

В.И.Большаков, А.А.Жеребецкий, В.В.Лебедь

НОВЫЙ СПОСОБ РАСЧЕТА ОКРУЖНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ШИХТЫ

Институт черной металлургии НАН Украины

Представлен новый способ расчета окружного распределения шихтовых материалов на колошнике доменной печи, оборудованной бесконусным загрузочным устройством (БЗУ). Способ оценки окружного распределения шихты (ОРШ) основан на представлении слоев шихтовых материалов, формируемых на колошнике после выгрузки порций цикла загрузки, в виде свертки параметров потока материалов, которые определяются программой загрузки и конструктивными параметрами загрузочного устройства. Расчет ОРШ отражает распределение материалов и является в большей степени оценкой программы загрузки, приближенно характеризует распределение шихтовых материалов по поверхности засыпи на колошнике, как по окружности, так и по радиусу. Приведен пример применения разработанного способа для сравнительного анализа различных вариантов режима загрузки.

Ключевые слова: доменная печь, бесконусное загрузочное устройство, шихтовые материалы, окружное распределение, расчет

Современное состояние вопроса. Формирование рационального распределения шихтовых материалов по радиусу колошника является необходимым условием обеспечения высокой эффективности доменной плавки. Равномерный ход процессов плавки по окружности доменной печи, в значительной мере определяемый равномерностью окружного распределения шихты (ОРШ), позволяет, при прочих равных условиях, увеличить степень использования восстановительной способности газов и уменьшить расход энергоносителей на выплавку чугуна [1-3].

На доменных печах, оборудованных БЗУ, существуют различные приемы управления ОРШ, различающиеся по степени влияния. Однако влияние различных факторов образования окружной неравномерности (в зависимости от конструктивных особенностей печи и типа применяемого загрузочного устройства) индивидуальны для каждой печи и могут существенно изменяться в процессе эксплуатации агрегата [4]. Кроме того значительное влияние на равномерность работы печи по окружности оказывает нерациональное использование приемов управления ОРШ, что, в конечном счете, приводит к технологическим расстройкам печи [1, 4].

Поэтому для эффективного управления распределением материалов по окружности и определения степени влияния основных факторов образования его неравномерности, необходимо применять соответствующие методические основы расчета показателей распределения. Разработка математических основ расчета показателей ОРШ позволит существенно облегчить оценку причин возникновения окружной неравномерности распределения шихты и обеспечить выбор корректирующих мероприятий по его улучшению.

Описание разработанного способа расчета.

Способ расчета основан на представлении слоя шихты (кокса или железорудных материалов), формируемого на колошнике после выгрузки одной порции цикла загрузки, в виде двухмерной матрицы, которая отображает свертку параметров потока материалов (ширина потока, распределение его плотности, объемный и массовый расход и др.), определяемые программой загрузки и конструктивными параметрами загрузочного устройства (рис.1).

В основе расчета находится матрица «сегмент-сектор» (рис.2), которая представляет собой развернутое двухмерное отображение распределения потока шихтовых материалов (массы) каждой порции цикла загрузки по сечению колошника. Матрица имеет размерность

$$n \times m = \frac{R_{\text{кол}}}{100} \times [360^\circ * n_{\text{об}}],$$

где 100 – дискретность деления радиуса окружности колошника печи на участки-сегменты, $n_{\text{об}}$ – количество оборотов лотка, на которые выгружается порция материала (по умолчанию – 15 оборотов).

Составными элементами матрицы «сегмент-сектор» являются сегменты (рис.2), образующиеся путем деления каждого из 360 секторов окружности колошника на геометрические фигуры, с шагом $\Delta R = \frac{R_{\text{кол}}}{100}$.

Сегмент характеризуется двумя группами параметров, определяющих его расположение по окружности и радиусу колошника, а также вид и массу материала, который укладывается на колошник в его пределах во время выгрузки порций шихты (рис.3).

Поток шихтовых материалов идентифицируется по различным признакам и обладает группой характеристик: изменением расхода материалов во время выгрузки, шириной потока и распределением его интенсивности, точками встречи середины потока с поверхностью засыпи и др. (рис.3). В процессе расчета выгрузки порции шихтовых материалов осуществляется пооборотное заполнение ячеек (сегментов) матрицы «сегмент-сектор» значениями, отображающими количество (массу) материала. Далее, для удобства оценки, матрица с размерностью $n \times m$ конвертируется в $n \times 360$, которая представляет собой распределение слоя материалов порции по окружности колошника.

Данный подход позволяет существенно упростить алгоритм расчета и его математическое описание, а также позволяет оценивать влияние различных факторов образования окружной неравномерности распределения материалов по всей окружности колошника.

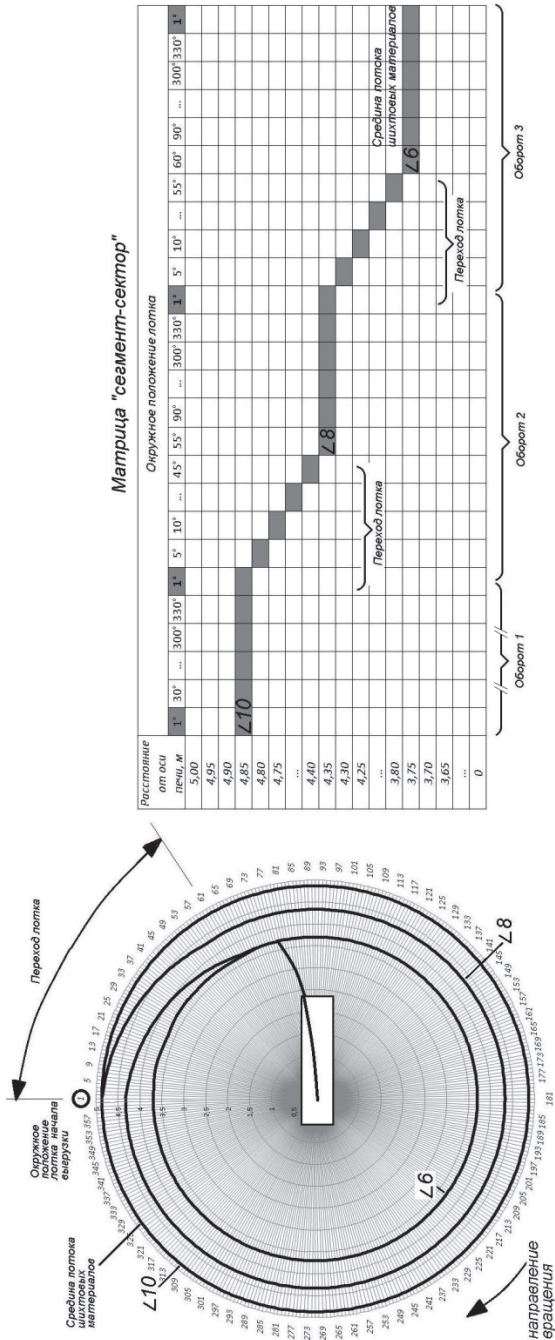


Рис.1. Схематическое отображение формирования двумерной матрицы «секмент-сектор»

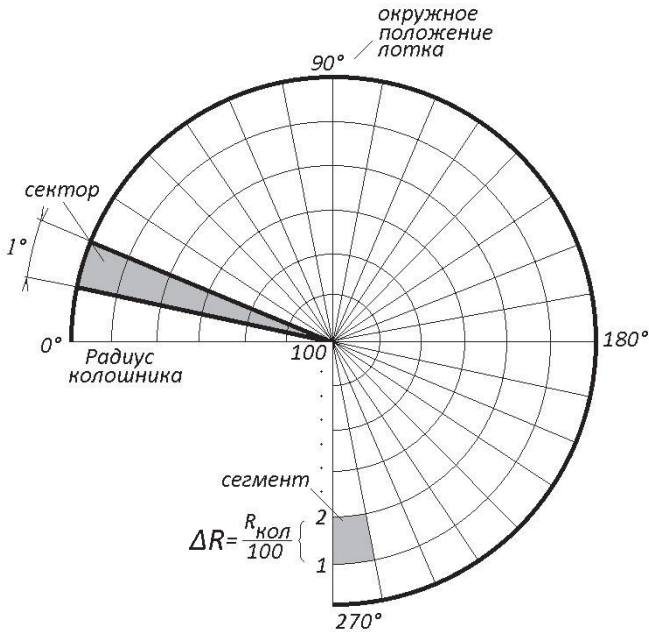


Рис.2. Схема деления окружности колошника на сегменты

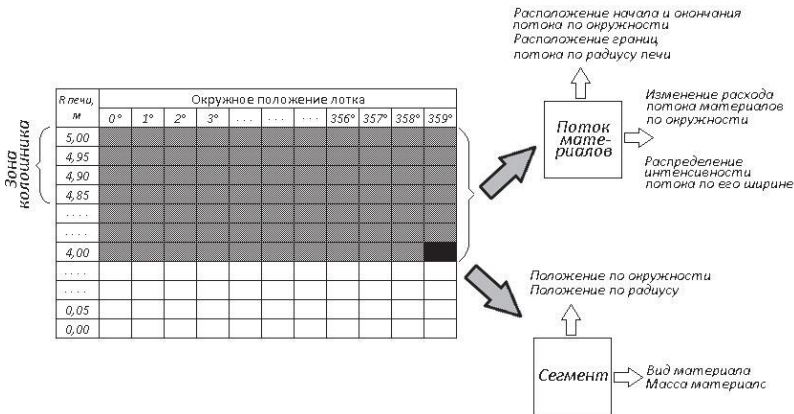


Рис.3. Матрица «сегмент-сектор»

В качестве основных исходных данных для расчета используются:

- конструктивные параметры доменной печи и загрузочного устройства (радиус колошника, скорость вращения лотка, угловые положения лотка, время движения шихтовых материалов по трактам загрузочного устройства, точки встречи середины потока материалов с поверхностью засыпи, скорость изменения углового положения лотка при движении от периферии к оси и наоборот, расходная характеристика шихтового затвора,

ширина потока материалов при различных угловых положениях и распределение его плотности и др.);

- программа загрузки печи (распределение материалов по угловым позициям лотка в виде количества оборотов, массы порций железорудных материалов и кокса, направление вращения распределителя, а также его окружные положения начала выгрузки каждой порции цикла загрузки и др.);

- режим работы лотка БЗУ (многокольцевой, спиральный, секторный).

В качестве основных допущений приняты следующие:

- точки встречи середины потока материалов с поверхностью засыпи задаются;

- скорость перехода лотка между позициями постоянна и, по умолчанию, составляет $1,2 \text{ }^\circ/\text{сек}$;

- не учитываются процессы перераспределения материалов по поверхности засыпи.

Расчет ОРШ отражает распределение материалов по угловым позициям лотка и является в большей степени оценкой программы загрузки, приближенно характеризуя распределение шихтовых материалов по поверхности засыпи на колошнике, как по окружности, так и по радиусу. Результаты расчета не дают точных фактических величин показателей распределения шихты на колошнике, а являются приближенным количественным их отображением. Однако и в таком варианте способ расчета позволяет оценивать эффективность режимов загрузки до их установки в системе управления технологическим процессом, сравнивать их с другими и при необходимости корректировать. Кроме того, алгоритм расчета позволяет выполнять количественную и качественную оценку локальных областей расположения незамкнутых колец (возникающих во время выгрузки порций материалов). Для этого используется распределение (по окружности колошника) сегментов колошника, в пределах которых находятся образованные области незамкнутых колец.

Результаты расчета ОРШ могут быть представлены в виде таблиц, графиков распределения рудных нагрузок, объемов шихтовых материалов или распределения незамкнутых колец по окружности.

Пример применения разработанного способа расчета ОРШ.

На исследованной доменной печи, объемом 3200 м^3 , оборудованной БЗУ фирмы «PaulWurth», в базовом периоде присутствовала заметная неравномерность окружного распределения шихтовых материалов и газов, что было установлено по показаниям различных средств контроля [5].

Формированию неравномерности распределения шихты и газов по окружности печи могут способствовать различные факторы [4]. Так, для условий исследованной печи наиболее существенными факторами являются: длительная загрузка печи при неизменных значениях окружных положений лотка для начала выгрузки порций цикла загрузки, нерациональное применение режима секторной загрузки и неравномерность рас-

пределения дутья и соотношения ПГ/дутье по фурмам. Ранее специалистами ИЧМ был разработан высокоэффективный прием управления ОРШ [6] основанный на применении различных программ чередования точек начала выгрузки порций шихты. Практика применения данного метода увеличения равномерности ОРШ показала, что выбор точек выгрузки необходимо осуществлять с учетом особенностей применяющихся программ загрузки, расположения оборудования системы загрузки и др.

На исследованной печи длительное время в системе управления загрузкой были установлены постоянные значения окружных точек начала выгрузки порций шихты (табл.1), при этом не учитывались другие параметры режима загрузки (вид материала порции, направление вращения лотка и др.).

Таблица 1. Режимы «перешагивания» точек начала выгрузки порций шихтовых материалов, применявшиеся в базовом и опытном периодах

| № порции | Вид материала, позиции лотка | Направление вращения лотка | Окружное положение лотка | |
|----------|------------------------------|----------------------------|--------------------------|----------------|
| | | | Базовый период | Опытный период |
| 1 | К 9-5 | правое | 0° | 0° |
| 2 | А 8-5 | правое | 20° | 45° |
| 3 | К 7-1 | правое | 40° | 90° |
| 4 | А 8-4 | правое | 60° | 135° |
| 5 | К 8-4 | правое | 80° | 180° |
| 6 | А 8-4 | правое | 100° | 225° |
| 7 | К 5-1 | правое | 120° | 0° |
| 8 | См 7-4 | правое | 140° | 270° |
| 9 | А 6-3 | правое | 160° | 315° |
| 10 | К 9-5 | левое | 180° | 270° |
| 11 | А 8-4 | левое | 200° | 315° |
| 12 | К 7-1 | левое | 220° | 0° |
| 13 | А 7-4 | левое | 240° | 45° |
| 14 | К 9-5 | левое | 260° | 90° |
| 15 | А 8-5 | левое | 280° | 135° |
| 16 | К 4-1 | левое | 300° | 270° |
| 17 | См 7-4 | левое | 320° | 180° |
| 18 | А 6-3 | левое | 340° | 225° |

Базовый режим «перешагивания» точек начала выгрузки порций для 18-ти строчной программы загрузки с однократным изменением направления вращения в рамках цикла загрузки представляет собой прогрессирующую последовательность от 0 до 340° с дискретностью 20° между моментами отрыва материалов от разгрузочной поверхности лотка и его попаданием на поверхность колошника при смене направления вращения лотка (табл.1). Распределение газов по окружности печи в этот период

характеризовалось достаточно большой неравномерностью – среднеквадратичное отклонение температур периферии составляло более 50°C . Для уменьшения неравномерности ОРШ была разработана и опробована специальная систематически изменяющаяся в течение цикла загрузки последовательность точек начала выгрузки порций по окружности, учитывающая запаздывание (табл.1).

Был выполнен расчет ОРШ разработанного и применявшегося режимов «перешагивания» точек начала выгрузки порций шихтовых материалов. По результатам расчета получены графики распределения незамкнутых колец по окружности колошника для различных периодов, которые отображают долю незамкнутых колец от общего количества оборотов лотка за цикл загрузки как по каждому виду материала (рис.4а, 5а), так и в целом (рис.4б, 5б).

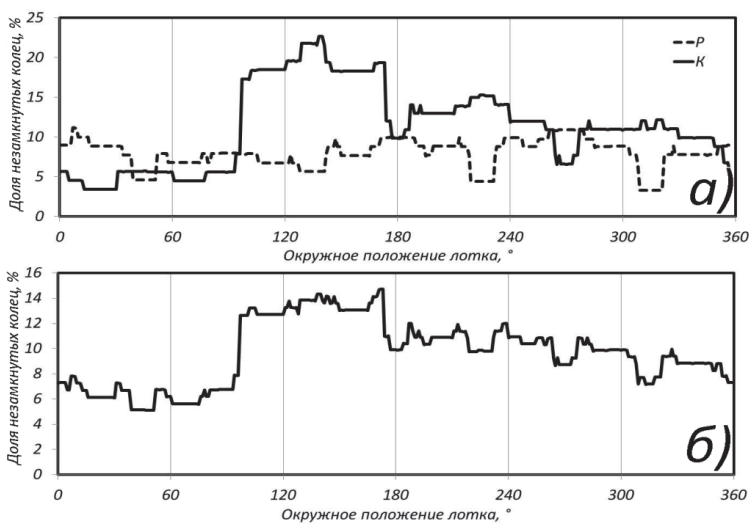


Рис.4. Распределение доли незамкнутых колец по окружности колошника отдельно по видам шихтовых материалов (а) и всего (б), образованных за цикл загрузки в базовом периоде

Из рис.4а видно, что в период использования базового режима «перешагивания» доля незамкнутых колец железорудных материалов распределена по окружности печи достаточно равномерно и составляет около 8% от общего количества оборотов. Средняя доля незамкнутых колец кокса имеет большее значение ($\sim 11\%$), а в секторе печи $90\text{--}180^{\circ}$ наблюдается ее локальное увеличение до $\sim 20\%$.

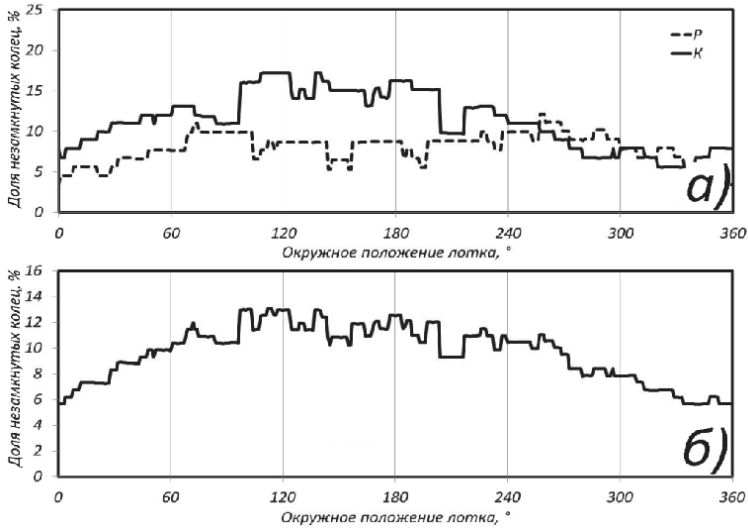


Рис.5. Распределение доли незамкнутых колец по окружности колошника отдельно по видам шихтовых материалов (а) и всего (б), образованных за цикл загрузки в опытном периоде

Применение рекомендованного режима позволило увеличить равномерность распределения незамкнутых колец кокса (рис.5а) по окружности колошника. Стоит также отметить, что средняя доля незамкнутых колец материалов сформированных за цикл загрузки в обоих периодах (рис.4б, 5б) осталась неизменной и составила $\sim 10\%$. Очевидно, применение различных режимов «перешагивания» точек начала выгрузки порций материалов для одной и той же матрицы загрузки не позволяет уменьшить долю незамкнутых колец, а лишь обеспечивает их перераспределение по окружности печи.

Результаты предварительного расчета подтвердила динамика изменения стандартного отклонения и коэффициента вариации температуры периферии в базовом и опытном периодах, показанная на рис. 6.

По результатам статистической обработки данных установлено, что использование рекомендованного режима в опытном периоде позволило (при сохранении стабильной средней температуры периферии на уровне $340-355^{\circ}\text{C}$) уменьшить среднеквадратичное отклонение температуры периферии с $48,2^{\circ}\text{C}$ до $36,5^{\circ}\text{C}$ и коэффициента вариации с $14,5\%$ до $10,1\%$. Как видно из рис.6, полученные результаты улучшения ОПШ сохранились в течении длительного времени (более 2,5 месяцев), что подтверждает эффективность опробованного режима. Тенденции улучшения равномерности распределения газового потока по окружности печи показали высокую сходимость с результатами расчета ОПШ, выполненного по новой методике.

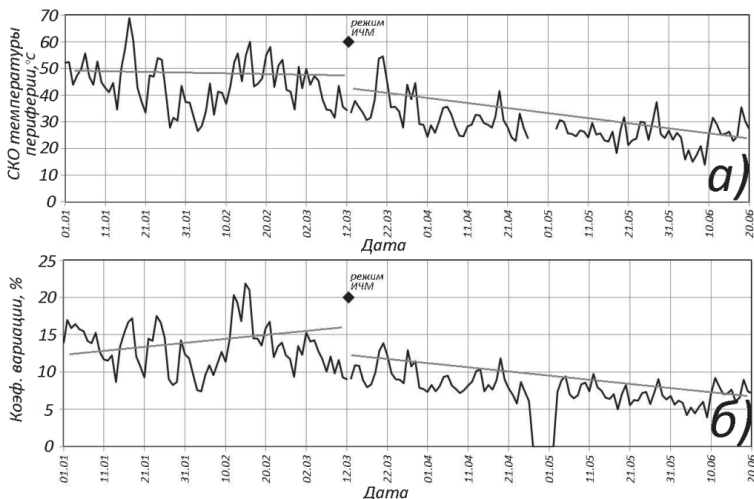


Рис. 6. Динамика изменения стандартного отклонения (а) и коэффициента вариации (б) температуры периферии до и после опробования рекомендованного режима перешагивания

Заключение. Изучению неравномерности окружного распределения шихты и газов в доменной печи посвящено большое количество исследований и разработок. Специалистами Института черной металлургии разработан новый способ оценки ОРШ, который основан на представлении слоев шихтовых материалов, формируемых на колошнике после выгрузки порций цикла загрузки, в виде свертки параметров потока материалов, которые определяются программой загрузки и конструктивными параметрами загрузочного устройства.

Расчет ОРШ отражает распределение материалов и является в большей степени оценкой программы загрузки, приближенно характеризую распределение шихтовых материалов по поверхности засыпи на колошнике, как по окружности, так и по радиусу. Простота алгоритма расчета обеспечивает ряд преимуществ: надежность получаемых результатов из-за отсутствия в расчете неопределенных исходных данных, возможность оперативного применения и простоту дальнейшего совершенствования.

Разработанный расчет позволяет оценивать влияние различных факторов образования окружной неравномерности распределения материалов по всей окружности колошника. Тенденции улучшения равномерности распределения газового потока по окружности печи в опытный период показали высокую сходимость с результатами расчета ОРШ, выполненного по новой методике.

1. *Большаков В.И.* Технология высокоэффективной энергосберегающей доменной плавки. – К., 2007. – 411 с.
2. *Грузинов В.К.* Управление газовым потоком в доменной печи программной загрузкой. – Свердловск. Metallurgizdat, 1960, с. 5-9 и 96-123.
3. *Бабарыкин Н.Н.* Основные закономерности распределения материалов на колошнике доменной печи. – В кн.: Доменный процесс по новейшим исследованиям. – М., Metallurgizdat, 1963.
4. *Большаков В.И., Лебедь В.В., Жеребецкий А.А.* Особенности управления окружным распределением шихты в доменных печах // «Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии». Сб. науч. тр. ИЧМ. – 2011. – №24. – С. 88-97.
5. *Совершенствование* распределения шихты на доменной печи объемом 3200 м³, оснащенной БЗУ. / В.И.Большаков, В.В.Лебедь, А.А.Жеребецкий, А.Н. Арзамасцев. // Сталь. – 2013. - №.1– С. 2-5.
6. *Большаков В.И.* Теория и практика загрузки доменных печей. – М.: Металлургия, 1990. – 256 с.

*Статья рекомендована к печати
докт.техн.наук А.Ф. Шевченко*

Большаков В.И., Жеребецкий А.А., Лебедь В.В.

Новий спосіб розрахунку колового розподілу шихти.

Представлено новий спосіб розрахунку колового розподілу шихтових матеріалів (КРШ) на колошнику доменної печі, обладнаної безконусним завантажувальним пристроєм (БЗП). Спосіб оцінки КРШ заснований на представленні шарів шихтових матеріалів, сформованих на колошнику після вивантаження порцій циклу завантаження, у вигляді згортки параметрів потоку матеріалів, які визначаються програмою завантаження і конструктивними параметрами завантажувального пристрою. Розрахунок КРШ відображає розподіл матеріалів і є більшою мірою оцінкою програми завантаження, наближено характеризує розподіл шихтових матеріалів по поверхні засипу на колошнику, як по колу, так і по радіусу. Наведено приклад застосування розробленого способу для порівняльного аналізу різних варіантів режиму завантаження.

Ключові слова: доменна піч, безконусний завантажувальний пристрій, шихтові матеріали, окружне розподіл, розрахунок

Bolshakov V.I., Zhrebetskiy A.A., Lebed V.V.

A new method for estimation the circumferential burden distribution.

Submit a new method of estimation the circumferential burden distribution (CBD) on the top of blast furnaces equipped BFCD. Method for estimation the CBD based on the presentation layer of charge materials which formed on the furnace top after unloading portions charge cycle as a convolution of the flow of materials, which are determined by the charging mode and design parameters BFCD. The calculation reflects the burden distribution and is an estimate of the charging mode and approximately characterizing the distribution of the burden materials on the furnace top as circumferentially and radially. Submit an example of use the developed method for the comparative analysis of different charging mode.

Keywords: blast furnace, without tapered boot device, charge materials, the circumferential distribution payment