

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ АСУ ФОРМИРОВАНИЕМ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АГЛОМЕРАЦИОННОЙ ШИХТЫ ПРИ ПОДГОТОВКЕ К СПЕКАНИЮ*

Запорожская государственная инженерная академия

Розглянуто існуючі системи управління огрудкуванням агломераційної шихти, виявлено їх недоліки та запропоновано способи їх усунення. Запропоновано кількісний критерій якості огрудкування. Розроблено автоматизовану систему управління огрудкуванням агломераційної шихти на основі математичних моделей основних процесів. Досліджено ефективність запропонованої системи за допомогою імітаційної моделі у середовищі SIMULINK/MATLAB 2007R.

Рассмотрены существующие системы управления окомкованием агломерационной шихты, выявлены их недостатки и предложены способы их устранения. Предложен количественный критерий качества окомкования. Разработана автоматизированная система управления окомкованием агломерационной шихты на основе математических моделей основных процессов. Исследована эффективность предложенной системы при помощи имитационной модели в среде SIMULINK/MATLAB 2007R.

Введение. Повышение эффективности доменного производства может быть достигнуто путем улучшения качества агломерации железных руд и снижения расхода топлива. Решающее влияние на процесс спекания оказывают газопроницаемость и структура слоя шихты на агломерационной ленте, которые, в свою очередь, определяются качеством окомкования сыпучего материала в барабанном грануляторе [1]. Успешное протекание данного процесса возможно только в случае организации высокоточного управления, основанного на современных методах и подходах с использованием адекватной математической модели процесса.

Анализ достижений при решении проблемы. На сегодняшний день большинство систем управления данным процессом основаны на стабилизации расхода увлажняющей жидкости и практически не учитывают влияние остальных параметров. Однако такие системы не могут обеспечить высокое качество управления из-за наличия экстремума зависимости прочности агломерата от содержания влаги в спекаемой шихте, которая различна для разных шихт [2]. Некоторые системы, предлагаемые в последние годы [3-5], основаны на алгоритмах, учитывающих влияние нескольких параметров на ход процесса, однако при их проектировании не принимали во внимание вопросы сохранения структуры окомкованного материала и требования к согласованной работе всего тракта подачи шихты. Поэтому попытки получения гранулята с заданными свойствами часто не имеют удовлетворительного результата из-за недостаточной изученности процесса.

Постановка задачи. Указанные недостатки могут быть устранены путем получения достоверного математического описания процессов окомкования и транспортирования шихты на агломерационную ленту, основанного на анализе сущности данных процессов и связывающего основные технологические параметры, а также построение на основе полученных моделей алгоритмов управления указанными процес-

* Работа выполнена под руководством д.т.н., профессора М.Ю.Пазюка

сами. Поэтому задачей данной работы является синтез автоматизированной системы управления (АСУ) формированием гранулометрических характеристик агломерационной шихты, основанной на аналитических моделях окомкования и транспортирования окомкованной шихты, и исследование характеристик ее работы.

Основная часть исследований. При разработке системы управления окомкованием агломерационной шихты, отвечающей современному уровню автоматизации, большое значение имеет выбор критерия качества окомкования и на его основе постановка задачи оптимального управления. В работе [6] представлены математические модели процессов окомкования и транспортирования окомкованной шихты на агломерационную ленту, разработанные на основе балансового метода. Поскольку метод моделирования, использованный в этой работе, позволяет с высокой точностью получить в числовом виде функцию распределения диаметров частиц многофракционной смеси, то качество окомкования и сохранения структуры окомкованного материала предлагается оценивать по степени близости функции текущего распределения диаметров гранул шихты, загружаемой на агломерационную ленту, к оптимальному распределению для данных условий производства (R). На основании методики расчета влияния гранулометрического состава шихты и распределение топлива по его высоте, приведенной в работе [7] был определен гранулометрический шихты, обеспечивающий распределение топлива близкое к оптимальному. Полученное распределение диаметров частиц шихты было выбрано в качестве оптимального для данных условий производства.

Математическая формулировка предложенного критерия выглядит следующим образом

$$R = \sqrt{\sum_{k=1}^n [y_1(x_k) - y_2(x_k)]^2 \cdot \Delta x_k} \quad , \quad (1)$$

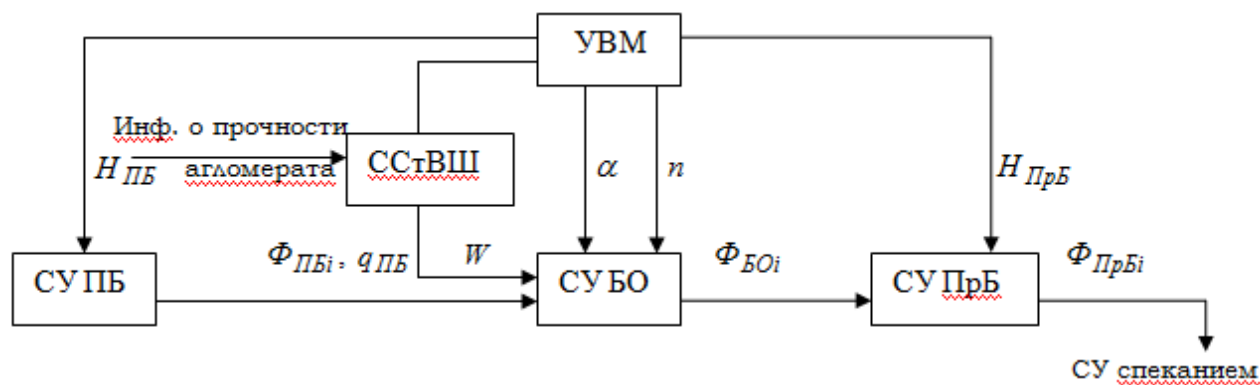
где x_k – эквивалентный диаметр частиц в данном классе крупности, мм; x_{k-1} – эквивалентный диаметр частиц в предыдущем классе крупности, мм, $\Delta x_k = x_k - x_{k-1}$; $y_1(x_k)$ – содержание данного класса крупности в шихте, загружаемой на аглоленту, соответствующее параметрам оптимального распределения топлива по высоте слоя, % случая идеального соотношения частиц в исходном материале, %; $y_2(x_k)$ – текущее содержание данного класса крупности в шихте, загружаемой на агломерационную ленту, %; n – количество классов крупности, выделяемых в шихте.

Задача оптимизации процесса заключается в минимизации предложенного критерия:

$$R(d) \Rightarrow \min . \quad (2)$$

Данная задача может быть решена в результате применения разработанной АСУ, структурная схема которой показана на рис. 1.

Функционирование данной АСУ базируется на алгоритме формирования структуры шихты, загружаемой на агломерационную ленту, разработанном на основании предложенных моделей [6].



УВМ - управляющая вычислительная машина, СУ ПБ - система управления приемными бункерами, СУ БО - система управления барабаном-окомкователем, СУ ПрБ - система управления промежуточными бункерами агломашин, ССтВШ - система стабилизации влажности шихты, $H_{ПрБ}$ - уровень заполнения приемного бункера, W - влажность шихты, α - угол наклона барабана-окомкователя, n - скорость вращения барабана-окомкователя, $H_{ПрБ}$ - уровень заполнения промежуточного бункера (корректирующее воздействие), $\Phi_{ПБi}$ - фракционный состав шихты на выходе приемного бункера, $q_{ПБ}$ - производительность дозатора приемного бункера, $\Phi_{БОi}$ - фракционный состав шихты на выходе барабана-окомкователя, $\Pi_{БОi}$ - прочность фракций на выходе барабана-окомкователя, $\Phi_{ПрБi}$ - фракционный состав шихты на выходе промежуточного бункера, $\Pi_{ПрБi}$ - прочность фракций на выходе промежуточного бункера

Рисунок 1 – Структура АСУ формированием гранулометрических характеристик аглоленты при подготовке к спеканию

Функции центрального управления системой возложены на УВМ. В нее заложен алгоритм управления, который в качестве исходных данных использует оптимальное для данных условий производства распределение диаметров частиц шихты на агломерационной ленте и информацию о значениях основных технологических параметров процесса окомкования и транспортировки шихты. На основании разработанных моделей производится прогноз фракционного состава шихты на выходе окомкователя, а затем – на выходе промежуточного бункера и на агломерационной ленте. В случае совпадения гранулометрических характеристик шихты на агломерационной ленте с оптимальными осуществляют выход из алгоритма, в противном случае решают задачу оптимизации, в результате чего определяются величины угла наклона и скорости вращения окомкователя, обеспечивающие максимальное приближение функции распределения диаметров шихты к оптимальному.

Для исследования работы предлагаемой АСУ была создана имитационная модель системы в среде SIMULINK/MATLAB 2007R, представленная на рис. 2.

Структура модели включает следующие блоки:

- подсистему «Gransostav», формирующую количественные характеристики гранулометрического состава пятифракционной смеси, подаваемой на окомкование; количество мелкой фракции формируется в соответствии с нормальным законом, количество остальных фракций – в соответствии с регрессионными зависимостями, полученными в результате обработки экспериментальных данных;

- подсистему «ASUbo», имитирующую работу синтезированной АСУ БО, где основным является блок реализации алгоритма управления барабаном-окомкователем (входные величины – исходный гранулометрический состав шихты, n_0 , α_0 , W_0 ; выходные величины – оптимальные значения основных коэффициентов массопереноса k_{12} , k_{13} , k_{21} , k_{31} [6], значения управляющих воздействий W , α , n , обеспечивающих заданные значения коэффициентов, разность R между идеальным и текущим распреде-

лением диаметров частиц в окомкованном материале, гранулометрический состав шихты на выходе барабана-окомкователя). В процессе моделирования величины изменяли в следующих пределах $n = 6...10$; $\alpha = 0...2,5$; $W = 8,5\%$; в отсутствие АСУ $n_0 = 8$; $\alpha_0 = 2,5$; $W_0 = 8,5\%$;

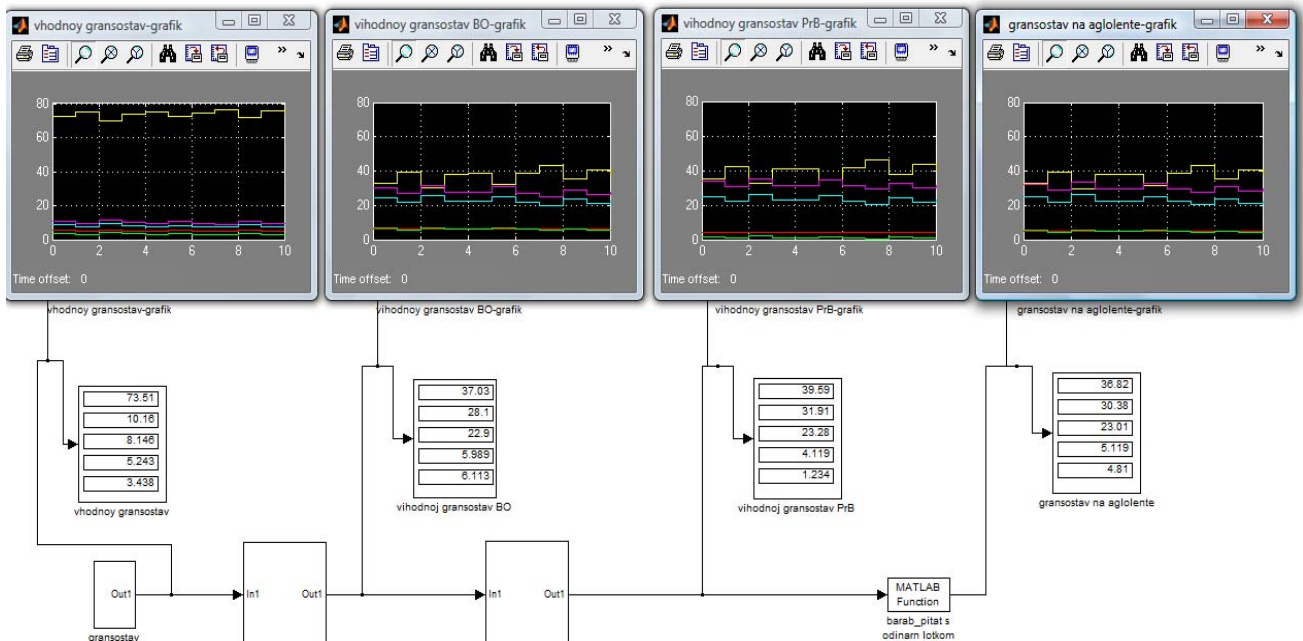


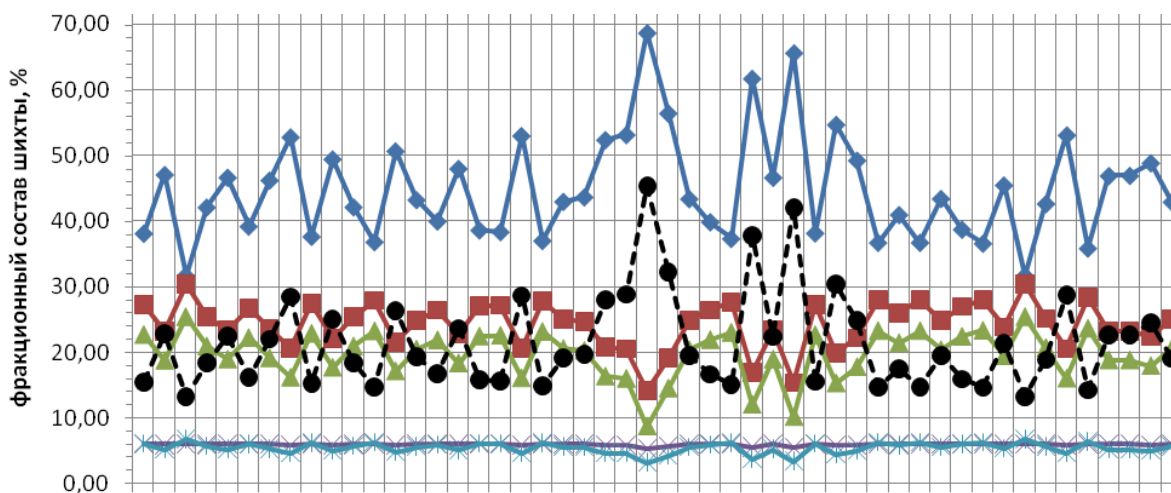
Рисунок 2 – Имитационная модель АСУ

– подсистему «ASUprb», реализующую корректирующее воздействие на высоту столба шихты в промежуточном бункере (входная и выходная величины – гранулометрический состав шихты соответственно на выходе барабана и промежуточного бункера; основным является блок прогнозирования гранулометрического состава шихты на выходе промежуточного бункера в зависимости от высоты его заполнения $H = 0,5...1,5$ м);

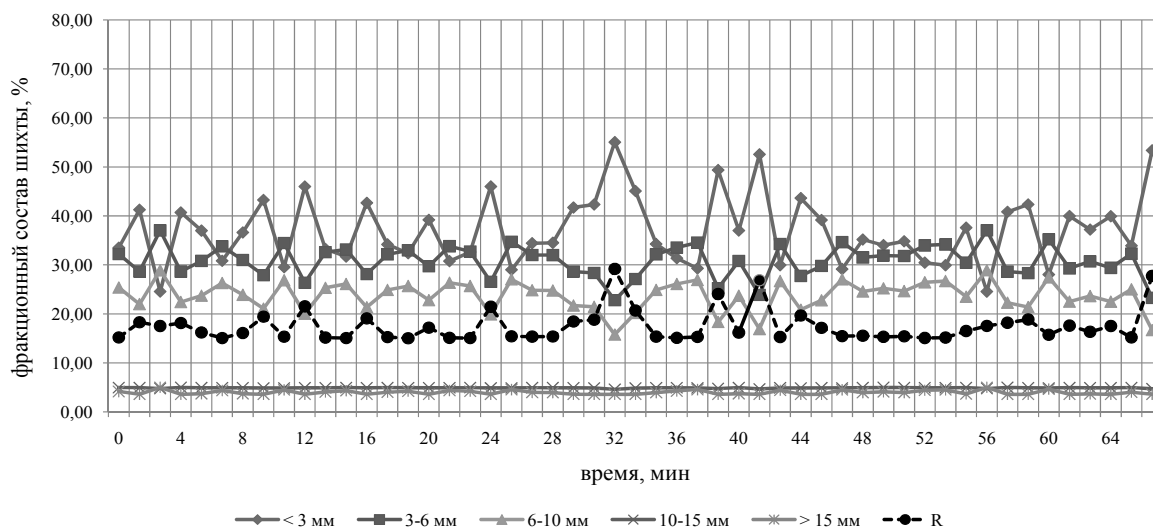
– блок «Baraban_pitat s odinarn lotkom» расчета гранулометрического состава шихты, загружаемой на агломерационную ленту при использовании определенного типа загрузочного устройства (в данном случае барабанного питателя с одинарным лотком) по гранулометрическому составу шихты на выходе промежуточного бункера.

– блоки цифровой и графической индикации гранулометрического состава шихты на разных участках тракта подачи шихты.

При помощи разработанной модели проведено имитационное моделирование процесса окомкования для условий аглофабрики ОАО «Металлургический комбинат «Запорожсталь», протекающего в отсутствие предлагаемой АСУ (отключен блок реализации управляющего алгоритма) и с ее применением. Результаты моделирования (рис. 3) показали, что применение разработанной АСУ барабаном-окомкователем позволяет снизить разность между идеальным гранулометрическим составом и гранулометрическим составом окомкованной шихты на 24,5%, снизив при этом дисперсию данной величины на 68,5%. Данный результат обеспечивается за счет сокращения на 15,7% количества мелкой фракции на выходе окомкователя (при снижении дисперсии на 45,5%) и увеличения количества кондиционных фракций 3-6 мм и 6-10 мм на 14,6% по каждой (при снижении дисперсии на 41 и 49% соответственно).



а)



б)

Рисунок 3 – Колебания гранулометрического состава окомкованной шихты, загружаемой аглоленту при отсутствии предлагаемой АСУ (а) и работе ее (б)

Кроме того, установлено, что использование разработанной АСУ позволяет сократить на 40,5% разность между идеальным и текущим гранулометрическим составом шихты, загружаемой на агломерационную ленту на 41% (при снижении дисперсии данной величины на 69%). Это достигается за счет снижения на 19% количества мелкой фракции на агломерационной ленте (при снижении дисперсии на 24,5%) и увеличения суммарного количества кондиционных фракций на 10%.

В соответствии с методикой, описанной в работе [8], были рассчитаны параметры вертикальной сегрегации шихты в спекаемом слое, соответствующие гранулометрическим характеристикам шихты, достигаемым в результате работы предлагаемой АСУ. Результаты расчетов показали, что применение разработанной АСУ обеспечивает распределение топлива по высоте спекаемого слоя близкое к оптимальному, что для условий аглофабрики ОАО «Металлургический комбинат «Запорожсталь» означает снижение содержания топлива в шихте с 4,4 до 3,8%. Также в результате расчета влияния гранулометрического состава шихты на качество готового агломерата в соответствии с зависимостями, приведенными в работе [5], определено, что полученное улучшение структуры спекаемого слоя обеспечит снижение выхода мелкой фракции агломерата на 1,2%.

Заключение. Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы:

– применение разработанной АСУ формированием гранулометрических характеристик агломерационной шихты обеспечивает стабилизацию гранулометрического состава материала, загружаемого на агломерационную ленту, что, в свою очередь, будет способствовать стабилизации процесса спекания и свойств агломерата;

– использование предлагаемой АСУ для условий аглофабрики ОАО «Металлургический комбинат «Запорожсталь» обеспечивает снижение содержания топлива в шихте с 4,4 до 3,8% при снижении количества мелкой фракции в агломерате на 1,2%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Вегман Е. Ф.* Окускование руд и концентратов / Е. Ф. Вегман. – М.: Metallurgy, 1984. – 256 с.
2. Исследование влияния физических свойств шихты на начальный период спекания / *В. И. Гранковский*, М. Ю. Пазюк, А. Н. Николаенко, П. А. Половой // Теоретические основы и технология подготовки металлургического сырья к доменной плавке: республ. научн.-техн. конф.: тезисы докл. – Днепропетровск: ДМетИ, 1980. – С. 40-41.
3. *Тарасов В. П.* Комплексная динамическая модель окомкования аглошихты с определением порозности слоя / В. П. Тарасов, О. В. Кривенко, С. В. Кривенко // Известия Вузов. Черная металлургия. – 2001. – № 9. – С. 12-15.
4. *Качан Ю. Г.* Об алгоритме управления процессом окомкования сыпучих материалов в барабанных грануляторах / Ю. Г. Качан, О. В. Ренгевич // Придніпровський науковий вісник. – 1997. – № 49 (60). – С. 21-24.
5. *Качан Ю. Г.* Апробация алгоритма управления процессом окомкования на его имитационной модели / Ю. Г. Качан, О. В. Ренгевич // Там же. – С. 24-26.
6. *Рахуба В. О.* Функциональная структура АСУ качественными характеристиками агломерационной шихты в процессе ее подготовки к спеканию / В. О. Рахуба, М. Ю. Пазюк // Академический вестник Криворожского территориального отделения МАКНС. – Кривой Рог: КрТо МАНКС. – 2007. – № 20. – С. 11-14.
7. *Пожуев В. И.* Влияние параметров грузочного устройства агломерационной машины на распределение топлива по высоте слоя на аглоленте / В. И. Пожуев, М. Ю. Пазюк, Ю. М. Пазюк [и др.] // Metallurgy (Наукові праці ЗДІА). – Запоріжжя: ЗДІА, 2008. – Вип. 19. – С. 5-11.
8. *Овчинникова И.А.* Применение SCADA-систем к процессу управления качественными характеристиками слоя шихты на аглоленте / И. А. Овчинникова // Академический вестник Криворожского территориального отделения МАКНС. – Кривой Рог: КрТо МАНКС, 2006. – № 17-18. – С. 21-27.

Стаття надійшла до редакції 09.06.2009 р.
Рецензент – проф. А.М. Ніколаенко