

В.И. ГОЛОВКО, д-р техн. наук, проф., М.А. РЫБАЛЬЧЕНКО, аспирант,
А.Н. СЕЛЕГЕЙ, канд. техн. наук, Национальная металлургическая академия Украины

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ДОЗ ШИХТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ С ЦЕЛЬЮ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИХ СЕКУНДНЫХ ОБЪЕМОВ

Рассмотрено перспективное направление совершенствования технологии загрузки доменной печи, которое заключается в смешивании шихтовых материалов перед подачей в печь. Показано, что принципиальным решением задачи управления смешиванием компонентов является измерение геометрических параметров порции на конвейере в реальном масштабе времени. Полученное значение высоты слоя материала на конвейере необходимо для вычисления текущей производительности загрузки конвейера.

Показано, что секундный объем материала, расположенного на ленте, прямо пропорционален средней площади поперечного сечения и скорости движения ленты. Форма сечения дозы шихтовых материалов на ленте определена исходя из предположений о том, что материал расположен на ленте слоем, ограниченным сверху и снизу дугами окружности. При этом касательные ограничивающей сверху дуги, проходящие через точки пересечения с лентой, наклонены к горизонтали под углом естественного откоса материала.

Получены выражения для определения численного значения геометрических параметров порции шихтовых материалов на конвейере. Выполнены экспериментальные исследования с измерением высоты слоя дозы шихтовых материалов на конвейере в различных сечениях. В результате обработки осциллограмм записи высоты слоя материалов были получены численные значения высоты доз шихтовых материалов. Полученные результаты производительности загрузки конвейера агломератом подтвердили, что расчеты секундных объемов являются достаточно точными.

Предложена методика расчета секундных объемов шихты на основании информации о высоте загрузки конвейера, которая позволяет установить характер и величину неравномерности загрузки конвейера коксом, агломератом и окатышами в единицу времени.

Получены результаты производительности загрузки конвейера агломератом, определяемые на основании показаний трех датчиков геометрии дозы, подтвердили, что расчеты секундных объемов с использованием предложенных выражений являются достаточно точными. Так, например, при дозе агломерата в 22 м^3 ошибка в вычислениях составила менее 1,5 %. При определении секундных объемов на основании одного датчика геометрии дозы, ошибка составила 5,5 %.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Перспективным направлением совершенствования технологии загрузки является разработка приемов загрузки многокомпонентных порций (смеси рудных материалов и кокса).

Анализ исследований и публикаций. Исследования, выполненные под руководством проф. В.И. Логинова [1,2] показали, что загрузка в печь смеси рудных материалов и кокса является одним из способов получения равномерного распределения рудной нагрузки по сечению печи. Этот технологический прием обеспечивает интенсификацию тепло-массообменных и физико-химических процессов в слое в основном за счет более равномерного распределения газа в столбе шихтовых материалов.

Таким образом, введение доменной плавки с использованием порций многокомпонентной шихты, обеспечивающих максимальное использование пропускной способности системы загрузки, позволит улучшить газодинамику плавки, повысить эффективность использования рабочего пространства печи и увеличить ее производительность, а также уменьшить удельный расход кокса.

Вместе с тем из анализа проведенных работ [3-7] по смешиванию различных материалов на доменных печах большого объема следует, что задача формирования многокомпонентных порций шихты на конвейере не решена.

Решение этой задачи заключается в разработке системы управления формированием на сборном конвейере многокомпонентной порции шихты с учетом заданного расположения компонентов, их соотношения в порции, суммарной объемной производительности конвейера, переменной геометрии выгружаемого сыпучего материала во взаимосвязи с оперативной информацией о ходе процесса смешивания.

Общими требованиями для порций любой структуры следует считать минимизацию длины порции на конвейере, транспортирование порций с минимальным транспортным запаздыванием и предотвращение перегруза конвейера с последующим сходом материала на ведомом барабане конвейера, что может повлечь аварийную остановку всей шихтоподачи;

Принципиальным решением задачи управления смешиванием компонентов является изменение геометрических параметров порции на конвейере в реальном масштабе времени, оценки динамических и расчетных параметров в темпе измерений, оперативного предупреждения аварийной ситуации. Полученное значение высоты слоя материала на конвейере необходимо для вычисления текущей производительности загрузки конвейера в реальном масштабе времени

Постановка задачи. Решение данной задачи требует определения секундных объемов, позволяющих установить характер и величину неравномерности загрузки конвейера коксом, агломератом и окатышами в единицу времени.

Изложение материала и исследований. Секундный объем прямо пропорционален средней площади поперечного сечения материала, расположенного на ленте, и скорости движения ленты $v_{кн}$

$$V_{м.м} = \frac{(S_t + S_{t-1} + \sqrt{S_t \cdot S_{t-1}})}{3} \cdot v_{кн}, \quad (1)$$

где t - текущее время поступления материала на конвейер; S_t - площадь поперечного сечения в момент времени t ; S_{t-1} - площадь поперечного сечения в момент времени $(t-1)$.

Относительно формы сечения дозы существует ряд предположений, рассмотренных, например, в работе Н.С. Полякова и И.Г. Штокмана [8], на основании которых можно выразить площадь S_t через ширину поперечного сечения материала. Так, К. Штуммелен предложил считать, что материал расположен на ленте слоем, ограниченным сверху дугой окружности, касательные которой АВ и СВ в точках А и С пересечения с лентой наклонены к горизонтали под углом естественного откоса ρ_o (рис. 1).

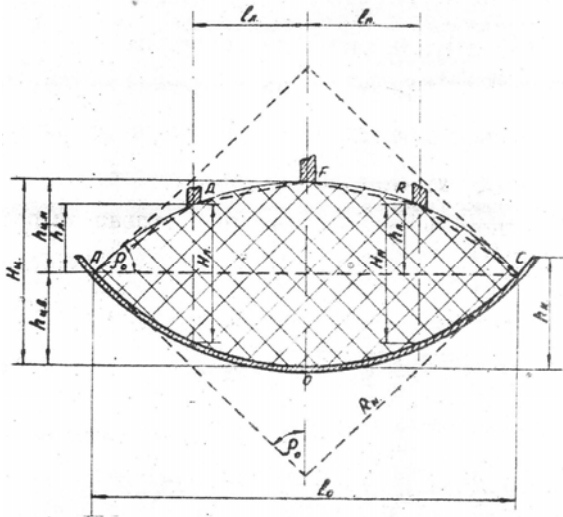


Рис. 1. Форма сечения материала на конвейере

Ограничение материала снизу осуществляется лентой конвейера, поперечное сечение которой является частью окружности. Проверка этого предположения, выполненная по формуле

$$Z_k = \sqrt{l_k^2 + (16/3)h_k^2} \quad (2)$$

где Z_k - длина дуги, образованной в сечении лентой конвейера; l_k, h_k - соответственно ширина и высота сегмента, образованного лентой конвейера показала, что допущение является правильным, так как отклонение Z_k от действительной менее 0,5 %. Тогда радиус этой части окружности определится по формуле

$$R_k = \frac{l_k^2 + 4h_k^2}{8h_k} \quad (3)$$

Текущее значение величины $h_{ц.в.}$ (см. рис. 1) получим из уравнения

$$h_{ц.в.} = R_k - \sqrt{R_k^2 - (l_o^2/4)}, \quad (4)$$

где l_o - текущее значение ширины поперечного сечения материала.

На основании работы [8], величина $h_{ц.н.}$ будет равна

$$h_{ц.н.} = \frac{l_o}{2} \cdot \operatorname{tg} \frac{\rho_o}{2}; \quad (5)$$

$$h_{ц.н.} = H_u - h_{ц.в.}, \quad (6)$$

где H_u - текущее значение высоты слоя материала.

Решая совместно уравнения (1)-(3), после преобразований получим

$$l_o = \frac{2 \left[\operatorname{tg} \frac{\rho_o}{2} (H_u - R_k) \right] \pm \sqrt{\operatorname{tg}^2 \frac{\rho_o}{2} (H_u - R_k)^2 - \left(\operatorname{tg}^2 \frac{\rho_o}{2} + 1 \right) (H_u - 2H_u R_k)}}{\operatorname{tg}^2 \frac{\rho_o}{2} + 1} \quad (7)$$

Величина площади поперечного сечения материала может быть рассмотрена в виде суммы

$$S_t = S_e + S_n, \quad (8)$$

где S_e - площадь поперечного сечения материала, ограниченная прямой АС и снизу кривой АОС; S_n - площадь поперечного сечения материала, ограниченная сверху ломанной АД FRC и снизу прямой АС.

С учетом того, что длина $\widehat{AOС}$ равна

$$Z_e = \sqrt{l_o^2 + (16/3)h_{ц.е}^2} \quad (9)$$

Численное значение площади S_e определится из выражения:

$$S_e = \frac{R_k}{2} \left(\sqrt{l_o^2 + (16/3)h_{ц.е}^2} - l_o \right) + \frac{l_o h_{ц.е}}{2} \quad (10)$$

Для упрощения вычислений, с некоторым запасом в сторону уменьшения возможной производительности конвейера, можно заменить \widehat{AFC} ломанной линией ADFRC. В этом случае величина S_e определится из выражения

$$S_n = \frac{1}{2} \left\{ \left(\frac{l_o}{2} - l_l \right) h_l + (h_l + h_{ц.н}) l_l + \left(\frac{l_o}{2} - l_n \right) h_n + (h_n + h_{ц.н}) l_n \right\}, \quad (11)$$

где l_l, l_n - соответственно расстояние от оси левого и правого датчика до оси центрального; h_l, h_n - соответственно текущее значение высоты слоя материала от прямой АС до точки D и R.

Численное значение h_l будет равно

$$h_l = h_{ц.н} - [H_{ц} - (L_{ц} - L_l) - H_l], \quad (12)$$

где $L_{ц}, L_l$ - соответственно расстояние по вертикали от места крепления центрального и левого датчика до ленты конвейера; $H_{ц}$ - высота сечения материала в точке его соприкосновения с левым датчиком.

Величина h_n определяется аналогично h_l .

С другой стороны, радиус окружности, дуга которой ограничивает материал сверху, определится из выражения [8]

$$R_n = l_o / 2 \sin \rho_o \quad (13)$$

С учетом того, что длина \widehat{AFC} равна

$$Z_n = \sqrt{l_o^2 + (16/3)h_{ц.н}^2} \quad (14)$$

Численное значение площади S_n составит

$$S_n = \frac{R_n}{2} \left(\sqrt{l_o^2 + (16/3)h_{ц.н}^2} - l_o \right) + \frac{l_o \cdot h_{ц.н}}{2} \quad (15)$$

Необходимо отметить, что расчет секундных объемов до момента касания материалом боковых датчиков и в дальнейшем при установке в вертикальное положение одного из них осуществляется на основании показаний перемещения центрального датчика.

Таким образом, были проведены измерения высоты слоя дозы на конвейере в различных сечениях.

Для этого на специальной раме, установленной на наклонном конвейере, были укреплены три датчика флажкового типа, свободно подвешенные на подшипниках качения (рис. 2).

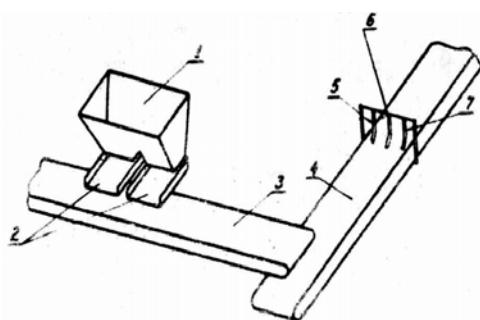


Рис. 2. Схема расположения оборудования и установки датчиков: 1 - весовая воронка; 2 - питатели; 3 - сборный конвейер; 4 - наклонный конвейер; 5 - левый датчик; 6 - центральный датчик; 7 - правый датчик

Измерительный сигнал снимался с реохордов, установленных на валах этих датчиков и регистрировался с помощью осциллографа Н-700 и другой аппаратуры.

Таким образом, высота и длина слоя материала фиксировались в трех сечениях: центральной (датчик № 1, установленный по оси конвейера); левом (датчик № 2) и правом (датчик № 3).

Расстояние между осями флажков составляло 450 мм, ширина флажков 150 мм.

Высота слоя измерялась в трех сечениях дозы в функции угла *поворота* флажков от вертикальной оси.

В результате обработки осциллограмм записи высоты слоя материалов были получены численные значения высоты доз шихтовых материалов.

Полученные результаты производительности загрузки конвейера агломератом подтвердили, что расчеты секундных объемов с использованием выражения (11) являются достаточно точными.

Так, например, при дозе агломерата в 22 м³ ошибка в вычислениях составила менее 1,5 %.

При определении секундных объемов, где величина S_i была вычислена по формуле (15), ошибка составила 5,5 %.

В связи с этим, для получения статистических данных производительности загрузки конвейера шихтовыми материалами, секундные объемы определялись на основании показаний трех датчиков геометрии дозы.

При этом, угол естественного откоса кокса и агломерата был принят равным 43°, а окатышей - 34°. Результаты статистической обработки загрузки конвейера представлены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты статистической обработки загрузки конвейера

Материал	Время t , с	Секундный объем, м ³ /с		Отклонение секундного объема, м ³ /с		Центральная часть, м ³ /с	
		головная часть $M\{V_{Г}\}$	хвостов, часть $M\{V_{К}\}$	головная часть $\sigma\{V_{Г}\}$	хвостов, часть $\sigma\{V_{К}\}$	$M\{V_{ц}\}$	$\sigma\{V_{ц}\}$
Кокс	1	0,02	0,77	0,036	0,113	0,85	0,09
	2	0,03	0,57	0,011	0,164		
	3	0,07	0,37	0,050	0,192		
	4	0,13	0,22	0,046	0,173		
	5	0,23	0,13	0,068	0,126		
Кокс	6	0,35	0,07	0,082	0,082	0,66	0,070
	7	0,47	0,05	0,092	0,049		
	8	0,58	0,03	0,101	0,041		
	9	0,68	0,02	0,106	0,013		
	10	0,74	0,017	0,109	0,008		
	11	0,77	0,015	0,113	0,003		
	12	0,80	0,011	0,090	0,001		
Агломерат	13	0,83	0	0,090	0	0,66	0,070
	1	0,06	0,65	0,004	0,093		
	2	0,08	0,55	0,014	0,098		
	3	0,13	0,42	0,029	0,092		
	4	0,19	0,29	0,042	0,072		
	5	0,25	0,19	0,049	0,048		
	6	0,32	0,13	0,050	0,030		
	7	0,39	0,09	0,054	0,020		
	8	0,45	0,07	0,067	0,011		
	9	0,51	0,06	0,074	0,005		
Окатыши	10	0,58	0,06	0,106	0,002	0,66	0,07
	1	0,07	0,67	0,011	0,093		
	2	0,12	0,59	0,029	0,093		
	3	0,19	0,49	0,040	0,092		
	4	0,26	0,37	0,046	0,072		
	5	0,32	0,26	0,054	0,048		
	6	0,39	0,18	0,062	0,03		
	7	0,46	0,13	0,066	0,02		
	8	0,53	0,09	0,069	0,011		
	9	0,57	0,07	0,082	0,005		
	10	0,60	0,06	0,083	0,002		

Закон распределения случайных величин носит нормальный характер. Соответствие эмпирических и теоретических частот было проверено по критерию Пирсона.

Таким образом, предложена методика расчета секундных объемов шихты на основании информации о высоте загрузки конвейера. Полученные результаты производительности загрузки конвейера агломератом, определяемые на основании показаний трех датчиков геометрии

дозы, подтвердили, что расчеты секундных объемов с использованием предложенных выражений являются достаточно точными. Так, например, при дозе агломерата в 22 м^3 ошибка в вычислениях составила менее 1,5 %.

При определении секундных объемов на основании одного датчика геометрии дозы, ошибка составила 5,5 %.

Список литературы

1. Влияние смешивания железорудного сырья с коксом на газодинамические условия и технико-экономические показатели доменной плавки / **В.И. Логинов, А.Л. Берин, С.М. Соломатин** [и др.] // Сталь. – 1977. - №5. – С. 391-394.
2. Работа доменной печи при совместной загрузке железорудных материалов и кокса в скип / **В.И. Логинов, С.М. Мусиенко, Д.В. Воронков** [и др.] // Сталь. – 1987. - №12. – С.7-12.
3. **Праздников А.В., Клоцман Е.Я., Шутылев Ф.М., Головкин В.И.** и др. «Способ подачи шихтовых материалов в доменную печь». Авторское свидетельство СССР № 694446. МПК С21В7/20. Заявка № 2380955. Приоритет изобретения 01.07.1976г. Опубликовано 30.10.1979 бюл. № 40.
4. **Большаков В.И., Иванча Н.Г.** Формирование смешанных порций шихтовых материалов на доменном конвейере//Металлургическая и горнорудная промышленность, 2002. - №6. - С.79-83.
5. Авторское свидетельство СССР № 1049549. МПК С21В7/20. Способ управления механизмами транспортной шихтоподдачи доменных печей / **Золотницкая Г.Д., Френкель М.М., Бургутин Б.Г., Гарбуз Е.Я., Клоцман В.И., Головкин А.С. Гуров.** - Заявка № 3358183. Приоритет изобретения 26.11.1981 г. Опубликовано 23.10.1983 бюл. № 39.
6. **Порх В.И.** «Способ управления механизмами транспортной шихтоподдачи доменных печей». Патент РФ № 2016068. МПК С21В7/20. Заяв. 23.10.1991; опубл. 15.07.1994.
7. Пат.79643 Украина, МПК(2013.01) С21В7/00, С21В7/04,(2006.01). Способ подачи шихтовых материалов в доменную печь / **Верховская А.А., Головкин В.И., Иващенко В.П., Рыбальченко М.А.**; заявитель и патентообладатель НМетАУ (Украина) - № U201213017; заявл. 15.11.12; опубл. 24.04.13,Бюл.№8.
8. **Поляков Н.С., Штокман И.Г.** Основы теории и расчеты рудничных транспортных установок. Научно-техническое издательство литературы по горному делу: М., 1962.

Рукопись поступила в редакцию 14.04.15

УДК 62-503.56:622.73

В.В. ТРОНЬ, канд. техн. наук, доц. **Ю.В. ГУЛЯЄВА**, магістрант
Криворізький національний університет

ОПТИМАЛЬНЕ І МОДАЛЬНЕ КЕРУВАННЯ СТАДІЄЮ ЗБАГАЧЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІЗНОВИДІВ ЗАЛІЗОРУДНОЇ СИРОВИНИ

Наведено результати дослідження методу оптимального керування стадією збагачення технологічних різновидів залізорудної сировини. Виконано аналіз використовуваних підходів до оптимального автоматизованого керування млинами першої стадії подрібнення та критеріїв оцінювання ефективності процесу подрібнення. У процесі дослідження основні регулюючі впливи як: витрата руди та води у млин; як вихідні керувані показники - вміст заліза у хвостах першої стадії збагачення та вміст заліза у концентраті. Розраховано та виконано порівняльний аналіз перехідних процесів системи керування та реакцію системи на випадкові вхідні сигнали. Досліджено роботу системи керування при застосуванні модальних регуляторів та класичного ПІД-регулятора. Здійснено параметричний синтез керування і розроблено комп'ютерну модель системи у середовищі Simulink. Представлено схеми підключення трьох регуляторів та результати моделювання процесу керування першою стадією збагачення при використанні модального, астатичного модального, ПІД-регуляторів. Виконано порівняльний аналіз одержаних у результаті моделювання показників вмісту заліза у хвостах.

Ключові слова: оптимальне керування, подрібнення руди, модальний регулятор, ПІД-регулятор.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Найбільш енергоємною операцією в збагаченні є подрібнення руди, на яку припадає понад 60 % витрат електроенергії. Енергоспоживання технологічного збагачувального обладнання значною мірою визначається характеристиками руди, що надходить на переробку. Зокрема, коефіцієнт кореляції між витратами електроенергії і якістю руди становить 0,71-0,74 [1]. Коливання характеристик технологічних різновидів збагачуваної руди також негативно впливає на якість вітчизняного залізорудного концентрату. Середнє значення вмісту корисного компоненту в концентраті по залізорудних підприємствах України становить 64-65 %, в той час коли конкурентоспроможною на