

УДК 669.162.2:669.162.262

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

### **ОЦЕНКА ОКРУЖНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ШИХТЫ И ГАЗОВОГО ПОТОКА В ДОМЕННЫХ ПЕЧАХ**

Целью работы является обобщение существующих подходов к оценке неравномерности окружного распределения шихты (ОРШ) и газов с учетом особенностей современных доменных печей. Описаны существующие показатели неравномерности окружного распределения шихты (ОРШ) и газового потока в доменных печах. Показана актуальность совершенствования способов оценки и управления ОРШ на доменных печах, оснащенных БЗУ различной конструкции. Дальнейшее развитие приемов управления ОРШ требует совершенствования средств и способов контроля параметров, характеризующих окружное распределение шихты и газового потока.

**доменная печь, загрузочное устройство, окружное распределение шихты, газы, параметры, оценка**

**Современное состояние вопроса.** Обеспечение равномерного окружного распределения шихтовых материалов на колошнике является одной из составляющих уменьшения удельного расхода кокса [1]. Влияние различных факторов образования окружной неравномерности (в зависимости от конструктивных особенностей печи и типа применяемого загрузочного устройства) и их параметры индивидуальны для каждой печи и могут существенно изменяться в процессе эксплуатации агрегата. Поэтому изучению неравномерности окружного распределения шихты и газов в доменных печах посвящено большое количество исследований и разработок.

Для оценки окружного распределения применяются различные показатели неравномерности, большинство которых было разработано для доменных печей, оснащенных типовым конусным загрузочным устройством (КЗУ). Кроме того применение различных формул для вычисления показателей неравномерности ОРШ делает их зачастую несопоставимыми и затрудняет реальную оценку неравномерности. Методически неравномерность ОРШ тоже может оцениваться по-разному. Можно определять неравномерность ОРШ в одной подаче для конусных загрузочных устройств, в каждой порции или паре порций (подаче) для бесконусных загрузочных устройств, либо в цикле загрузки, который на разных печах может содержать различное количество порций или подач.

**Целью работы** является обобщение существующих подходов к оценке неравномерности окружного распределения шихты и газов с учетом особенностей современных доменных печей.

**Показатели неравномерности окружного распределения шихты.**

В.К.Грузинов [2] предложил обозначать неравномерность распределения объема материалов в воронке малого конуса термином «объемная неравномерность». Под «количественной неравномерностью» понимают различие масс материалов по окружности колошника, а различное соотношение отдельных фракций при этом создает «качественную неравномерность» [3].

Для оценки неравномерности окружного распределения шихты применяются относительные показатели, которые позволяют оценивать объемную и качественную (гранулометрическую) неравномерность распределения, из которых сегодня практически применяются следующие [4–8]:

$$\varphi = \frac{P_{max}-P_{min}}{P_{min}} \times 100\% \quad (1)$$

$$\varphi = \frac{P_{max}-P_{min}}{P_{общ}} \times 100\% \quad (2)$$

$$\varphi = \frac{P_{max}-P_{min}}{P_{cp}} \times 100\% \quad (3)$$

$$\varphi = \frac{P_{max}-P_{min}}{P_{cp}} \times a \times 100\% \quad (4),$$

где  $\varphi$  – коэффициент неравномерности, %;  $P_{общ}$  – общая масса материала, для которого делается оценка;  $P_{max}, P_{min}, P_{cp}$  – масса материала в одном из секторов колошника (обычно количество секторов равно шести), где находятся максимальная, минимальная масса и среднее значение массы в секторах  $P_{cp} = \frac{P_{общ}}{n}$ ;  $n$  – количество секторов;  $a$  – коэффициент, характеризующий долю мелких фракций в исследуемом материале.

Различные показатели неравномерности (1)–(4) ОРШ отличаются друг от друга применяемыми коэффициентами и числом секторов, используемых при проведении опытов, что не позволяет производить объективную оценку полученных результатов [9]. Одни исследователи [5] считают, что число секторов влияет на значения коэффициента, а другие [8] – что не влияет.

По мнению исследователей [9] используемое количество секторов ( $n = 6...12$ ) должно выбираться из условия получения точных результатов (большее значение) и снижения трудоемкости эксперимента (меньшее значение). В публикации [9] была выполнена оценка изменения значения коэффициентов (1)–(4) в зависимости от числа рассматриваемых секторов на основе их расчета в бункере типа воронка–конус. Так, коэффициенты (1), (3) являются наиболее представительными и для их расчета достаточно использовать 6–8 секторов. При определении неравномерности распределения отдельных фракций количество секторов следует увеличивать до 12. В исключительных случаях, вызванных особенностями работы системы загрузки (специальными режимами работы ВРШ), число секторов должно быть более 12. По мнению

исследователей [9] более стабильные результаты при оценке ОРШ показывает коэффициент (3), т.к. погрешность определения  $P_{cp}$  меньше, чем погрешность определения  $P_{min}$ .

Формула (3) также применяется и зарубежными исследователями [10] для оценки влияния БЗУ на ОРШ.

В публикации [11] коэффициент окружной неравномерности по формуле (3) определяется на основании изменения рудной нагрузки, суммарной массы и объема материала:

$$\varphi = \frac{B_{max} - B_{min}}{B_{cp}} \times 100\% \quad (5),$$

где  $B_{max}$ ,  $B_{min}$ ,  $B_{cp}$  – соответственно максимальная, минимальная и средняя величины рудной нагрузки, суммарной массы и объема материала в 12 секторах периферийной кольцевой зоны.

В публикации [12] выполнен анализ коэффициентов (1)–(4). Анализ показал, что при расчетах по формуле (1) коэффициент неравномерности будет завышен, а по формуле (2) в  $n$  раз занижен по сравнению с формулой (3). По этой причине ведущие исследователи распределения шихтовых материалов (В.К.Грузинов, В.П.Тарасов, А.Ф.Рыбцов, В.Л.Покрышкин, Д.А.Сторожик, В.И.Большаков), как правило, применяют для расчетов формулу (3). Это важно знать, поскольку приводимые в публикациях данные о величине коэффициента окружной неравномерности при исследовании на доменных печах, на физических и математических моделях, как правило, иногда без ссылки на формулу, использованную для их вычисления, рассчитываются по формуле (3).

Формула (4) предназначена для оценки окружного распределения мелких фракций, по структуре она отличается от формулы (3) лишь введением коэффициента  $a$ . По существу эта формула предполагает, что мелкие фракции попадают в каждый сектор в количестве, пропорциональном расположенному в нем массе материала, что практически никогда не соблюдается. Поэтому некоторыми исследователями считается применение этой формулы нецелесообразным [9, 12]. Если же исследователю известно распределение мелких фракций по секторам, то рассчитать коэффициент распределения мелочи нужно по формуле (3), подставляя в нее вместо массы материала в секторе, массу мелочи.

Для оценки неравномерности ОРШ на доменных печах, оснащенных роторным загрузочным устройством, применяется формула [12]:

$$\varphi = \sqrt{\frac{\sum_1^n (P_i - P_{cp})^2}{n}} \times 100\% \quad (6),$$

где  $P_i$  – масса материалов в каждом из секторов;  $P_{cp}$  – среднearифметическое значение величины материала в секторах;  $n$  – количество секторов.

Математический смысл формулы (6) представляет отношение среднеквадратичного отклонения от среднего в каждом из секторов (которое всегда меньше предельной разницы  $P_{max} - P_{min}$ ), разделенного на  $\sqrt{n}$ , к среднеарифметическому значению массы в секторах. По этим причинам формула (6) всегда будет давать значение коэффициента меньше, чем получаемое по формуле (3). Это значит, что коэффициент (6) нельзя сравнивать с коэффициентом (3), обычно приводимым в литературных источниках [12].

В публикации [13] выполнена оценка влияния отношения площади выходного сечения центральной трубы к площади шихтового затвора на ОРШ. Расчет осуществлялся с помощью формулы (7):

$$\varphi = \frac{n_{max} - n_{min}}{n_{\phi}} = \frac{1}{n_{\phi}} \quad (7),$$

где  $n_{min}$  – минимальное количество завершенных (полных) витков;  $n_{\phi}$  – фактическое (целое или дробное) количество витков;  $n_{max}$  – количество витков, округленное до максимального целого числа.

По мнению авторов [13] одной из причин возникновения неравномерности ОРШ является то, что материалы в момент открывания шихтового затвора движутся с наименьшим сопротивлением по поверхностям течи и центральной трубы, приобретают наибольшую скорость в зоне выходного отверстия центральной трубы перед попаданием на лоток и, как следствие, сходят с него на поверхность засыпи в большем количестве, образуя локальное утолщение ширины потока и ухудшение ОРШ. Авторами установлено, что для уменьшения негативного влияния этого явления необходимо, чтобы каждая порция шихтового материала выгружалась не менее чем на 3–4 полных оборота. Кроме того, для уменьшения ОРШ также необходимо, чтобы площадь выходного сечения центральной трубы была равна 0,5–0,6 площади шихтового затвора.

Подобную (7) формулу определения неравномерности ОРШ используют в публикациях [14, 3], однако смысл ее применения различен:

$$\varphi = \frac{K}{n} \times 100\% = \frac{1}{n_3} \times 100\% \quad (8),$$

где  $K$  – количество используемых при выгрузке данной порции угловых положений (кольцевых зон);  $n_3$  – количество оборотов лотка за время выгрузки порции и ее части в одну кольцевую зону.

В публикации [13] формулу (7) применяют для оценки неравномерности в секторах колошника печи, а в [1, 14] формула (8) используется для оценки неравномерности в секторах каждой кольцевой зоны, что позволяет получить более подробную оценку ОРШ.

Исходя из анализа публикаций коэффициенты окружной неравномерности, рассчитываемые по формулам (1)–(4), разрабатывались для доменных печей, оснащенных КЗУ. Формулы (6)–(8) разрабатывались для условий применения БЗУ.

### **Показатели неравномерности окружного распределения газов.**

Неравномерность окружного распределения газов обычно оценивается по температурам периферии, газоотводов, шахты, распара, заплечиков и в горне; содержанию двуокси углерода в газе по окружности печи; расходу дутья по фурмам [1, 15, 16].

Температура периферии позволяет получать достаточно оперативную информацию о степени развития периферийного газового потока, отражает различные явления в распределении шихтовых материалов и газового потока по окружности колошника доменной печи [2]. Еще одним немаловажным преимуществом является доступность информации, которая объясняется тем, что периферийные термпары (наряду с термпарами в газоотводах) установлены и находятся в рабочем состоянии практически на каждой доменной печи, в отличие от остальных средств контроля газораспределения. Известны публикации, где обосновывается количество и высота установки периферийных термпар необходимые для наиболее достоверного и информативного контроля газового потока по окружности колошника [15, 17].

Также для оценки неравномерности распределения газового потока по окружности используются термпары, установленные в газоотводах. Однако нужно понимать, что колошниковый газ, поступающий в газоотводы, частично перемешивается и, следовательно, стабильные отклонения температур в соответствующих газоотводах будут наблюдаться только при достаточно высокой неравномерности газового потока по окружности.

Температура, измеряемая по окружности шахты, однозначно характеризует распределение газового потока в доменной печи, и этот параметр также используется для контроля неравномерности газораспределения. Однако показания термпар шахты в качестве информации для оперативного контроля и оценки распределения газового потока по окружности печи использовать затруднительно. Это объясняется существенным влиянием на показания термпар особенностей их установки на различных доменных печах, особенностями разгара кладки и образованием гарнисажа [15].

Использование информации о содержании  $\text{CO}_2$  в периферийном газе в качестве оперативной оценки неравномерности окружного газораспределения также является затруднительным. Прежде всего, это связано с тем, что пробы газа необходимо отбирать одновременно на всех исследуемых радиусах печи перед выгрузкой очередной порции шихты и далее усреднять результаты отбора за цикл загрузки. По ряду технических причин и конструктивных особенностей измерительного оборудования организовать подобные измерения крайне сложно. Кроме того, на современных доменных печах используется зарубежная практика оснащения АСУ контроля газораспределения одной газоотборной

машиной, а на большинстве печей СНГ они находятся в неработоспособном состоянии или отсутствуют вовсе.

Для правильной оценки распределения газов по окружности печи необходимо иметь информацию о расходе дутья по отдельным фурмам или по группам фурм. Известно [18], что неравномерность распределения газового потока в печи существенно зависит от конструктивных особенностей подвода к фурмам и состояния тракта горячего дутья.

По мнению ведущих исследователей распределения шихтовых материалов (В.К.Грузинов, В.П.Тарасов, В.Л.Покрышкин, Д.А.Сторожик, К.А.Шумилов, В.И.Большаков) ни один из перечисленных выше параметров в отдельности не может дать исчерпывающую информацию о распределении газового потока по окружности доменной печи. Очевидно, что параметры, характеризующие окружную неравномерность, следует рассматривать во взаимосвязи. По мнению К.А.Шумилова наиболее информативную оценку окружной неравномерности газораспределения можно осуществлять на основе анализа температуры периферии и расхода дутья по фурмам [15]. Однако наибольшее распространение получили показатели неравномерности окружного распределения газов, разработанные на основе информации о температуре периферии.

В работе [19] использовали показатель неравномерности газораспределения по окружности доменной печи, который выражается коэффициентом вариации распределения температур по окружности шахты  $V_o$ :

$$V_o = \frac{100 \cdot \sigma}{\bar{x}} \quad (9),$$

где  $\sigma$  – среднеквадратическое отклонение измерений от среднего значения  $\bar{x}$ .

В публикациях [17, 15] используются следующие показатели распределения газового потока по окружности:

- 1) Средняя температура периферии:

$$\bar{T} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n} \quad (10)$$

- 2) Максимальный разброс температуры по окружности:

$$\Delta T_{max} = t_{max} - t_{min} \quad (11)$$

- 3) Максимальное отклонение температуры от ее среднего значения:

$$\Delta t_{max} = t_{max} - \bar{T} \quad (12)$$

- 4) Среднеквадратичное отклонение температуры от средней:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (t_i - \bar{T})^2}{n}} \quad (13),$$

где  $t_i$  – температура периферии в отдельной точке;  $n$  – количество периферийных термопар;  $t_{max}$  и  $t_{min}$  – максимальная и минимальная температуры в отдельных точках.

В публикации [20] использовались следующие критерии количественной оценки периферийной неравномерности:

1) Критерий, определяющий величину максимально допустимого отклонения температуры в отдельных точках периферии:

$$K_{\Pi}^{max} = \frac{t_{max}}{t_{min}} \quad (14)$$

2) Критерий общей оценки равномерности распределения газового потока на периферии печи:

$$\overline{K}_{\Pi} = \frac{\overline{T} + \sigma}{\overline{T} - \sigma} \quad (15),$$

где  $t_{max}$  и  $t_{min}$  – максимальная и минимальная температуры в отдельных точках;  $\overline{T}$  – средняя температура периферии;  $\sigma$  – среднеквадратичное отклонение температуры от средней.

По мнению исследователей [20], между  $K_{\Pi}^{max}$  и  $\overline{K}_{\Pi}$  существует четкая взаимосвязь, поэтому для анализа целесообразнее использовать один показатель (коэффициент) периферийной неравномерности газового потока  $K_{\Pi}^{max}$ .

Исследователями [15] также используется показатель  $A_{\Pi max}$ , который характеризует максимальное абсолютное отклонение температуры периферии от ее среднего значения с учетом заданной зоны нечувствительности:

$$A_{\Pi max} = \left| \overline{t}_{\Pi} - \frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n \overline{t}_{\Pi i} \right| > |\varepsilon_t| \quad (16),$$

где  $\overline{t}_{\Pi}$  – среднее для данного сектора значение температуры периферии;  $n$  – число секторов контроля ( $n=4$ );  $\varepsilon_t$  – величина установленной зоны нечувствительности для температуры периферии.

#### **Особенности оценки неравномерности ОРШ и газового потока.**

В работах И.Г.Половченко, В.К.Грузинова, Б.Н.Жеребина отмечается необходимость более широкого понимания особенностей оценки распределения шихтовых материалов [21, 22, 23, 2]. Авторы обращают внимание на разделение понятий окружного и радиального распределения шихты и, соответственно, их различном влиянии на показатели доменной плавки. Так, И.Г.Половченко в работе [21] указывает на то, что «радиальное распределение шихты обеспечивает максимальное использование физической и химической энергии газов при минимальном расходе топлива», а окружное – «легкий сход подач при максимальном количестве подаваемого в печь воздуха». В.К.Грузинов [2, 22] утверждал о необходимости четкого разделения понятий распределения шихтовых материалов на «горизонтальное» (окружное) и «вертикальное» (радиальное). Окружное распределение, по его мнению, оказывает определяющее влияние на образование «каналов» и использование тепловой и химической энергии газов. Б.Н.Жеребин [23] отмечал необходимость комплексной оценки распределения шихтовых материалов, а управление распределением осуществлять как корректировкой радиального, так и окружного распределения.

В работе [1] отмечается существенное влияние на ОРШ особенностей построения программ загрузки шихты на доменных печах с БЗУ.

В работах исследователей [19, 20] показано, что при раскрытии периферии всегда наблюдается выравнивание распределения газового потока по окружности печи [19, 20]. Из этого следует, что радиальное газораспределение (в частности, развитие периферийных потоков газов) оказывает значительное влияние на равномерность окружного распределения газа. Это означает, что связи неравномерности окружного газораспределения с показателями плавки могут быть искажены влиянием радиального газораспределения, определяющего при прочих равных условиях, ход печи и показатели плавки. Поэтому анализ влияния неравномерности окружного распределения на показатели плавки без учета радиального распределения следует считать малодостоверным [19, 20, 23].

Показатели (1)–(4) разрабатывались для оценки ОРШ на доменных печах, оснащенных КЗУ. Методика оценки окружной неравномерности распределения шихты, применяемая на доменных печах с КЗУ, основана на сопоставлении масс материалов, попадающих в каждый из равных секторов окружности колошника. Для распределителей БЗУ, осуществляющих распределение по равновеликим кольцевым зонам различного радиуса, применение такой методики недостаточно эффективно вследствие того, что в каждую кольцевую зону материал выгружается в нескольких порциях цикла при разном числе оборотов распределительного лотка. Из-за нестабильности времени истечения материала из бункера БЗУ получение целого числа оборотов распределителя, а следовательно и замкнутых колец материала на поверхности засыпи, будет редкой случайностью [11]. Поэтому в каждой кольцевой зоне окружная неравномерность различная [1]. Таким образом, ОРШ целесообразнее оценивать по площади кольцевых зон, соответствующих принятому количеству секторов. Для упрощения расчетов количество кольцевых зон может быть уменьшено [14]. Так, в публикации [24] оценка неравномерности распределения по окружности выполнена для каждой из трех сгруппированных кольцевых зон – периферийной, средней и центральной, которые были получены объединением равновеликих по площади кольцевых зон, соответствующих загрузке материала с рабочих угловых положений распределителя 9, 8 и 7, 6, 5 и 4, 3, 2, 1.

Распределение рудных нагрузок по радиусу печи, оборудованной КЗУ, формируется обычно загрузкой нескольких подач шихтовых материалов. Конструктивные особенности типового загрузочного устройства приводят к однообразному изменению распределения кокса и ЖРМ, которое к тому же нивелируется многократными пересыпаниями при шлюзовании шихты и не вызывает существенного перераспределения рудных нагрузок [1]. Таким образом, оценка ОРШ показателями (1)–(4) в каждой порции или подаче допускается и вполне оправдана.



Заданное распределение рудных нагрузок по радиусу доменной печи, оборудованной БЗУ, реализуется в рамках цикла загрузки, который представляет собой систематически повторяющуюся последовательность порций шихтовых материалов (обычно 8 – 16). Поэтому для получения наиболее достоверных результатов, оценку ОРШ по показателям (1)–(4), (7) на доменных печах с БЗУ целесообразнее осуществлять за цикл загрузки [12].

В то же время известно, что численная оценка показателей неравномерности ОРШ изменяется в зависимости от количества и массы подач, для которых она вычисляется [1]. Особенно существенные изменения величины показателей неравномерности происходят в случаях, когда в программе загрузки, а точнее в режиме работы распределителя, предусмотрены специальные приемы управления ОРШ.

Известные показатели (9)–(16) для оценки распределения газового потока по окружности печи на основе информации о температуре периферии представляют собой лишь частный случай. В качестве аргументов этих математических выражений могут использоваться и значения других параметров, характеризующих окружное газораспределение – температура в газоотовах, шахты и т.д.

Известны исследования окружной неравномерности работы доменных печей, основанные на комплексном анализе показателей окружного распределения шихты, газов, состава и температуры жидких продуктов плавки [25, 26]. Исследователями в публикации [25] установлено отсутствие связей между температурой периферийных газов в отдельных секторах печи и содержанием кремния в чугуне по леткам в этих секторах. Кроме того, достижение практически одинаковой температуры периферии доменной печи при режиме ее работы с загруженной периферией и с раскрытой центральной зоной не обеспечивало получение однородного состава жидких продуктов плавки по окружности печи. По мнению авторов, неравномерность состава жидких продуктов плавки вызывается неравномерностью распределения материалов по поверхности засыпи что, соответственно, приводит к различному значению рудных нагрузок по секторам печи. Данное предположение подтверждается зарубежными исследователями [26], которые оценивали неравномерность распределения кокса на основании анализа проб газа в четырех точках по окружности печи и результатов регистрации температуры чугуна на выпуске из четырех леток. Было установлено, что разница температур чугуна соответствует неравномерности распределения кокса.

Анализ публикаций показывает, что большинство исследователей уделяет особое внимание оценке неравномерности ОРШ и газового потока. При этом вопросы практического использования этой информации для обоснованного выбора приемов управления ОРШ, параметров и целесообразной длительности их воздействия практически не рассматриваются. Возможно, это объясняется индивидуальным

влиянием различных факторов образования окружной неравномерности для каждой доменной печи, что затрудняет применение общих зависимостей оценки для управления ОРШ.

Несмотря на большое количество известных приемов управления ОРШ [16], реализуемых посредством БЗУ, на практике используются лишь некоторые из них [27]. В типовой технологической инструкции по ведению доменной плавки отмечается следующее:

- корректировка перекоса поверхности засыпи в автоматическом режиме осуществляют загрузкой кокса или рудной части с применением секторной загрузки. В крайних случаях, допускается во время выпуска продуктов плавки осуществить переход на тихий ход ( $P_0 = 0,5 \text{ кгс/см}^2$ ) и загрузить 3–4 подачи;

- в отдельных случаях при технологических расстройках для регулирования газового потока по окружности доменной печи допускается управление распределением материалов путем изменения уровня засыпи – увеличение уровня для «подгрузки» промежуточной зоны колошника, и уменьшение для «подгрузки» периферийной зоны. ОРШ на колошнике должно обеспечивать температуру периферии не выше заданного уровня, определяемого технологическими особенностями доменной плавки и объемом каждой конкретной печи;

- для устранения канального хода печи рекомендуется уменьшить рудную нагрузку на периферии, сохраняя при этом хорошую газопроницаемость осевой зоны. Рекомендуется также уменьшить величину железорудной порции или подгрузить железорудными материалами область локального канала газового потока с помощью секторной загрузки. Организовать промывку печи с помощью загрузки 3–4 холостых подач с промывочным материалом.

Таким образом, управление ОРШ на практике сводится к изменению массы железорудной порции, «подгрузке» или «разгрузке» периферийной зоны колошника, использованию режима секторной загрузки БЗУ.

### **Выводы.**

Основной задачей обеспечения эффективного управления ОРШ является разработка технологических требований к загрузочному устройству, системе его управления и приемам управления ОРШ, выполненных на основе глубокого понимания причин и особенностей возникновения неравномерности [28]. Общие принципы оценки ОРШ, большинство из которых разрабатывались более 30 лет назад, не потеряли своего актуального значения и в настоящее время. Однако применение БЗУ изменило степень влияния основных причин возникновения неравномерности ОРШ и требует совершенствования их оценки.

Анализ публикаций позволил определить некоторые особенности, которые необходимо учитывать при оценке ОРШ на доменных печах с лотковым БЗУ, в т.ч. следующие:

– оценку ОРШ необходимо выполнять с учетом радиального распределения, например, рассматривать периоды работы печи при одинаковой (сопоставимой) рудной нагрузке в периферийной зоне;

– учитывая особенности загрузки печи с БЗУ, ОРШ целесообразнее оценивать по площади кольцевых зон, соответствующих принятому количеству секторов. Для упрощения расчетов количество кольцевых зон может быть уменьшено;

– для получения наиболее достоверных результатов оценку ОРШ на доменных печах с БЗУ целесообразнее осуществлять за цикл загрузки;

– применение в режиме работы БЗУ специальных приемов управления ОРШ приводит к существенному изменению показателей неравномерности, поэтому для более достоверной оценки необходимо рассматривать периоды работы печи, в которых эти приемы не использовались.

По мнению ведущих исследователей распределения шихтовых материалов, различные параметры газораспределения, характеризующие окружную неравномерность, следует рассматривать во взаимосвязи.

Исследования окружной неравномерности работы доменных печей, основанные на комплексном анализе показателей окружного распределения шихты, газов, состава и температуры жидких продуктов плавки, позволяют эффективно оценивать степень влияния различных факторов образования окружной неравномерности.

Дальнейшее развитие приемов управления ОРШ требует совершенствования средств и способов контроля параметров, характеризующих окружное распределение шихты и газового потока, автоматизированной обработки результатов измерений и представления персоналу рекомендаций по выбору способа управления, параметров и целесообразной длительности воздействия.

Сотрудниками Института черной металлургии в настоящее время продолжается выполнение исследований по разработке новых и более совершенных способов оценки и управления ОРШ на доменных печах, оснащенных БЗУ различной конструкции.

1. *Большаков В.И.* Теория и практика загрузки доменных печей. – М.: Металлургия, 1990. – 256 с.
2. *Грузинов В.К.* Управление газовым потоком в доменной печи программной загрузкой. – Свердловск: Металлургиздат, 1960. – 214 с.
3. *Тарасов В.П.* Загрузка доменных печей. – М.: Металлургия, 1967. – 126 с.
4. *Грузинов В.К.* Механическое оборудование доменных цехов. Ч.1. – Москва – Свердловск: Машгиз, 1954. – 504 с.
5. *Тарасов В.П.* Загрузочные устройства шахтных печей. – М.: «Металлургия», 1974. – 312 с.
6. *Сергиенко В.Д., Сторожик Д.А.* Распределение материала при вращении распределителя в период набора и высыпания шихты. // «Изв.вузов. Сер. Черная металлургия». – 1968. – №5. – С.33–38.

7. *Сторожик Д.А., Гребеник В.М., Тылкин М.А.* Изготовление и эксплуатация загрузочных устройств доменных печей. – М.: Металлургия, 1973. – 319 с.
8. *Штепа Е.Д., Шатлов В.А., Кутнер М.Б., Десярев В.С.* Распределение шихты на колошнике двухскатной воронкой при клапанном засыпном устройстве. // «Сталь». – 1975. – №10. – С.881–884.
9. *Сторожик Д.А., Зозуля Г.С., Сергиенко В.Д.* О критериях оценки окружного распределения шихты. // Металлургия и коксохимия. – 1978. – №59. – С.34–38.
10. *Кройц Л., Гуденау Х.В., Штандиш Н.* Влияние на симметрию распределения материалов в доменной печи при применении засыпного аппарата с вращающимся желобом. // Черные металлы. – 1991. – №3. – С.26–32
11. *Большаков В.И., Рослик Н.А., Шутылев Ф.М., Котов А.П.* Оценка окружного распределения шихты на доменной печи с лотковым БЗУ. // Сталь. – 1993. – №2. – С.11–14
12. *Большаков В.И., Порубова Т.П.* Анализ показателей окружного распределения шихты в доменной печи, оснащенной лотковым БЗУ// «Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии». Сб. науч. тр. ИЧМ. – 2002. – №5. – С.44–57.
13. *Ковшов В.Н., Зозуля Г.С., Чистяков В.Г., Никифоров В.Н.* О выборе основных конструктивных параметров бесконусных загрузочных устройств с вращающимися лотками. // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 1979. – №3. – С.5–6.
14. *Большаков В.И.* Уменьшение неравномерности окружного распределения шихты – средство экономии кокса // Экономия кокса в доменных печах: Сб.науч.тр.МЧМ СССР (ИЧМ). – М.:Металлургия, 1986. – С.53–58
15. *Шумилов К.А., Довгаль А.М., Мельничук В.Л.* Автоматическое управление газодинамическим режимом доменной печи. – М.:Металлургия, 1982. – 104 с.
16. *В.И.Большаков, А.А.Жеребецкий, В.В.Лебедь.* Особенности управления окружным распределением шихты в доменных печах. // «Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии». Сб. науч. тр. ИЧМ. – 2011. – №24. – С.88–97.
17. *Цылык В.Д., Мельничук В.Л.* Определение оптимального горизонта установки и числа периферийных термопар доменной печи // Проблемы автоматизированного управления доменным производством. – М.:Металлургия, 1974. – С.117–125
18. *Большаков В.И., Шулико С.Т., Канаев В.В., Шутылев Ф.М., Васинев Г.К.* Исследование газораспределения в доменной печи большого объема. // Сталь. – 1999. – №12. – С.5–8
19. *Логинов В.И., Крячко Г.Ю., Бабенко О.А.* Влияние распределения газового потока на показатели доменной плавки. // Металлург. – 1980 – №11 – С. 16–20
20. *Паршаков В.М., Бабушкин Н.М., Боковиков Б.А.* // Сталь. – 1971. – №12. – С.1069–1074.
21. *Половченко И.Г.* Регулирование хода доменной печи изменениями загрузки. // Сталь. – 1953 – №10 – С.884–893.
22. *Грузинов В.К.* // Сталь. – 1955. – №4. – С.305–11.
23. *Жеребин Б.Н.* К вопросу о горизонтальном распределении материалов на колошнике. // Сталь. – 1955. – №9. – С.782–787.
24. *Большаков В.И., Шутылев Ф.М.* // Сталь. – 1988 – №3 – С. 17–20

25. Рожавский Л.И., Негинский Б.М., Каганов А.В., Хомич И.Т., Юсфин Ю.С., Курунов И.Ф. Анализ окружной неравномерности работы доменных печей большого объема. // Сталь. – 1981. – №5. – С.10–12.
26. Норита К. Регистрация сегрегации шихты по окружности доменной печи. // Тэцу то хаганэ. – 1982, т.68. – №11. – С. 702–715.
27. Типовая технологическая инструкция по доменному производству. МЧМ СССР (ИЧМ). – Днепропетровск, 1990. – 164 с.
28. Большаков В.И. Особенности управления окружным распределением шихты и газов в доменных печах // Metallургическая и горнорудная промышленность. – 2001. – №5. – С.80–84.

*Статья рекомендована к печати  
докт.техн.наук И.Г.Муравьевой*

***В.І.Большаков, В.В.Лебідь, А.А.Жеребецький***

**Оцінка окружного розподілу шихти та газового потоку у доменних печах.**

Метою роботи є узагальнення існуючих підходів до оцінки нерівномірності окружного розподілу шихти (ОРШ) та газів з урахуванням особливостей сучасних доменних печей. Описано існуючі показники ОРШ та газового потоку в доменних печах. Показано актуальність удосконалення способів оцінки та управління ОРШ на доменних печах, оснащених БЗУ різної конструкції. Подальший розвиток прийомів управління ОРШ вимагає удосконалення засобів і способів контролю параметрів, що характеризують окружне розподілення шихти та газового потоку.