

Математическая модель автоматизированной системы составления сложных дисперсных композиций

Е.В. Состина

ГУАП, г. Санкт-Петербург

Аннотация: В статье рассмотрен вопрос автоматизации технологического производства дисперсных материалов. Охарактеризована математическая модель дозирования сухой шихты. Для анализа сигналов акустической эмиссии предложен метод быстрого преобразования Фурье (БПФ). Сделан вывод о экономическом аспекте производства и точности дозирования фракций.

Ключевые слова: автоматизация производства, технологии, дисперсные композиции, метод быстрого преобразования Фурье.

Современные численные методы и линейные методы оптимизации не стоят на месте и все больше находят свое применение в технологическом процессе. В эпоху цифровых информационно-коммуникационных технологий предприятия нуждаются во внедрении автоматизированных систем управления. Это связано, прежде всего, с повышением рентабельности производства, повышением качества выпускаемой ими продукции и конкуренцией на рынке сбыта.

Дисперсные материалы, такие как зернистые, гранулированные, порошковые широко применяются в качестве сырья для производства различных видов изделий. Дисперсные системы сложной структуры используются в химическом и электрохимическом производствах для получения электродной продукции. Автоматизация такого производства требует создания систем управления, способных непрерывно оценивать и корректировать состав смеси.

Сложность этой данного вопроса состоит в том, что для получения смеси необходимо наладить дозирочную линию с дозированием и смешением дисперсных компонентов из определенного числа бункеров-питателей [1], которые заполнены не монодисперсным материалом, а

материалом, характеризующимся определенным гранулометрическим составом (диапазоном и распределением частиц по размерам).

В то же время гранулометрический состав задается определенным образом, и в процессе дозирования необходимо обеспечить заданные допуски на содержание отдельных фракций материала. Это скажется, прежде всего, на экономическую эффективность электродного производства в целом.

Создание эффективной автоматической системы управления технологическим процессом дозирования сухой шихты, позволяет повысить качествоготавливаемых смесей и производительность дозирочных линий с использованием действующего дозирочного оборудования за счет внедрения более эффективной системы контроля и управления.

Линии приготовления шихты представляют собой типовые системы периодического дозирования или непрерывного дозирования. Исходное сырье для составления шихтовых композиций по заданным рецептам располагается в определенном числе сортовых бункеров запаса. В электродном производстве [2] количество сортовых бункеров довольно большое, при этом в качестве исходных материалов могут быть использованы различные по природе материалы, такие как кокс различных фракций и технический графит.

При помощи шнековых и тарельчатых питателей исходные материалы подаются в дозирочные бункеры, снабженные взвешивающими устройствами. Каждый дозирочный бункер предназначен для составления той или иной части смеси, определяемой набором соединенных с ним сортовых бункеров. Окончательная «сборка» шихтовой смеси и доставка ее к смесильному агрегату выполняется при помощи дозирочных тележек, управляемых оператором – дозирщиком, или различного рода транспортеров непрерывного действия [3, 4].

Как было отмечено выше, существуют заданные допуски на содержание фракции в общей шихтосмеси. При значительном отклонении от этих допусков необходима корректировка рецепта. Математическая модель шнекового дозатора позволяет выполнять дозирование шихты. Корректировка на основе лабораторного весового анализа для автоматизированных систем управления технологическим процессом неприемлема, поэтому при разработке системы используют экспресс–анализ гранулометрического состава подаваемых из сортовых бункеров потоков зерновых фракций на основе обработки сигналов акустической эмиссии, генерируемых компонентами дисперсных потоков [5]. По результатам экспресс–анализа производится соответствующая корректировка общего состава дисперсной композиции.

Обработка и фильтрация сигнала, хорошо исследована и получила свое подтверждение на практике [6, 7, 8].

Представим матрицу $n \times n$, где n – количество сортовых бункеров, соединенных с одним дозировочным бункером.

$$A = \left\| a_{ij} \right\|, \quad i, j = 1, \dots, n,$$
$$\sum_i a_{ij} = 1,$$

где j – номер сортового бункера, i – номер фракции шихты, содержащейся в бункере, а a_{ij} – ее доля в весе материала бункера.

Требуемый рецепт можно представить в виде вектора:

$$R = [r_i], \quad i = 1, \dots, n,$$

а данные реального взвешивания при дозировке – в виде вектора отвесов:

$$X = [x_i], \quad i = 1, \dots, n.$$

Задача оптимизации состава дисперсной композиции в условиях нужного рецепта и состава материала в сортовых бункерах можно записать в виде целевой функции:

$$L = |(AX - R)| = \sqrt{\sum_i (\sum_j a_{ij}x_j - r_i)^2} \rightarrow \min_{x_j \in X}.$$

Решение поставленной задачи может быть выполнено любым из методов многопараметрического поиска, например, методом поиска по деформированному многограннику.

Если учесть, что традиционные методы исследования сигналов акустической эмиссии при анализе частиц шихты не дают нужного результата, то нужно воспользоваться для экспресс-анализа гранулометрического состава частотные характеристики сигнала акустической эмиссии.

Для анализа сигналов акустической эмиссии, порождаемых частицами шихты учитывая, что частицы шихты достаточно однородны с учетом упругих свойств, а импульсы взаимодействия этих частиц со стенками шихтопровода имеют прямоугольную форму, можно воспользоваться методом быстрого преобразования Фурье (БПФ) [9].

Основываясь на методе БПФ для оценки фракционного состава шихты в том или ином потоке можно использовать способ изучения множества модальных гармоник [5]. В соответствии с этим способом предварительно формируется база данных, содержащая информацию о подмножествах модальных гармоник, соответствующих той или иной фракции дисперсного материала. Далее в реальном времени анализируется множество гармоник спектра Фурье сигнала акустической эмиссии дисперсной композиции, и в нем выделяются модальные гармоники, соответствующие той или иной фракции. Наличие этих модальных гармоник свидетельствует о наличии фракции данного дисперсного состава в шихтосмеси, подаваемой в

дозировочный бункер. Для оценки процентного содержания фракции в потоке необходимо использовать информацию о тембровых подспектрах, то есть о подспектрах акустического сигнала порождаемых той или иной модальной гармоникой. Концентрацию фракции шихты в потоке можно оценить по формуле:

$$S_j = \frac{F_j \sum_{i=0}^{N_j} a_{ij}}{\sum_{j=1}^m \sum_{i=0}^{N_j} a_{ij} F_j} \cdot 100 \% ,$$

где N_j – количество значимых (отличных от шумовых) гармоник в j – ом подспектре, a_{ij} – среднестатистическая амплитуда i -й гармоники j -го подспектра.

Коэффициент F_j – определяется при исследовании эталонной смеси с известным процентным содержанием j – ой фракции:

$$F_j = \frac{\tilde{S}_j}{\sum_{i=0}^{N_j} a_{ij}} ,$$

где \tilde{S}_j – известная концентрация фракции в эталонной смеси.

Для облегчения задачи выделения подспектров, соответствующих фракционным подмножествам шихты, проводится предварительная обработка акустического сигнала с целью фильтрации диапазона частот, соответствующего общему (суммарному) интервалу для всех значимых фракций шихты данного подмножества. Для фильтрации сигнала использованы полосовые фильтры, построенные на основе фильтров с конечной импульсной характеристикой (КИХ) [10]:

$$x(n) = \sum_{k=0}^{N-1} h(k)x(n-k) .$$

Для вычисления коэффициентов фильтра $h(k)$ предполагается использовать любой метод проектирования КИХ фильтров, основанный на эталонных моделях сигналов, полученных при изучении эталонных смесей шихты:

$$h(k) = \sum_{n=0}^{N-1} H(e^{j\omega_n}) \cdot e^{\frac{2\pi}{N} \cdot n \cdot k \cdot j}, \quad k = 0, \dots, < N - 1.$$

Модель непрерывного анализа дисперсного состава шихтосмеси на основе оценки частотных характеристик сигналов акустической эмиссии с помощью БПФ использована для разработки программного обеспечения автоматизированной дозировки шихты.

Автоматизированная система управления технологическим процессом дозирования шихты позволит достичь точности дозирования фракций, которые не превышают 0,5 % от заданного рецептом содержания фракций.

Литература

1. Будзинский А.С., Филимонов В.А., Авраменко П.Я. Системы дозировки сухой шихты для электродной промышленности // Цветная металлургия. 1989. № 12. С.83 – 87.
2. Янко Э.А. Аноды алюминиевых электролизеров.- М.: Издательский дом «Руда и металлы», 2001. – 670 с.
3. Сошкин С. В., Коков М. К., Сошкин Г. С., Хадзарагова Е.А. Система порционного дозирования компонентов шихты для электродного производства // Цветные металлы. 2013. №5. С. 83-88.
4. Сошкин С. В., Фокин В. П., Антонян А. С., Сорокин Н. П. Автоматизированная система дозирования сухой шихты в производстве электродной продукции // Современные технологии автоматизации. 2005. № 4. С. 50 – 53.



5. Пуресев А.И., Лепихова В.А., Торопов О.А., Малых Е.А., Сорокин Н.П. Патент 2222807 РФ, G01 № 29/02. Способ обработки сигналов акустической эмиссии генерируемых дисперсных систем – 2001103942/38(22). – Заявл. 12.02.2001; Опубл. 27.01.2004. Бюл. № 3.

6. Тарасова И.А., Леонова А.В., Синютин С.А. Алгоритмы фильтрации сигналов биоэлектрической природы // Инженерный вестник Дона, 2012, №4. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4p2y2012/1481

7. Берестень М.П., Зенов А.Ю. Концепция организации обработки информации в системах диагностики и распознавания // Инженерный вестник Дона, 2013, №1. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n1y2013/1568

8. Smith. W. The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing // California Technical Publishing. – 2007. – 643 p.

9. Ramirez R. W. The FFT: Fundamentals and Concepts, Prentice-Hall, 1985. – 178 с.

10. Рабинер Л., Гоулд Б. Теория и применение цифровой обработки сигналов. – М.: Мир, 1978. – 848 с.

References

1 Budzinskij A.S., Filimonov V.A., Avramenko P.Ya. Czvetnaya metallurgiya. 1989. № 12. pp.83 – 87.

2. Janko Je.A. Anody aljuminievyh jelektrolizerov [Anodes of aluminum electrolyzers]. М.: Izdatel'skij dom «Ruda i metally», 2001. 670 p.

3. Soshkin S. V., Kokov M. K., Soshkin G. S., Xadzaragova E.A. Czvetny`e metally`. 2013. №5. pp. 83-88.

4. Soshkin S. V., Fokin V. P., Antonjan A. S., Sorokin N. P. Sovremennye tehnologii avtomatizacii. 2005. № 4. pp. 50 – 53.

5. Patent 2222807 RF, G01 № 29/02. Sposob obrabotki signalov akusticheskoy emissii generiruemykh dispersnykh sistem A.I.Puresev;



V.A.Lepikhova; O.A.Toropov; E.A.Malykh; N.P.Sorokin. 2001103942/38(22).
Zayavl. 12.02.2001; Opubl. 27.01.2004. Byul. № 3

6. Tarasova I.A., Leonova A.V., Sinjutin S.A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2012, №4. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4p2y2012/1481

7. Beresten' M.P., Zenov A.Ju. Inzhenernyj vestnik Dona, 2013, №1. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n1y2013/1568

8. Smith. W. California Technical Publishing. 2007. 643 p.

9. Ramirez R. W. The FFT: Fundamentals and Concepts, Prentice-Hall, 1985. 178 p.

10. Rabiner L., Gould B. Teoriya i primeneniye tsifrovoy obrabotki signalov [Theory and application of digital signal processing]. M.: Mir, 1978. 848 p.