

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

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ УПРАВЛЕНИЯ ОКРУЖНЫМ  
РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ ШИХТЫ НА ДОМЕННОЙ ПЕЧИ,  
ОСНАЩЕННОЙ БЗУ**

Представлены результаты исследований распределения шихты и газового потока по окружности доменной печи, оборудованной бесконусным загрузочным устройством. Показано, что изменение положения точек начала выгрузки шихты из бункера по заданной программе позволяет управлять окружным распределением шихты, регулировать ход доменной печи, обеспечить равномерное распределение температуры газов по окружности печи и регулировать газопроницаемость в разных секторах сечения печи.

**доменная печь, бесконусное загрузочное устройство, управления окружным распределением шихты и газов.**

**Введение.** 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 (на 3–5 %) и уменьшить расход энергоносителей на выплавку чугуна (на 5–15 кг/т чугуна) [1]. Равномерность окружного распределения шихты зависит от ряда факторов – соотношения масс кокса и железосодержащих материалов, загружаемых в секторы сечения колошника, распределения объемов шихты («объемная неравномерность»), а также распределения по окружности мелких фракций шихтовых материалов («качественная неравномерность»). Неравномерность распределения объема и массы шихтовых материалов, а также их фракционного состава и газов по окружности может определяться следующими причинами: конструктивными особенностями загрузочного устройства; нерациональным режимом работы распределителя шихты; неравномерным износом кладки или распределением дутья по фурмам [1].

В настоящее время существуют различные приемы управления ОРШ на доменных печах с бесконусным загрузочным устройством (БЗУ): метод «зеркальной загрузки» (диаметральной компенсации) с одновременным взаимным смещением угла поворота материалов разноименных скипов в каждой подаче [2]; смещение гребня рудных материалов в пределах одной подачи на 180° по отношению к гребню кокса [3, 4]; изменение маршрута движения шихтового материала с помощью приема «перегон скипов» [5] и др. Однако реализовать стабильное поддержание равномерного ОРШ удастся лишь на доменных печах, оснащенных бесконусными загрузочными устройствами, современными средствами контроля и управления [6].

### Изложение основных материалов исследований.

Рассматриваемая доменная печь объемом около 1400 м<sup>3</sup> оборудована однобункерным бесконусным загрузочным устройством фирмы «Paul Wurth». В настоящее время доменная печь (ДП) работает в условиях близких к предельному значению пропускной способности оборудования, что стимулирует технологов применять режим выгрузки по готовности бункера БЗУ. Предполагалось, что режим выбора точек начала выгрузки порции, характеризуемый началом открывания шихтового затвора бункера БЗУ по готовности системы загрузки к выгрузке порции шихты в печь, носит случайный характер. На рис.1 показано фактическое распределение количества случаев начала выгрузки по секторам печи за 20 подач вида ККК↓PPP↓ при режиме выгрузки по готовности бункера БЗУ. Исследования показали, что такой режим не обеспечивает равномерного распределения точек начала выгрузки по окружности печи (40,3% осуществлялись в секторах 60°–120° и 120°–180°, 20,9% – в секторе 240°–300°), что приводит к возникновению окружной неравномерности распределения шихты и газового потока.

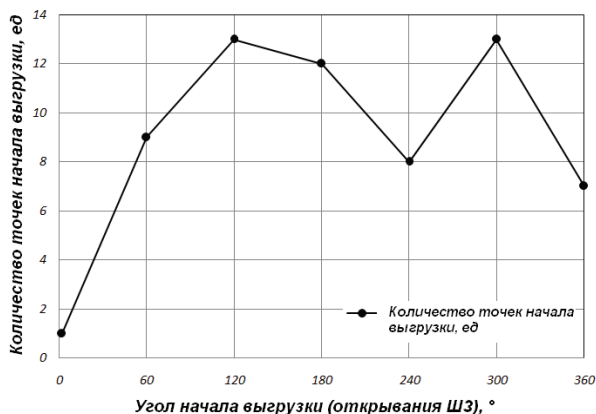


Рис.1 Точки начала выгрузки материала при использовании режима выгрузки по готовности бункера БЗУ

Еще одной причиной возникновения неравномерности может быть нестабильное время выгрузки шихтовых материалов из бункера БЗУ. На исследуемой доменной печи, распределение масс порций шихты по угловым позициям лотка осуществляется посредством задания в программу управления загрузкой количества оборотов, совершаемых лотковым распределителем в определенных угловых позициях. В соответствии с программой загрузки практически все порции (скипы) материала должны выгружаться из бункера БЗУ на колошник за 3 оборота лотка, что соответствует продолжительности истечения 22 с. Для исследования влияния отклонений времени истечения порций из бункера БЗУ на изменение характера распределения шихтовых материалов по радиусу колошника была задана условная программа загрузки и

выполнены расчеты показателей распределения шихты при различных значениях времени истечения порций, соответствующих зафиксированному на ДП в течение исследовательского периода: железорудные порции – 19–25 с, порции кокса – 18–29 с. Масса железорудной порции (скипа) принята равной 15,33 т, коксовой – 4,0 т. Программа загрузки имела следующий вид:

1	К	11.11.10.
2	К	7.6.5.
3	К	2.2.3.
4	Р	10.9.8.
5	Р	8.7.6.
6	Р	7.6.5.

Результаты расчетов распределения рудных нагрузок показаны на рис.2. Возникающие на печи отклонения времени выгрузки порции от заданной величины (22 с) приводят к ощутимым изменениям распределения шихтовых материалов.

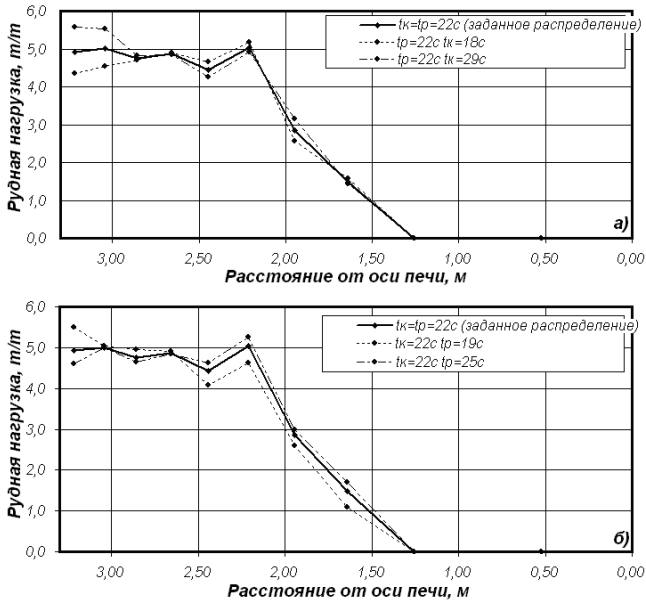


Рис.2 Изменение распределения расчетных рудных нагрузок по радиусу колошника при отклонении времени выгрузки порции кокса (а) и железорудной смеси(б) из бункера БЗУ.

Отклонения времени выгрузки коксовых порций в основном отражаются на изменении величины рудной нагрузки на 0,47–0,60 т/т в периферийной зоне (рис.2,а), а отклонения времени выгрузки железорудных материалов приводят к изменению величин рудных

нагрузок на 0,15 – 0,35 т/т в промежуточной и приосевой зонах колошника (рис.2,б).

Для оценки неравномерности окружного распределения шихты и газов использовали показания четырех термопар, установленных в газоотводах, и шести периферийных термопар (отм. 37650) равномерно расположенных по окружности шахты печи. Стабильные отклонения температуры в определенных газоотводах могут сопровождаться существенной неравномерностью распределения газового потока по окружности печи. Относительные показания периферийных термопар зависят не только от количества газа приходящегося на единицу рудной сыпи, но и от высоты их расположения под поверхностью засыпи шихты [4, 7]. Неравномерность распределения газового потока по окружности доменной печи зависит от ряда факторов. Среди них и неравномерность распределения дутья по фурмам, которая в исследовательский период составляла около 26%. Однако, по мнению К.М.Бугаева, регулирование распределения газов по окружности лучше осуществлять сверху (программой загрузки), а не снизу (распределением дутья) [8].

Нестационарность условий теплообмена между газом и шихтой в верхней части печи, связанная с периодичностью загрузки, обуславливает колебания температуры периферийных газов в некоторых пределах, которые зависят от температуры выгружаемых материалов. Поэтому, показания периферийных термопар фиксировались непосредственно перед началом очередной выгрузки и усреднялись за цикл подач. В табл. 1 представлены значения температур периферии ( $T_{ПФ}$ ) и газоотводов ( $T_{ГО}$ ) в базовом периоде.

Таблица 1. Температуры на периферии и в газоотводах в базовом периоде.

Дата	$T_{ПФ}, ^\circ\text{C}$						Среднее, $^\circ\text{C}$	$T_{ГО}, ^\circ\text{C}$				Среднее, $^\circ\text{C}$
	1	2	3	4	5	6		1	2	3	4	
08.10.2009	729	657	527	564	358	574	568	251	236	240	219	206
12.10.2009	673	601	450	470	416	520	522	214	227	199	206	182
13.10.2009	706	625	450	477	453	564	546	239	200	221	190	193
14.10.2009	722	617	439	500	488	574	557	377	271	343	293	276
15.10.2009	687	582	434	508	463	568	540	237	257	229	219	199
16.10.2009	711	594	447	489	495	582	553	221	196	211	193	187
19.10.2009	683	584	450	431	474	580	534	212	192	215	196	183
20.10.2009	658	521	465	524	419	550	523	218	208	223	199	184
21.10.2009	703	505	465	518	476	555	537	243	220	224	236	190
22.10.2009	669	556	462	514	423	543	528	192	165	179	163	158

На рис.3 представлено распределение температуры периферийных газов в базовом периоде по окружности печи в виде окружной диаграммы и графика–развертки.

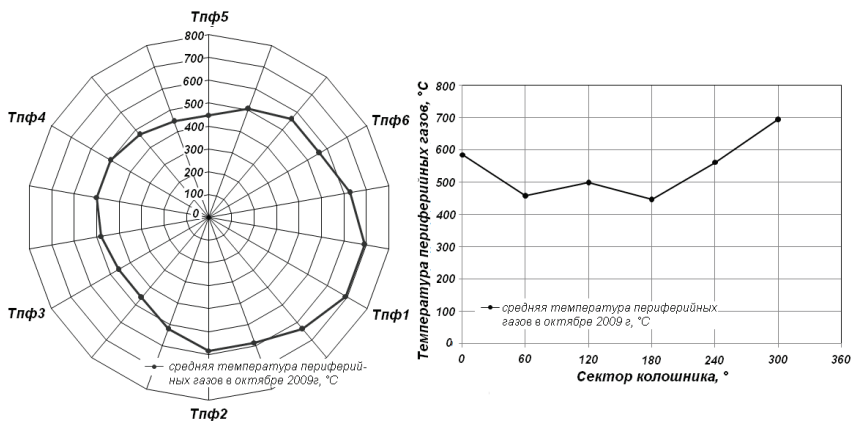


Рис.3 Средняя температура периферийных газов в базовом периоде

Оценка температуры периферии в базовом периоде (табл. 2) показала, что распределение температуры газов по окружности характеризовалось существенной неравномерностью при средней температуре  $540,7^{\circ}\text{C}$ , она изменялась от  $446,5^{\circ}\text{C}$  до  $697^{\circ}\text{C}$ , среднеквадратичное отклонение показаний периферийных термодпар составило  $97,25^{\circ}\text{C}$ , что соответствует величине коэффициента вариации  $17,95\%$ . Изложенное свидетельствует о развитом периферийном ходе печи.

Таблица 2 – Статистические показатели изменения температур в базовом периоде

Дата	ПФ				ГО			
	$\Delta$	$\sigma, ^{\circ}\text{C}$	$v, \%$	$T_{\text{ср}}, ^{\circ}\text{C}$	$\Delta$	$\sigma, ^{\circ}\text{C}$	$v, \%$	$T_{\text{ср}}, ^{\circ}\text{C}$
08.10.2009	0,65	126,23	22,22	568	0,14	13,28	5,61	206
12.10.2009	0,49	98,15	18,82	522	0,13	12,01	5,68	182
13.10.2009	0,47	104,68	19,18	546	0,23	21,89	10,30	193
14.10.2009	0,51	103,00	18,50	557	0,33	47,97	14,94	276
15.10.2009	0,47	92,03	17,03	540	0,16	16,11	6,84	199
16.10.2009	0,48	96,11	17,38	553	0,14	13,12	6,39	187
19.10.2009	0,47	98,06	18,38	534	0,11	11,44	5,62	183
20.10.2009	0,46	81,41	15,57	523	0,11	10,68	5,04	184
21.10.2009	0,44	87,37	16,27	537	0,10	10,63	4,61	190
22.10.2009	0,47	85,40	16,18	528	0,17	13,52	7,74	158
<b>Среднее</b>	<b>0,49</b>	<b>97,25</b>	<b>17,95</b>	<b>540,70</b>	<b>0,16</b>	<b>17,07</b>	<b>7,28</b>	<b>195,80</b>

Температура газоотводов в базовом периоде характеризовалась стабильными отклонениями по секторам (рис.4), что наблюдается при достаточно высокой неравномерности распределения газового потока по окружности печи. По рекомендации ИЧМ для выравнивание ОРШ, в программу загрузки печи была введена изменяющаяся в течение шести циклов загрузки последовательность чередования точек начала выгрузки

порций по окружности (табл.2), так называемое «перешагивание» [6]. В рамках цикла выполняется чередование точек начала выгрузки так, чтобы каждая из 36 порций материала выгружалась во все секторы колошника доменной печи со смещением начала выгрузки на 60–120°.

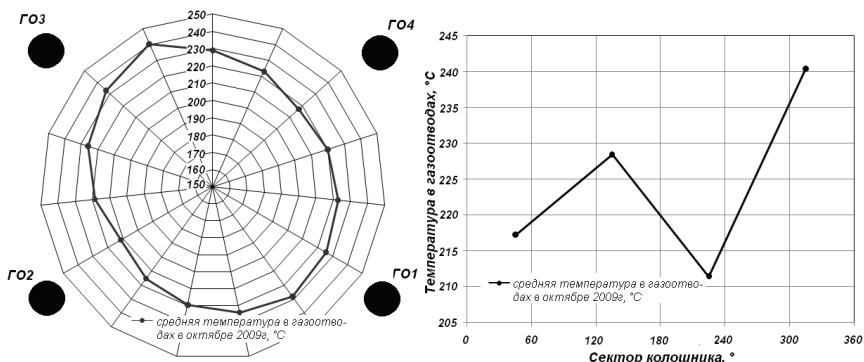


Рис.4 Средняя температура в газоотводах в базовом периоде

Стоит отметить, что для осевой порции кокса К223 установлен режим «-1» (условное обозначение в АСУ режима выгрузки по готовности бункера БЗУ), ввиду того, что незамкнутость колец в осевой зоне не вносит существенных изменений в ОРШ, т.к. ее площадь значительно меньше промежуточных и периферийных зон.

Таблица 2. Система «перешагивания», установленная в опытный период.

Порция	Цикл загрузки					
	1	2	3	4	5	6
	Угол начала выгрузки по окружности, °					
К 11.11.10.	0°	180°	60°	240°	120°	300°
К 7.6.5.	120°	300°	180°	0°	240°	60°
К 2.2.3.	-1	-1	-1	-1	-1	-1
Р 10.9.8.	60°	240°	120°	300°	180°	0°
Р 8.7.6.	180°	0°	240°	60°	300°	120°
Р 7.6.5.	300°	120°	0°	180°	60°	240°

Применение в опытном периоде описанного выше алгоритма упорядоченного чередования точек начала выгрузки шихтовых материалов благоприятно отразилось на равномерности распределения газа (рис.5). Средняя температура периферии в опытном периоде уменьшилась на 80–100°С, а среднеквадратичное отклонение на 37,25°С и составили 450,25°С и 60°С соответственно (кривая 2, рис.5).

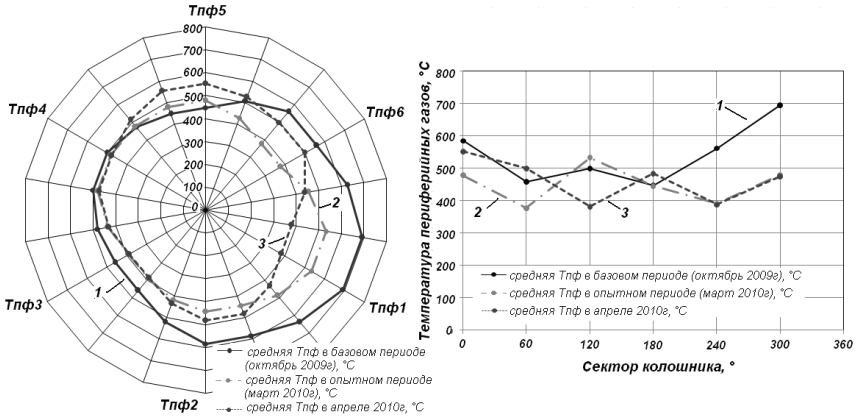


Рис.5. Средняя температура периферийных газов в базовом и опытном периодах

Следует отметить, что предложенный режим чередования точек начала выгрузки позволил обеспечить стабильное распределение и более эффективную восстановительную работу газов по окружности печи (коэффициент вариации температуры периферийных газов уменьшился на 4,5% и составил 13,4 %; степень использования газа увеличилась с 43,4% до 44,6 %) на протяжении длительного периода времени (кривая 3, рис.5), что подтверждает необходимость управления ОРШ.

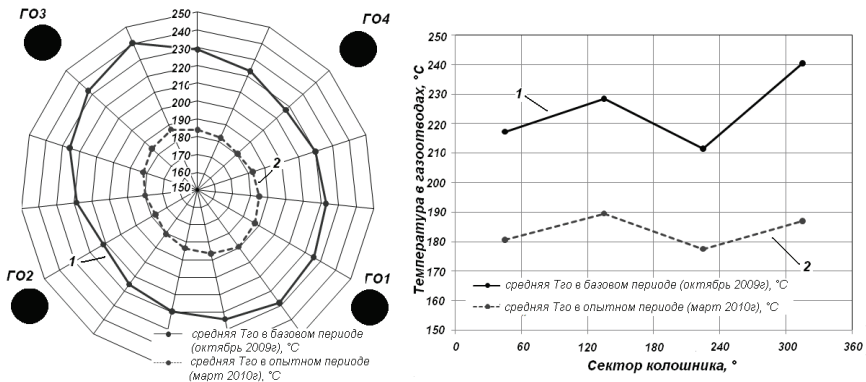


Рис.6. Средняя температура в газоотводах в базовом и опытном периодах

Средняя температура в газоотводах в опытном периоде уменьшилась на  $40,7^{\circ}\text{C}$ , а среднее квадратичное отклонение на  $6,6^{\circ}\text{C}$  и составили  $183,6^{\circ}\text{C}$  и  $10,4^{\circ}\text{C}$  соответственно (кривая 2 на рис.6).

### **Заключение.**

Анализ распределения шихты и газов по окружности печи показал, что режим организации окружного распределения шихты путем начала выгрузки порции по готовности бункера не обеспечивает удовлетворительных результатов. Разработанный ранее в Институте черной металлургии режим регламентированного смещения («перешагивания») точек начала выгрузки порций обеспечивает равномерное распределение шихты и газов по окружности печи и широко применяется на ДП различного объема. Организация стабильного систематического изменения положения точек начала выгрузки очередного бункера по заданной программе обладает широкими возможностями не только поддержания равномерного распределения движения и температуры газов по окружности печи, но и создания специальных режимов, направленных на реализацию различной газопроницаемости в разных секторах сечения печи.

На основе комплексного анализа распределения материалов по окружности печи предложен режим управления ОРШ, который позволил внести оперативные корректирующие воздействия и обеспечить уменьшение неравномерного окружного распределения газового потока. Использование возможностей бесконусного загрузочного устройства в совокупности с упорядоченным «перешагиванием» точек начала выгрузки шихтовых материалов благоприятно отразилось на равномерности распределения газа по окружности печи, что позволило улучшить ровность хода и эффективность работы доменной печи в опытном периоде.

Опробованный режим имеет множество возможных вариаций и является лишь частным случаем. Результаты выполненных исследований подтверждают необходимость эффективного управления окружным распределением шихты и газов, что может быть выполнено с использованием предложенного приема.

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. *Бабарькин Н.Н.* Основные закономерности распределения материалов на колошнике доменной печи. // В кн.: Доменный процесс по новейшим исследованиям. – М., Metallurgizdat, 1963.
4. *Мельничук В.Л., Шумилов К.А., Цильк В.Д.* Проблемы автоматического управления газовым потоком по окружности доменной печи. // Материалы всесоюзного семинара. Проблемы автоматизированного управления доменным производством. – К.: Наук. думка, 1974. – С.178–185.



5. *Большаков В.И., Шутылев Ф.М.* Рациональный режим работы вращающегося распределителя шихты бесконусного загрузочного устройства // *Сталь*. – 1988. – №3. – С.17–20.
6. *Большаков В.И.* Теория и практика загрузки доменных печей. – М.:Металлургия, 1990. – 256 с.
7. *Большаков В.И.* Особенности управления окружным распределением шихты и газов в доменных печах // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2001. – №5, – С.80–84.
8. *Бугаев К.М.* Распределение газов в доменных печах. – М.: Metallurgiya, 1974. – С11.

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

***В.И. Большаков, В.В. Лебідь, А.О.Жеребецький***

**Удосконалення управління окружним розподілом шихти на доменній печі, оснащеній БЗП.**

Представлено результати досліджень розподілу шихти і газового потоку по колу доменної печі, обладнаної безконусним завантажувальним пристроєм. Показано, що зміна положення точок початку вивантаження шихти з бункера за заданою програмою дозволяє управляти окружним розподілом шихти, регулювати хід доменної печі, забезпечити рівномірний розподіл температури газів по колу печі і регулювати газопроникність в різних секторах перерізу печі.