

УДК 001.57

А.Н. Николаенко, профессор, к.т.н.

И.В. Базанов, студент

ПОДСИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДЛЯ АСУТП АГЛОМЕРАЦИИ

Запорожская государственная инженерная академия

Розроблено підсистему підтримки рішень для АСУТП агломерації. Дана підсистема дозволяє здійснювати регулювання оптимальної вологості шихти на основі аналітичного пошуку мінімального значення усадки шару за заданих технологічних параметрів.

Ключові слова: агломераційний процес, підсистема підтримки приймання вирішень, вологість та усадка шару шихти, математична модель

Разработана подсистема поддержки принятия решений для АСУТП агломерации. Данная подсистема позволяет осуществить регулирование оптимальной влажности шихты на основе аналитического поиска минимального значения усадки слоя при заданных технологических параметрах.

Ключевые слова: агломерационный процесс, подсистема поддержки принятия решений, влажность и усадка слоя шихты, математическая модель

The subsystem for backing of decision-making for ASUTP in the agglomeration has been offered. This subsystem ensures to carry out control of optimal damp of charge on the basis of the analytical search for the minimal value of batch of layer at the given technological parameters.

Keywords: agglomeration process, the subsystem for backing of decision-making, damp and batch layer of charge, mathematical model

Введение. Процесс спекания на агломерационной ленте в значительной степени определяется качеством подготовки сыпучих материалов на стадиях их увлажнения и окомкования в барабанном грануляторе, а также при транспортировке и загрузке на палеты агломерационной машины [1]. При этом единого научно обоснованного показателя качества шихты, загруженной на агломерационную ленту нет. В то же время результатами исследований установлено, что усадка слоя шихты в начальный период спекания характеризует собой газодинамические свойства сыпучего материала уложенного на агломерационную ленту, а ее величина влияет на ход и результаты процесса спекания [2]. Однако сложность измерения усадки слоя под горном, а также значительное транспортное запаздывание, которым обладает тракт подачи и укладки шихты на агломерационную ленту, делают практически невозможным разработку системы автоматического регулирования качества подготовки шихты к спеканию на основе прямого измерения этого параметра.

Постановка задачи. В связи с этим возникает необходимость создания подсистемы принятия решений, которая на основе математической модели усадки слоя будет выдавать рекомендации по управлению качеством подготовки шихты к спеканию в АСУТП агломерации.

Основная часть исследований. Для математического моделирования на лабораторной установке и в действующей агломерационной машине в усло-

виях аглофабрики ОАО «Металлургический комбинат «Запорожсталь» выполнены исследования усадки шихты в начальный период спекания в зависимости от параметров, характеризующих качество подготовки шихты к спеканию, и степени влияния ее на результаты агломерации [3].

Дисперсионный анализ полученных результатов показал, что значимое влияние на величину усадки слоя шихты Δh оказывают изменения ее влажности W и среднего диаметра гранул d , а также уровня материала H в промежуточном бункере. При этом исследуемые зависимости имеют экстремальный характер, а минимальной усадке слоя шихты соответствуют максимальная скорость спекания и лучшее качество агломерата.

В связи с тем, что механизм усадки слоя шихты в начальный период спекания имеет две четко выраженные стадии, связанные с действием разрежения и вибрации агломерационной машины, а также наличием процессов теплообмена, моделирование процесса уплотнения выполняли по частям [4].

Известно, что основное влияние на процесс уплотнения слоя шихты под действием разрежения и вибрации оказывают геометрические факторы: форма, соотношение размеров гранул и взаимодействие при контактах. Поэтому при моделировании в качестве исходных выражений использовали:

– формулу объема шара

$$V_{ш} = \frac{\pi \cdot d^3}{6} ; \quad (1)$$

– зависимость усадки при уплотнении гранул от изменения пористости слоя:

$$\Delta h = \frac{h \cdot (e_1 - e_2)}{(1 + e_1)}; \quad (2)$$

а также систему уравнений, описывающих условия равновесия гранулы в слое, характеризуемого равенством нулю суммы проекций всех действующих на нее сил и моментов:

$$\sum F_k(x) = F \sin \alpha_1 + N \cos \alpha_1 - N_1 - F_2 \sin \alpha_1 - N_2 \cos \alpha_1 + N_3 = 0, \quad (3)$$

$$\sum F_k(y) = N \sin \alpha_1 - F \cos \alpha_1 - P + F_1 - N_2 \sin \alpha_1 + F_2 \cos \alpha_1 + F_3 = 0, \quad (4)$$

$$\sum m(c) = -0,5F \cdot d + 0,5F_1 \cdot d \cdot (1 + \cos \alpha_1) + 0,5N_1 \cdot d \cdot \sin \alpha_1 + F_2 d - 0,5N_3 \cdot d \cdot \sin \alpha_1 + 0,5F_3 \cdot d (1 - \cos \alpha_1) = 0, \quad (5)$$

где h – начальная высота слоя шихты; e_1 e_2 – соответственно начальный и конечный коэффициенты пористости; F , F_1 , F_2 , F_3 – силы трения, действующие на гранулу в слое, $F = f \cdot N$, $F_1 = f \cdot N_1$; $F_2 = f \cdot N_2$; $F_3 = f \cdot N_3$; N , N_1 , N_2 , N_3 – нормальные составляющие сил трения; f – коэффициент внутреннего трения шихты.

В результате математических преобразований этих и ряда других уравнений получено выражение зависимости усадки слоя Δh_1 от величины коэффициента внутреннего трения f шихты под действием разрежения и вибрации

В связи с тем, что вторая составляющая усадки слоя шихты Δh_2 в начальный период спекания определяется тепловыми процессами, действующими в шихте, механизм которых сложно представить аналитическим путем, для описания усадки применяли статистические методы.

Так как влияние влажности и среднего диаметра гранул шихты, а также уровня материала в промежуточном бункере агломерационной машины на величину усадки Δh_2 , имеет экстремальный характер, в основу математической модели был положен полином второго порядка:

$$\Delta h_2 = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i \cdot x_i + \sum_{i>j}^k b_{ij} \cdot x_i \cdot x_j + \sum_{i=1}^k b_{ii} \cdot x_i^2, \quad (6)$$

где x_i – нормализованное значение независимых управляющих воздействий W , H , d ; b_i – коэффициенты уравнения регрессии.

Для оценки величины коэффициентов данного уравнения использовали центральный композиционный ортогональный план и методику его реализации.

Тогда математическое описание процесса усадки агломерационной шихты в начальный период

спекания представляли в виде суммы двух составляющих $(\Delta h_1 + \Delta h_2)$ [4]:

$$\Delta h = \Delta h_1 + \Delta h_2 = \left[1 - \frac{(1,367 - 0,005f) \cdot \sin^2 \alpha_2}{\frac{1}{2} + \sqrt{(f^4 + f^2 + 1)/2(f^2 + 1)}} \right] \cdot 100\% + 0,13(55 - t_w) + 28,72W^2 - 471,09W + 0,69d^2 - 6,2d + 13,68H^2 - 36,416H + 1973,599. \quad (7)$$

Для определения коэффициента внутреннего трения f шихты применяли уравнение, полученное экспериментальным путем:

$$f = \operatorname{tg} \left\{ 37,376 + 0,886 \left[\operatorname{arctg}(0,62 - 0,085d) + 1,118W \right] \right\}. \quad (8)$$

Из приведенных зависимостей видно, что усадка слоя шихты в начальный период спекания определяется как ее температурой t_w и влажностью W , а также средним диаметром гранул d , так и уровнем H шихты в промежуточном бункере.

Сравнение зависимостей усадки, рассчитанных по формуле (7), с ее значениями, полученными экспериментально, показало достаточно высокое совпадение прогнозируемых и опытных данных. Средняя по модулю ошибка не превышает 0,5 %. Проверка математической модели с использованием критерия Фишера в диапазонах изменения переменных $H = 1,35 \pm 0,85$ м, $W = 8,2 \pm 0,5$ %, $d = 4,5 \pm 2,0$ мм подтвердила ее адекватность реальному процессу усадки шихты.

Полученные результаты исследований и математического моделирования усадки шихты в начальный период спекания позволили разработать подсистему поддержки принятия решений для АСУ ТП агломерации. В основу этой подсистемы была положена математическая модель усадки слоя, на базе которой реализована система регулирования оптимальной влажности агломерационной шихты. В соответствии с алгоритмом принятия решения, по значениям среднего диаметра гранул шихты и ее уровню в промежуточном бункере при помощи математической модели осуществляется поиск значений влажности шихты, при которой достигается минимальная усадка. После этого найденное значение оптимальной влажности рекомендуют в качестве задания для системы автоматического регулирования процесса увлажнения шихты.

Программное обеспечение подсистемы поддержки принятия решений и графический интерфейс пользователя реализованы с помощью среды визуального объектно-ориентированного программирования «Delphi 6» на языке «Object Pascal».

В главном окне подсистемы принятия решений (рис. 1.) приводится мнемосхема участка подготовки шихты к спеканию и транспортировке ее на агломерационную ленту, а также параметры, с кото-

рыми работает оператор АРМ и кнопки управления.

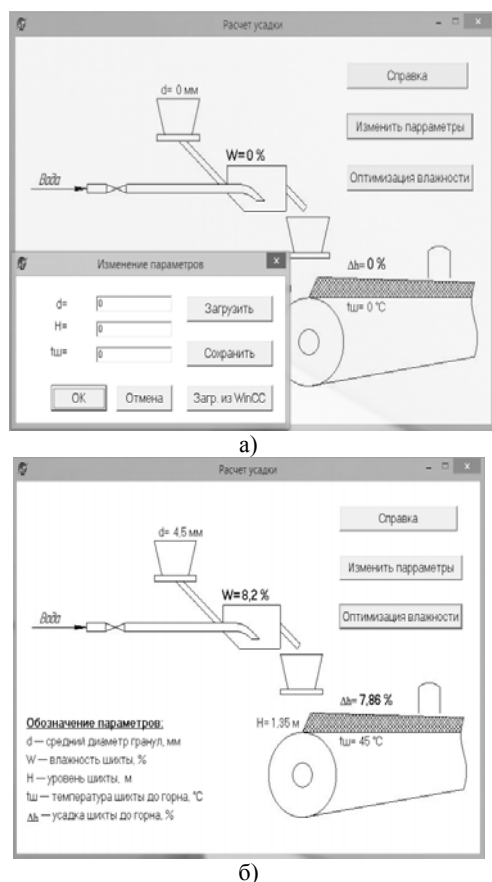


Рисунок 1 - Главное окно подсистемы принятия решений

При нажатии кнопки «Справка» скрываются все объекты, кроме технологической линии, на которой появляются комментарии для каждого элемента структуры и кнопка возврата в главное окно.

Кнопка «Изменить параметры» открывает соответствующее окно, при этом основная форма блокируется. На новой форме (рис. 1,а) доступны поля ввода для переменных и кнопки «ОК», «Отмена», «Загрузить», «Сохранить», «Загр. из При помощи

кнопок «Сохранить» и «Загрузить» WinCC». данные программы и результаты вычислений сохраняются в файле «config.ini» и загружаются в таблицу расчетов для архивирования. Кнопка «Загр. из WinCC» передает значения переменных параметров из соответствующей SCADA. После нажатия кнопки «ОК», данные заносятся в программу и выводятся на главный экран. После нажатия кнопки «Оптимизация влажности» программа для заданных значений уровня шихты в промежуточном бункере и среднего диаметра гранул определяет влажность шихты, при которой достигается минимальная усадка и выводит их значения на экран (рис. 1,б). Одновременно с этим в супервизорном режиме корректируется задание в системе автоматического регулирования оптимальной влажности шихты и обеспечивается поддержание усадки на минимальном уровне, создаются наилучшие газодинамические свойства шихты, уложенной на агломерационную ленту, а, следовательно, и условия ее спекания.

Подсистема поддержки принятия решений интегрирована в АСУТП при помощи кода, который из SCADA-системы WinCC заносит в файл «config.ini» входные значения для расчета усадки шихты:

```
WritePrivateProfile StringA(«First»,
«FirstKey»,«testFirstKey»,«d:\TEMP\initest.ini»),
```

где Write – запись; String – тип записываемой переменной; «First» – область записи в файле; «FirstKey» – имя переменной в файле; «testFirstKey» – значение переменной; «d:\TEMP\initest.ini» – адрес *.ini.

Выводы. Реализована подсистема поддержки принятия решений для АСУТП агломерации, позволяющая осуществлять регулирование оптимальной влажности шихты на основе аналитического поиска минимального значения усадки слоя при заданных технологических параметрах.

Бібліографічний список

1. **Коротич, В. И.** Газодинамика агломерационного процесса [Текст] / В. И. Коротич, В. П. Пузанов. – М. : Металлургия, 1969. – 208 с. – Библиогр.: с. 207. – 2000 экз.
2. **Половой, П. А.** Исследование усадки слоя на агломашине [Текст] / П. А. Половой, В. П. Пузанов, А. Н. Николаенко и др. // Известия Вузов. Черная металлургия. – 1978. – № 8. – С. 32-35. – Библиогр.: с. 35.
3. **Николаенко, А. Н.** Математическая модель усадки слоя шихты в начальный период спекания [Текст] / А. Н. Николаенко, В. И. Гранковский, В. Н. Погорелов и др. // Известия Вузов. Черная металлургия. – 1983. – № 2. – С. 9-12. – Библиогр.: с. 12.
4. **Половой, П. А.** Вопросы оптимизации загрузки шихты в промежуточный бункер [Текст] / П. А. Половой, В. И. Гранковский, М. Ю. Пазюк и др. // Известия Вузов. Черная металлургия. – 1978. – № 6. – С. 28-31. – Библ.: с. 31.

Стаття надійшла до редакції 22.04.2015 р.
Рецензент, проф. М.Ю. Пазюк