

Оптимизация автоматизированной системы управления технологическим процессом дозирования углеграфитовых материалов для производства электродной продукции

В.А. Лепихова, Н.В. Ляшенко,

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова, Новочеркасск

Аннотация: Рассмотрены основные задачи при оптимизации автоматизированной системы управления по дозированию и приготовлению электродной массы. Поставленные задачи по повышению точности выполнения дозирования шихты, а также убыстрения времени дозирования предложено выполнять с использованием акустического экспресс-анализа. Метод основан на разложении акустического сигнала порождаемого взаимодействием движущегося потока шихтосмеси и шихтопровода. Разложение сигнала с использованием быстрого преобразование Фурье в спектры и выделением подспектров, отвечающих за фракционные составляющие, позволит увеличить точность дозирования.

Ключевые слова: автоматизированная система управления, шихта, электродная масса, акустический сигнал, спектральный анализ, дискретное преобразование Фурье, фракционный состав шихтосмеси.

Производство графитовых электродов — это комплексный технологический процесс, который включает множество операций. В общем случае процесс изготовления можно подразделить на определённые этапы производства. В хронологическом порядке эти этапы выглядят следующим образом: приём и последующая подготовка сырья для производства, изготовление электродной массы на основе полученного сырья, далее происходит формирование заготовок с их последующим обжигом [1]. После этого заготовки последовательно подвергают пропитке и графитации, после которых уже идёт механическая обработка заготовок с получением готового продукта. Для получения качественного продукта, разумеется, необходимо соблюдение всех технологических норм и предписаний, как то контроль качества исходного сырья и полуфабриката на каждом этапе производства, так и проверки уже готового продукта. Хотя качество и соответствие нормам исходного углеграфитового сырья во многом определяет качество финального продукта, не менее важным этапом является подготовка шихты

на основе полученного сырья, так как это обеспечивает стабильность дальнейшего технологического процесса, включая вышеописанные прессование, обжиг, графитацию и механическую обработку продукции.

Предполагается, что в процессе формирования углеграфитовых материалов до спекания образуются смешанные коагуляционно – конденсационные структуры.

Для производства электродной продукции большое значение имеет состав и дозировка используемой шихты [2]. При этом на качество готовой продукции влияет не только прочность, пористость, удельное электрическое сопротивление, но и фракционный состав компонентов используемой шихты. Рецепт производственной шихты состоит из компонентов, которые можно разделить на основные группы, такие как: зерновые фракции (с отсевом включающим и 1 мм), пылевые фракции (мельничная и фильтровая пыль), жидкий каменноугольный пек.

Как правило пылевые фракции являясь мелкодисперсными и обладая «текучестью» не вызывают сложностей при внесении в рецепт шихты. Внесение зерновых фракций также не представляет большой сложности, так как они обладают легкостью в пересыпании и не склонны слеживаться. Однако при составлении рецепта шихты необходимо учитывать нестабильность ситового анализа зерновых фракций, что может влиять на качество электродной продукции. При составлении шихтосмеси по заданному рецепту в соответствии с технологическими требованиями учитывается процентное содержание той или иной фракции в смеси. В случае несоответствия рекомендуемым пропорциям выполняют корректировку рецепта.

Приготовление электродной массы рассмотрено на дозировочной линии завода «Эл 6 Новочеркасск» по производству графитированных электродов. Данная линия обеспечивает автоматизированное управление

технологическим процессом производства и относится к типовым с классическим вариантом приготовления шихтосмеси. Концепция приготовления шихтосмеси классическим методом продемонстрирована на рисунке 1. Для подготовки шихты, подходящей для изготовления графитовых электродов исходное сырьё располагают в 29 сортовых бункерах, в пропорциях согласно установленной рецептуре. Так в данном случае в качестве сырья выступает кокс различных фракций, технический графит, «зеленый» бой, пылевые фракции и специальные добавки.

Затем указанное выше сырьё из сортовых бункеров отправляется в дозирочные, оснащённые взвешивающим оборудованием, которое позволяет отмерять необходимые объёмы каждого типа сырья для получения смеси в требуемых согласно рецептуре пропорциях.

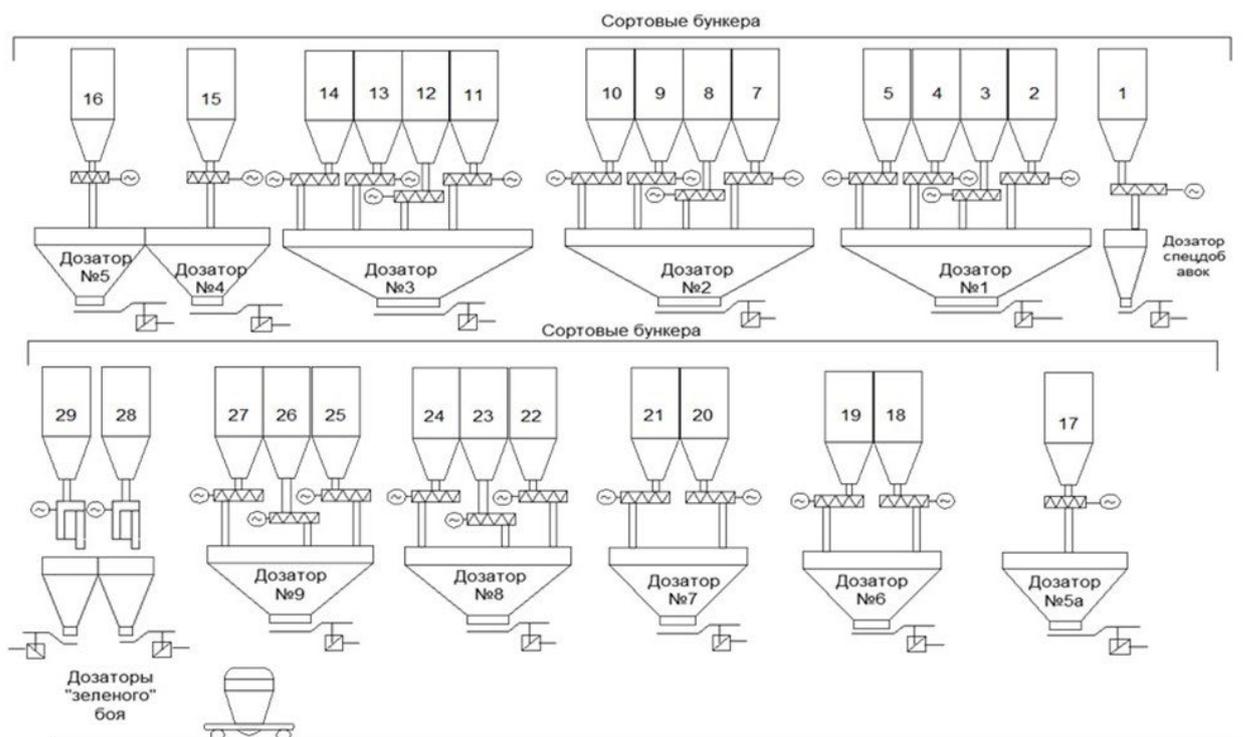


Рис.1. – Технологическая схема линии дозирования сухой шихты

Сырьё, отмерянное дозаторами, поступает в так называемую дозирочную тележку, управляемую оператором. Данная тележка обеспечивает завершающий этап подготовки смеси для будущих электродов

в виде сбора всех компонентов в одну ёмкость, а так же осуществляет доставку к смесильному агрегату, который, соответственно обеспечивает следующий этап технологического процесса производства электродов.

Перед выполнением и внедрением автоматизированной системы управления дозировка шихтосмеси выполнялась с использованием самописцев, осуществляющих связь с датчиками веса на дозирочных бункерах. При этом отклонение в составлении с рецептом и учетом метеорологических характеристик приборов достигало 10 кг на фракционную составляющую. В процессе оптимизации и автоматизации технологической линии по дозировке шихты необходимо было осуществить выполнение задач, которые вытекали из требований, предъявляемых к электродной продукции в настоящее время. К таким задачам следовало отнести улучшение эффективности работы смесильно-прессового оборудования с повышением точности выполнения дозирования исходных материалов, а также убыстрение времени дозирования и увеличение качества углеграфитовой массы до начала прессования.

Как можно понять, перечисленные выше задачи в основе своей содержат требования к скорости подачи и качеству поставляемых через сортовые и дозирочные бункера компонентов электродной смеси. Одним из элементов обеспечивающих выполнение этих задач является механическая составляющая подачи компонентов, а именно питатели, к примеру, шнековые и тарельчатые, используемые на дозирочной линии завода «Эл 6 Новочеркасск». Однако сравнение их характеристик выходит за рамки данной статьи, поэтому обратимся к другому, не менее важному аспекту.

Скорость измерения весов и объёмов при дозировке компонентов, а так же и точность являются второй составляющей, оптимизация которой может справиться с вышеупомянутыми задачами.

Так, одним из перспективных способов решения поставленных задач может быть предложено применение метода акустического экспресс-анализа [3]. Он сможет обеспечить проверку фракционного состава каждого компонента будущей шихтовой смеси в момент передачи компонента из сортового бункера в дозировочный бункер [4]. Тем самым проверяется как качество исходного сырья, так и проверяется корректность соблюдения рецептурных требований к составу электродной массы и, как следствие, возможна корректировка, уточнение и отладка технологического процесса с целью соблюдения требований к качеству продукции.

Данный метод основывается на анализе акустического сигнала, который возникает в результате взаимодействия частиц в потоке зерновых фракций шихтовой смеси и стенок шихтопровода [5, 6]. В ходе анализа принимается допущение, что в рамках одного компонента, поступающего в бункер, все частицы шихтосмеси являются однородными по твёрдости. В таком случае импульс, который возникает при взаимодействии частиц шихтосмеси и стенок шихтопровода, будет иметь прямоугольную форму [7].

Таким образом, с учётом всех искажений, результирующий сигнал акустической эмиссии (АЭ), вызванной взаимодействием зерновых фракций и стенок шихтопровода, можно выразить как последовательность затухающих колебаний:

$$u = Ae^{-\delta t} \sin \omega t,$$

где A – амплитуда сигнала в начальный момент времени;

δ – коэффициент затухания колебаний, определяется демпфирующими свойствами материала шихтопровода и состава шихты;

ω – круговая частота колебаний:

$$\omega = \sqrt{p^2 - \alpha^2},$$

p – коэффициент, рассчитывающийся на основе отношения $p = \frac{c}{t}$,

где c – коэффициент механической жесткости металла шихтопровода;
 m – приведенная масса исследуемой частицы.

Имеющийся сигнал, приняв во внимание его дискретизацию по времени, можно анализировать с применением метода быстрого преобразования Фурье (БПФ). В таком случае представление N отсчетов сигнала в частотной области может быть записано следующим образом:

$$X(k) = \frac{1}{N} \sum_1^{N-1} x(n) \left[\cos \frac{2\pi nk}{N} - j \sin \frac{2\pi nk}{N} \right], 0 \leq k \leq N-1$$

где n – индексы отсчетов (дискрет) сигнала во временной области,
 k – индексы отсчетов (дискрет) сигнала в частотной области,
 $x(n)$ – значения отсчетов (дискретных) во временной области,
 $X(k)$ – образы отсчетов в частотной области.

На основе нижеуказанных соотношений можно определить амплитуды сигналов $X(k)$:

$$\left\{ \begin{array}{l} A(X(k)) = \sqrt{\operatorname{Re}(X(k))^2 + \operatorname{Im}(X(k))^2} - \text{амплитуда отсчета } X(k), \\ \operatorname{Re}(X(k)) = \frac{2}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x(n) \cos\left(\frac{2\pi nk}{N}\right) - \text{действительная часть БПФ,} \\ \operatorname{Im}(X(k)) = \frac{-2}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x(n) \sin\left(\frac{2\pi nk}{N}\right) - \text{мнимая часть БПФ.} \end{array} \right.$$

Используя метод быстрого преобразования Фурье (БПФ) можно разложить акустический сигнал на спектры. В каждом спектре содержатся модальные гармоники, отвечающие за заданную фракцию в движущемся потоке шихтосмеси [8,9].

Таким образом, получится идентифицировать каждую фракцию компонента, входящего в состав шихтосмеси и определить его соответствие нормативам. Для этого необходимо провести серию обучающих экспериментов, на чистых компонентах шихтосмеси и на отдельных фракциях этих компонентов. Это необходимо для формирования банка

данных, хранящего информацию о каждой фракции. Результатом каждого эксперимента будет подспектр, состоящий из модальной и кратной ей тембровым гармоникам [10]. Полученный подспектр позволит однозначно определять отдельную фракцию шихты уже в реальных условиях при анализе смеси. Увеличение гармоник в подспектре по амплитуде будет сообщать о повышении данной фракции в потоке. Таким образом в процессе дозировки шихтосмеси можно определять в реальном режиме времени процентное содержание заданных рецептурных фракций. Оптимизация автоматизированной системы управления технологическим процессом дозирования углеграфитовых материалов помимо ряда задач, таких как применение электроприводов с частотным регулированием скорости вращения, тензометрических взвешивающих устройств и ряда других включала и применение спектрально-тембрового метода для уточнения рецептов дозирования.

Литература

1. Фещенко Р.Ю., Фещенко Е.А., Еремин Р.Н., Ерохина О.О., Дыдин В.М. Анализ состава шихты электродной массы // *Металлург*. 2020. №7. С. 21-26.
2. Сошкин С.В., Коков М.С., Сошкин Г.С., Хадзарагова Е.А. Система порционного дозирования компонентов шихты для электродного производства // *Цветные металлы*. 2013. №5. С. 83-88.
3. Abdulhussain H.A., Thompson M.R. Predicting the particle size distribution in twin screw granulation through acoustic emissions // *Powder Technology*. 2021. № 394. pp. 757-766.
4. Лепихова В.А., Ляшенко Н.В., Чибинев Н.Н., Рябоус А.Ю. Система акустического мониторинга в промышленных и экологических технологиях // *Безопасность труда в промышленности*. 2021. № 3. С. 36-40.

5. Qin W. Signal Analysis of Characteristics Using Passive Acoustic Emission Technique in Gas-Solid Pipeline Flows // *Discrete Dynamics in Nature and Society*. 2022. pp. 1-7.

6. Загретдинов А.Р., Хайритдинов Р.Р., Логинов В.Н., Бусаров А.В. Измерительно-диагностический комплекс для виброакустического контроля технического состояния оборудования // *Инженерный вестник Дона*, 2016, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3858.

7. Zhang G., Yan Y., Hu Y., Zheng G. Investigations into the sensing mechanism of acoustic emission sensors for particle size measurement in a particular case: Normal // *Measurement Science and Technology*. 2021. V. 32. No. 7. pp. 075107–075107.

8. Лепихова В.А., Ляшенко Н.В., Чибишев Н.Н., Рябоус А.Ю. Инструментальные средства и методы компьютерного мониторинга при переносе пылевых смесей // *Безопасность жизнедеятельности*. 2019. №12. С. 47-52.

9. Состина Е. В. Математическая модель автоматизированной системы составления сложных дисперсных композиций // *Инженерный вестник Дона*, 2020, № 5. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n5y2020/6460

10. Лепихова В.А., Ляшенко Н.В., Рябоус А.Ю. Автоматизация корректировки рецепта коксопековой композиции в производстве электродной продукции // XXI Международная научно-практическая конференция "Экология и безопасность жизнедеятельности". Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2021. С. 117-120.

References.

1. Feshchenko R.Yu., Feshchenko E.A., Eremin R.N., Erokhina O.O., Dydin V.M. *Metallurgist*. 2020. №7. pp. 21-26.



2. Soshkin S.V., Kokov M.S., Soshkin G.S., Khadzaragova E.A. Tsvetnye metally. 2013. №5. pp. 83-88.
3. Abdulhussain H.A., Thompson M.R. Powder Technology. 2021. № 394. pp. 757-766.
4. Lepikhova V.A., Lyashenko N.V., Chibinev N.N., Ryabous A.Yu Bezopasnost' Truda v Promyshlennosti. 2021. № 3. pp. 36-40.
5. Qin W. Discrete Dynamics in Nature and Society. 2022. pp. 1-7.
6. Zagretidinov A.R., Hayritdinov R.R., Loginov V.N., Busarov A.V. Inzhenernyi vestnik Dona, 2016, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3858.
7. Zhang G., Yan Y., Hu Y., Zheng G. Measurement Science and Technology. 2021. V. 32. No. 7. pp. 075107–075107.
8. Lepikhova V.A. Lyashenko N.V., Chibinev N.N., Ryabous A.YU. Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti. 2019. № 12. pp. 47-52.
9. SOSTINA E.V. Inzhenernyi vestnik Dona, 2020, № 5. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n5y2020/6460
10. Lepikhova V.A., Lyashenko N.V., Ryabous A.Yu. XXI Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya "Ekologiya i bezopasnost zhiznedeyatel'nosti". Penza, 2021. pp. 117-120.

Дата поступления: 3.03.2025

Дата публикации: 25.04 2025