробы называют частичными. Общую или усредненную пробу, которая характеризует гранулометрический состав всей массы материала, рассчитывают путем усреднения данных частичных проб.

Таким образом, процесс определения фракционного состава полидисперсных материалов требует больших затрат времени, что исключает возможность оперативного использования полученных данных в системе автоматизированного управления производством. Поэтому актуальной является разработка математических моделей, позволяющих рассчитывать фракционный состав материала на основе некоторой имеющейся информации.

*Анализ практических данных и достижений.* При автоматическом анализе фракционного состава сыпучих материалов в производственных условиях обычно контролируют средний диаметр частиц материала  $d_{cp}$  [1-3]. Его связь с содержанием отдельных фракций сыпучей массы характеризуется следующим уравнением

$$d_{cp} = \sum_{i=1}^n d_i \cdot \Phi_i , \quad (1)$$

где  $d_i$  – средний диаметр частиц  $i$ -ой фракции сыпучего материала, мм;  $\Phi_i$  – содержание  $i$ -ой фракции в массе сыпучего материала, %;  $n$  – количество фракций.

Одно и то же значение среднего диаметра частиц материала может быть получено при различных функциях распределения частиц полидисперсного материала. Как показывают результаты ряда работ [4-9], нет общих закономерностей в распределении сыпучего материала по размерам составляющих его частиц. В каждом конкретном случае такая закономерность определяется свойствами сыпучих материалов, а также условиями их дробления, усреднения и классификации.

Для описания закономерностей распределения сыпучих материалов по фракционному составу используют различные эмпирические уравнения, которые не отражают природу разделения материала на фракции, а позволяют лишь получить формулу, приблизительно оценивающую гранулометрический состав сыпучей массы [9]. Поэтому представляет интерес теоретическое исследование механизма разделения полидисперсной массы в процессе ее ситового анализа.

*Постановка задачи исследований.* Задачей исследования является разработка математических моделей, позволяющих определить гранулометрический состав агломерационной шихты, подготовленной к спеканию, на основе имеющейся информации о ее характеристиках.

*Изложение материалов исследований.* На основе материального баланса различных фракций, составляющих сыпучую массу, можно записать

$$\sum_{i=1}^n d_i \cdot \Phi_i = d_{cp} \cdot \Phi_{\Sigma}, \quad (2)$$

где  $\Phi_{\Sigma}$  – объем пробы исследуемого материала, %,  $\Phi_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n \Phi_i$ .

Обозначают общее количество материала как  $\Phi_{cp0}$ , средний диаметр частиц материала как  $d_{cp0}$ . Процесс отсева пробы полидисперсного материала, схематически представленный на рис. 1, характеризуется следующей системой уравнений

$$\begin{aligned} d_1 \cdot \Phi_1 + d_{cp1} \cdot \Phi_{cp1} &= d_{cp0} \cdot \Phi_{cp0}, \\ d_2 \cdot \Phi_2 + d_{cp2} \cdot \Phi_{cp2} &= d_{cp1} \cdot \Phi_{cp1}, \\ &\dots \\ d_i \cdot \Phi_i + d_{cpi} \cdot \Phi_{cpi} &= d_{cp(i-1)} \cdot \Phi_{cp(i-1)}, \\ d_{n-1} \cdot \Phi_{n-1} + d_{cp(n-1)} \cdot \Phi_{cp(n-1)} &= d_{cp(n-2)} \cdot \Phi_{cp(n-2)}, \end{aligned} \quad (3)$$

где  $d_{cpi}$  – средний диаметр частиц сыпучего материала, оставшегося после отсева на  $i$ -ом сите, мм;  $\Phi_{cpi}$  – масса сыпучего материала, прошедшего через  $i$ -ое сито, %.

Значения  $d_{cpi}$  для конкретного исследуемого материала определяются его свойствами, условиями дробления и классификации, то есть могут быть относительно стабильными для данного производства. Следовательно, стабильными будут и соотношения этих величин. Обозначают через  $k_i$  коэффициент изменения среднего диаметра частиц сыпучего материала в процессе его отсева:

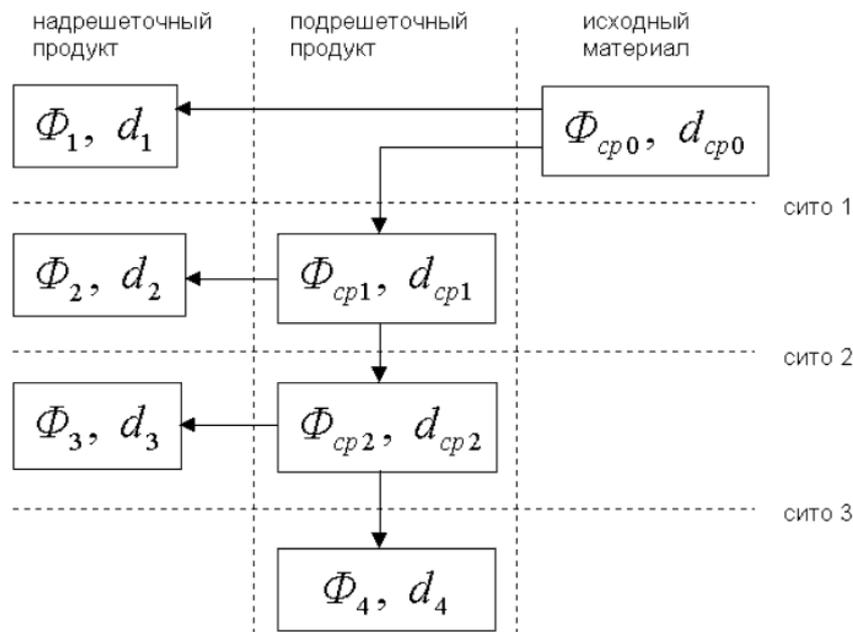
$$k_i = \frac{d_{cpi}}{d_{cp(i-1)}}, \quad i \in [1, n-1]. \quad (4)$$

Для определения значений  $k_i$  можно использовать экспериментальные данные. При известной величине  $k_i$ , зная средний диаметр частиц всей сыпучей массы, можно рассчитать значения  $d_{cpi}$  по формуле

$$d_{cpi} = k_i \cdot d_{cp(i-1)}. \quad (5)$$

Средний диаметр подрешетного продукта для  $i$ -ой фракции рассчитывают с использованием выражения

$$d_{cpi} = \frac{d_{cp(i-1)} \cdot \Phi_{cp(i-1)} - d_i \cdot \Phi_i}{\Phi_{cpi}}. \quad (6)$$



**Рисунок 1** – Схема ситового отсева пробы полидисперсного сыпучего материала на четыре фракции

При прохождении через каждое из сит проба сыпучего материала разделяется на две части: фракцию  $\Phi_i$  со средним диаметром частиц  $d_i$  и полидисперсную массу объемом  $\Phi_{cpi}$  со средним диаметром частиц  $d_{cpi}$ . Состояние баланса фракций материала после этой операции можно описать следующей системой уравнений

$$\left. \begin{aligned} d_i \cdot \Phi_i + d_{cpi} \cdot \Phi_{cpi} &= d_{cp(i-1)} \cdot \Phi_{cp(i-1)} \\ \Phi_i + \Phi_{cpi} &= \Phi_{cp(i-1)} \end{aligned} \right\}. \quad (7)$$

В случае, когда известны общее количество материала ( $\Phi_{cp0}$ ), средний диаметр всех частиц сыпучей массы ( $d_{cp0}$ ) и значения  $d_{cpi}$ , получают ряд систем уравнений, каждая из которых состоит из двух уравнений, последовательное решение которых позволяет определить фракционный состав материала:

$$\left. \begin{aligned} d_1 \cdot \Phi_1 + d_{cp1} \cdot \Phi_{cp1} &= d_{cp0} \cdot \Phi_{cp0} \\ \Phi_1 + \Phi_{cp1} &= \Phi_{cp0} \end{aligned} \right\} \quad (8.1)$$

$$\left. \begin{aligned} d_2 \cdot \Phi_2 + d_{cp2} \cdot \Phi_{cp2} &= d_{cp1} \cdot \Phi_{cp1} \\ \Phi_2 + \Phi_{cp2} &= \Phi_{cp1} \end{aligned} \right\} \quad (8.2)$$

$$\left. \begin{aligned} d_{n-1} \cdot \Phi_{n-1} + d_{cp(n-1)} \cdot \Phi_{cp(n-1)} &= d_{cp(n-2)} \cdot \Phi_{cp(n-2)} \\ \dots \\ \Phi_{n-1} + \Phi_{cp(n-1)} &= \Phi_{cp(n-2)} \end{aligned} \right\}, \quad (8.3)$$

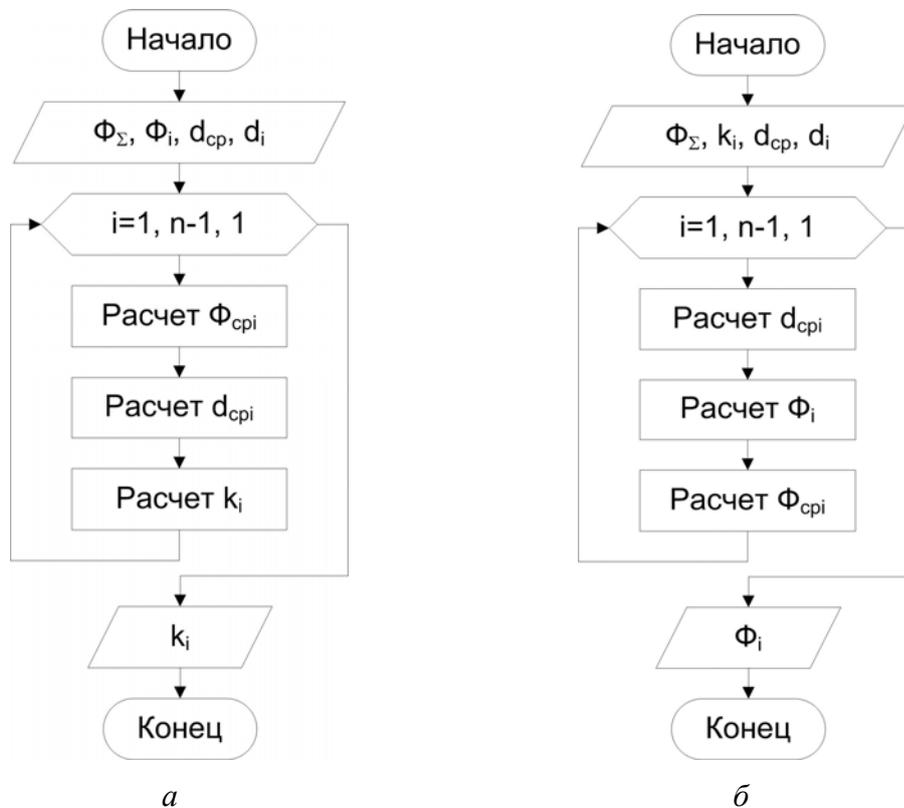
$$\Phi_n = \Phi_{cp0} - \sum_{i=1}^{n-1} \Phi_i. \quad (8.4)$$

Расчет  $\Phi_i$  и  $\Phi_{cpi}$  выполняют по формулам

$$\Phi_i = \Phi_{cp(i-1)} \cdot \left( \frac{d_{cp(i-1)} - d_{cpi}}{d_i - d_{cpi}} \right), \quad (8.5)$$

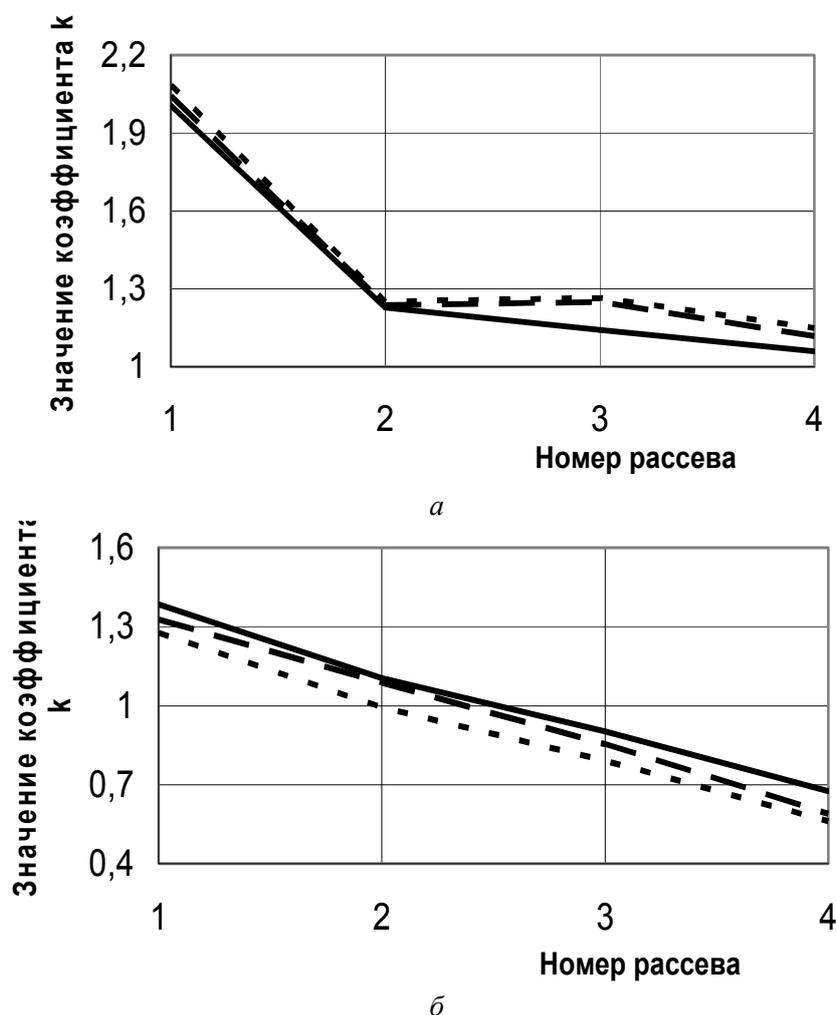
$$\Phi_{cpi} = \Phi_{cp(i-1)} - \Phi_{cpi}.$$

Таким образом, при известных значениях  $k_i$  для расчета фракционного состава шихты необходимы только значения  $\Phi_{cp0}$ ,  $d_{cp0}$  и  $d_i$ . Алгоритмы расчета  $k_i$  и  $\Phi_i$  приведены на рис. 2.



**Рисунок 2** – Алгоритмы расчета коэффициента изменения среднего диаметра частиц сыпучего материала в процессе его отсева  $k_i$  (а) и расчета фракционного состава сыпучего материала  $\Phi_i$  (б).

Зависимость коэффициента изменения среднего диаметра частиц шихты от номера отсева для различных производственных условий одного предприятия приведена на рис. 3. Зависимость коэффициента изменения среднего диаметра частиц шихты от номера отсева для различных предприятий представлена на рис. 4.

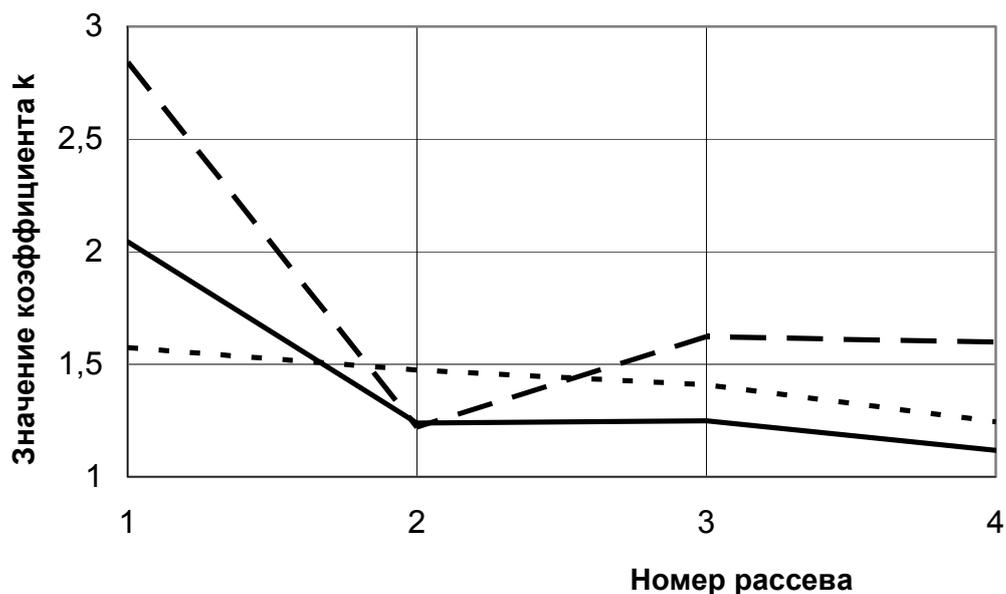


**Рисунок 3** – Зависимость коэффициента изменения среднего диаметра частиц сыпучего материала  $k$  в процессе его отсева от номера отсева в условиях ОАО «Металлургический комбинат «Запорожсталь» для шихты на выходе из приемного бункера (а) и барабанного окомкователя (б):  
 — - агломашина № 4; --- - агломашина № 5; - · - агломашина № 2

Как видно из рис. 3, коэффициенты изменения среднего диаметра частиц для одного и того же предприятия близки как по значению, так и по закономерности их изменения. Для различных предприятий (рис. 4) данные коэффициенты отличаются как по закономерности изменения, так и по величине.

Таким образом, сравнительный анализ результатов проведенных расчетов показывает, что закономерности, характеризующие гранулометрический состав агломерационной шихты, отличаются для различных предприятий, что не позволяет для их характеристики использовать одно и то же математическое описание. В то же время, для конкретного производства характерна стабильность соотношений между различными фракциями сыпучего материала. Выявление этих закономерностей, согласно приведенной методике, позволяет с достаточно высокой точностью прогнозировать фракционный состав материала по результатам измерения среднего диаметра частиц, составляющих его массу. Анализ экспериментальных данных и

данных, полученных с использованием предложенного метода расчета, показал, что ошибка моделирования не превышает 5 %.



**Рисунок 4** – Зависимость коэффициента изменения среднего диаметра частиц шихты от номера отсева для шихты на выходе из приемного бункера агломашины:  
— - ОАО «Металлургический комбинат «Запорожсталь»;  
... - ОАО «Мариупольский металлургический комбинат имени Ильича»;  
-.- - ОАО «Алчевский металлургический комбинат»

*Заключение.* По результатам проведенных исследований можно сделать вывод о том, что закономерности распределения агломерационной шихты по гранулометрическому составу для различных предприятий отличаются, что не позволяет использовать одно и то же математическое описание для их оценки. Однако при стабильности технологических операций по подготовке агломерационной шихты к спеканию, что характерно для условий работы на большинстве предприятий, закономерность распределения агломерационной шихты по гранулометрическому составу стабильна во времени и с достаточной точностью может быть определена на основе экспериментальных данных.

Установлено, что соотношение между средним диаметром частиц окомкованной агломерационной шихты узкого класса крупности и средним диаметром частиц суммы всех последующих классов стабильно в условиях неизменности технологических операций по подготовке шихты к спеканию и может с достаточной точностью определено на основе экспериментальных данных. Это позволило разработать новый подход к решению задачи идентификации гранулометрических характеристик с учетом технологических особенностей ее переработки.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Марюта А. Н.* Автоматический контроль гранулометрического состава сыпучих материалов / А. Н. Марюта, Ю. Г. Качан. – Киев-Донецк: Вища школа, 1977. – 120 с.
2. *Персиц В. З.* Измерение и контроль технологических параметров на обогатительных фабриках / В. З. Персиц. – М.: Недра, 1982. – 191 с.
3. *Миздряков О. А.* Дифференциальные методы гранулометрии / О. А. Миздряков. – М.: Металлургия, 1974. – 240 с.

4. *Юсфин Ю. С.* Управление окускованием железорудных материалов / Ю. С. Юсфин, А. Д. Каменов, А. П. Буткарев. – М.: Металлургия, 1999. – 279 с.
5. *Федоровский Н. В.* Автоматическое управление технологическими процессами окускования сыпучих материалов / Н. В. Федоровский. – Киев: Техніка, 1976. – 224 с.
6. *Маковский В. А.* Оптимальное управление агломерационным процессом / В. А. Маковский, Ю. Н. Власюк, Ю. В. Карташов. – Киев.: Вища школа, 1987. – 122 с.
7. *Бережной Н. Н.* Автоматизация процессов окускования железных руд / Н. Н. Бережной, П. В. Терехов. – Киев: Техніка, 1976. – 153 с.
8. *Федоровский Н. В.* Автоматизация процессов окускования железных руд / Н. В. Федоровский, Е. М. Дементьева, А. П. Руденко // Научные труды института автоматизи. – Киев: Техніка, 1976. – 144 с.
9. *Федоровский Н. В.* Разработка АСУ ТП окускования железных руд / Н. В. Федоровский. – Киев: Знание, 1978. – 20 с.

Стаття надійшла до редакції 15.04.2010 р.  
Рецензент, проф. О.Д. Шамровський