

**В.И.Большаков, И.Г.Муравьева, Ю.С.Семенов, С.Т.Шулико**

### **ОЦЕНКА ОКРУЖНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ШИХТЫ В ДОМЕННОЙ ПЕЧИ РАДИОЛОКАЦИОННЫМ ПРОФИЛЕМЕРОМ**

**Введение.** Впервые предпринята попытка оценки окружного распределения шихты с помощью измерения поверхности засыпи радиолокационным профилемером. Результаты исследований могут быть использованы при выборе способов и периодичности применения различных управляющих воздействий для выравнивания окружной неравномерности распределения шихты и газового потока в печи.

**Изложение основных материалов исследования.** Одной из основных составляющих повышения эффективности доменной плавки и продолжительности кампании печи, особенно большого объема, является управление распределением шихтовых материалов по радиусу и окружности колошника [1].

Основным режимом загрузки печи шихтовыми материалами является многокольцевой, т.е. при выгрузке порции из бункера бесконусного загрузочного устройства (БЗУ) лоток совершает до 10–12 оборотов (колец), что для каждого углового положения составляет 2–3 оборота (кольца). Так как перевод из одного углового положения в другое в рамках выгрузки порции производится после выгрузки заданной массы, а скорость вращения лотка постоянна, то в зависимости от величины раскрытия шихтового затвора и заданной массы шихты последние кольца при выгрузке частей порции в каждое угловое положение могут быть не замкнуты. В определенных секторах колошника, где последние кольца разомкнуты, образуются зоны, отличающиеся величинами рудной нагрузки или объемами материалов, что является одним из факторов, определяющих окружную неравномерность распределения шихты и газового потока в печи. Для исключения ориентации незамкнутых частей колец материала в одних секторах окружности колошника по сумме выгрузки нескольких порций применяют способ выгрузки материалов из бункеров, при котором начало выгрузки порций следующих за железосодержащей порцией и коксом начинают со смещенного на 60° гаражного положения лоткового распределителя (так называемое «попарное перешагивание») [1,3].

**Современное состояние вопроса.** В настоящее время на доменных печах, оборудованных БЗУ, широко используются следующие приемы управления окружным распределением шихтовых материалов, предназначенные для обеспечения равномерного окружного распределения:

- смена вида материала в бункерах загрузочного устройства;
- изменение направления вращения лоткового распределителя шихты;
- «попарное перешагивание» лоткового распределителя или смещение на 60° начала выгрузки в печь каждой последующей пары порций шихто-

вых материалов – железосодержащих материалов и кокса. В ИЧМ разработаны и другие способы управления распределением шихты и газов, в том числе способы создания направленной неравномерности окружного распределения шихты [1,3], которые могут применяться персоналом в случае необходимости.

Опыт эксплуатации доменных печей показывает, что конструктивные особенности БЗУ (параллельное расположение бункеров и отсутствие накопительной емкости перед выгрузкой материалов на лоток) влияют на распределение шихтовых материалов по сечению колошника. При этом точка встречи с поверхностью засыпи центра тяжести потока материала, сходящего с лотка, в момент, когда последний разгружает материал в сторону, противоположную от установки разгружаемого бункера, ориентировочно максимально удалена (в пределах оборота распределителя) от стенки печи, а в сторону разгружаемого бункера – минимально. В выполненных ранее в ИЧМ исследованиях [2,3,4] установлено наличие «локальных зон», находящихся в местах пересечения линий, образованных точками встречи центров тяжести потоков шихтовых материалов, выгружаемых с лоткового распределителя. Эти зоны характеризуются пониженной газопроницаемостью столба шихты и оказывают существенное влияние на распределение дутья в печи, уменьшая его расход на фурмах, расположенных в секторах печи с «локальными зонами» [4]. Оценка динамики изменения расположения зон с пониженной газопроницаемостью по сечению колошника может быть использована для выбора рациональной частоты смены направления вращения лоткового распределителя.

Оценка влияния приемов управления окружным распределением может быть осуществлена с использованием профилемера. Использование профилемера позволяет получать достоверную информацию об исходном профиле поверхности шихты в печи, на который выгружается очередная порция, измерять сформированный профиль засыпи после распределения материалов каждой порции, определять скорости опускания шихты в различных точках по радиусу и окружности печи.

**Методика исследования.** Исследования и оценка влияния существующих приемов управления окружным распределением шихтовых материалов на формирование профиля засыпи и слоев материалов в столбе шихты по сечению печи выполнены с учетом скорости опускания шихты, определяемой по разработанным методикам, описанным в работе [5]. При этом использовались результаты обработки статистических данных о форме поверхности засыпи шихты: значения уровней засыпи ( $H$ ) и высоты слоев материалов ( $H_{сл}$ ), измеряемых в четырех точках кольцевых зон сечения колошника: периферийной – ПФ (0,35м от стенки колошника), промежуточных – ПП (1,6м от стенки колошника) и 2П (2,9м от стенки колошника) и центральной – Ц (4,4м от стенки колошника), перед выгрузкой ( $\bar{H}$ ) и после выгрузки ( $H\downarrow$ ) каждой порции шихтовых материалов в печь. Окружная неравномерность распределения этих параметров в зонах

оценивалась по величине среднеквадратичного отклонения от фактических значений.

Исследования выполнялись для трех периодов работы печи I–16.10.04, II – 25.03.05 и III – 24.06.05 с использованием программ загрузки шихтовых материалов, в которых 9 последовательно загружаемых порций шихты составляют один цикл (табл.1). Оценка влияния смены вида шихтовых материалов в бункерах БЗУ и направления вращения лотка показала следующее. При загрузке шихтовых материалов (К – кокс, ЖСМ – железосодержащие материалы) в печь из бункеров БЗУ (Б1 и Б2) на исходный уровень засыпи 0,8м (по данным РДУ, измеряющих уровень засыпи в ПФ кольцевой зоне колошника) при вращении лотка против часовой стрелки (период I), высота слоя ЖСМ и К, выгруженных из 9–6, 9–3, 8–4 и 8–5 угловых его позиций, определенная по измерениям РДУ в 1П кольцевой зоне, была больше на 10–20% со стороны бункера, из которого выгружается материал (рис.1а, б). Указанное распределение высоты слоев рудных материалов в достаточной степени согласуется с результатами, полученными с помощью модели ИЧМ (рис.2) и при инструментальном измерении в ДП№9, выполненном при исследованиях распределения материалов перед задувкой печи [2].

Таблица 1. Режимы загрузки ДП №9 ОАО «АрселорМиттал Кривой Рог» в анализируемые периоды ее работы, 2004–2005 гг.

Период работы печи <sup>1)</sup> , (дата)	Программа загрузки: угловые позиции лотка БЗУ: 9...1									Уровень засыпи, м	Кол-во циклов загрузки	Направление вращения лотка БЗУ
	Шихтовые материалы: А – агломерат, О – окатыши, ШО – шлак обогащенный, К – кокс.											
	Номер порции материалов											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9			
Период I, (16.10.04, 10 циклов)	К 3-1	АШО 9-6	К 8-5	АО 9-3	КО 3-1	КШО 8-4	АО 8-4	К 8-4	АО 9-3	1,2	10	против часовой стрелки
Период II, (25.03.05, 9 циклов)	К 3-1	АШО 9-5	К 8-4	АО 9-4	К 4-1	К 8-4	АО 9-4	К 8-4	АО 9-3	1,2	9	по часовой стрелке, 16-24 ч.
Период III, (24.06.05, 9 циклов)	К 3-1	АШО 9-5	К 8-4	АО 9-3	К 4-1	К 8-4	АШО 9-4	К 7-3	АО 9-3	1,2	9	по часовой стрелке, 16-24 ч.

<sup>1)</sup> Углы наклона лотка БЗУ по позициям: 9-46,2°; 8-45,4°; 7-42,8°; 6-40,1°; 5- -37,4°; 4-34,7°; 30-30,9°; 2-26,9°; 1-22,0°.

**Результаты исследования.** Для периода I работы печи получены графики изменения высоты выгружаемого слоя железосодержащих материалов и кокса, которые характеризуют влияние конструктивных особенностей БЗУ на равномерность распределения материалов по сечению печи. Причем, представленные на рис.1а графики изменения высоты слоя для случая выгрузки из Б1 железосодержащей части шихты

( $H_{сл}^{1П}$  ЖСМБ1), а из Б2 – кокса ( $H_{сл}^{1П}$  КБ2) с пересечением кривых в сечениях ЧЛ2 и между ШП и ЧЛ4 на расстоянии 1,6 м от стенки печи согласуются с расположением центров «локальных зон» (рис.2). График, приведенный на рис.1б, свидетельствует о нахождении «локальных зон», образованных на расстоянии 1,9 м от стенки печи (рис.2). Объяснением этому может быть наличие перекоса профиля засыпи, либо особенность измерения, в связи с которой максимальная мощность отраженного сигнала находится не по оси луча, а смещена в пределах площади «пятна» измерения на поверхности засыпи. Также это может быть связано и с особенностью схода с лотка мелких фракций, которые движутся не по расчетным траекториям.

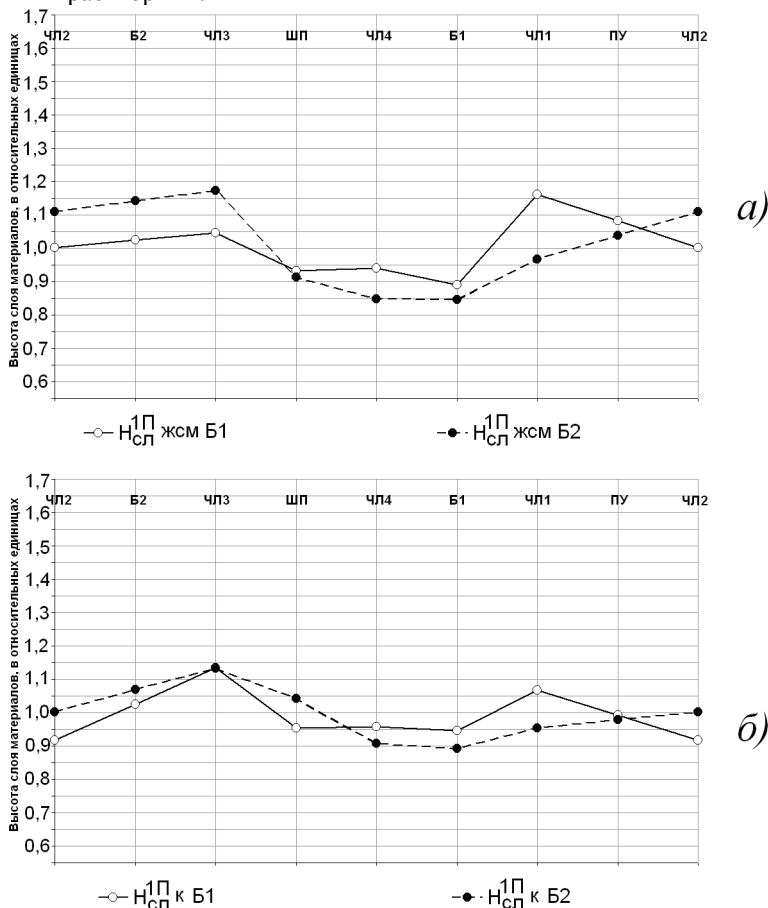


Рис.1. Изменение средней высоты слоев материалов по окружности колошника после выгрузки из бункеров 1 и 2 порций шихтовых материалов: ЖСМ (а) и К (б)

в течение 8 часов при вращении лотка против часовой стрелки БЗУ и выпуском продуктов плавки через ЧЛ2 и ЧЛ4 (период I). Левое вращение лотка БЗУ.

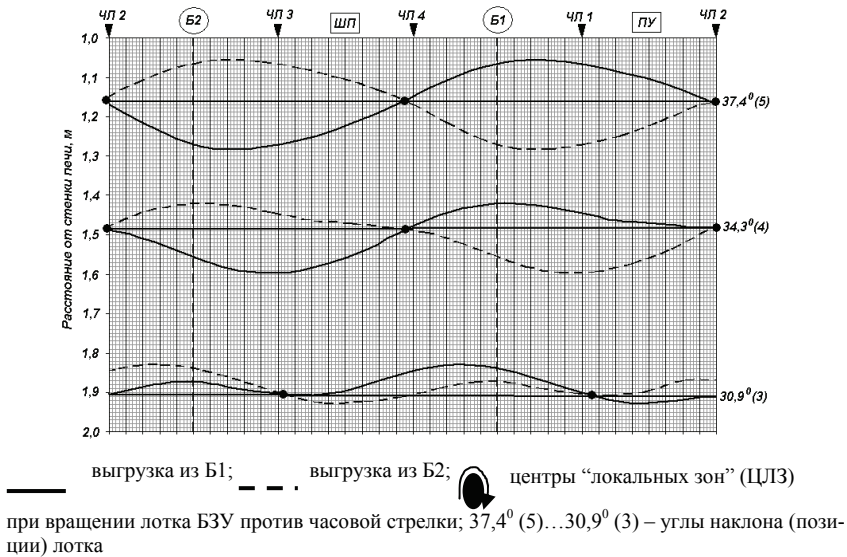


Рис.2. Результаты моделирования расположения линий, образованных точками встречи центров тяжести потоков шихтовых материалов, выгружаемых с лотка БЗУ, с поверхностью засыпи шихты (горизонтальный уровень засыпи 0,8 м) на ДП№9. Левое вращение лотка БЗУ.

Для периода II указанная выше закономерность изменения расположения высоты слоев материалов при вращении лотка БЗУ по часовой стрелке нарушается, что вызвано понижением исходного уровня засыпи по показаниям радиолокационных измерителей на периферии до 1,2 м, приводящим к приближению материала в сторону противоположную от разгружаемого бункера с образованием под ним слоя большей высоты. Это является следствием приближения линий, образованных пересечением точек встречи центров тяжести потоков шихтовых материалов, выгружаемых с лотка БЗУ, с поверхностью засыпи шихты к стенке печи на 0,2 м при снижении уровня засыпи от 0,8 м до 1,25 м. При этом, как следует из рис.3а, б, «локальные зоны» располагаются в секторах ШП–ЧЛ3 и ПУ–ЧЛ2. Подтверждением достоверности определения положения зон с пониженной газопроницаемостью являются результаты, полученные с помощью модели ИЧМ (рис.4), а также характер распределения дутья по фурмам (рис.5), из которого следует, что на фурмах, расположенных в секторе ШП-ЧЛ3 и ЧЛ2-ПУ, где находятся «локальные зоны», наблюдается уменьшение расхода дутья.

Аналогичные результаты были получены при загрузке печи в периоде – III ее работы на уровень засыпи – 1,3 м, где образование слоев большей высоты наблюдалось в секторах печи, противоположных от разгружаемых бункеров БЗУ (рис.6а, б), что может быть объяснено также, как и для периода II, уменьшением уровня засыпи шихты.

Исследования, направленные на установление влияния направления вращения лоткового распределителя на равномерность окружного распределения шихтовых материалов в печи были выполнены для тех же трех периодов работы печи – I, II и III, причем для периода – I было характерно вращение лотка против часовой стрелки, а для двух других – по часовой стрелке. Установлено, что при вращении лоткового распределителя по часовой стрелке сход шихты в печи более ровный, что подтверждает характер распределения скоростей опускания шихтовых материалов в четырех зонах сечения колошника (рис.7).

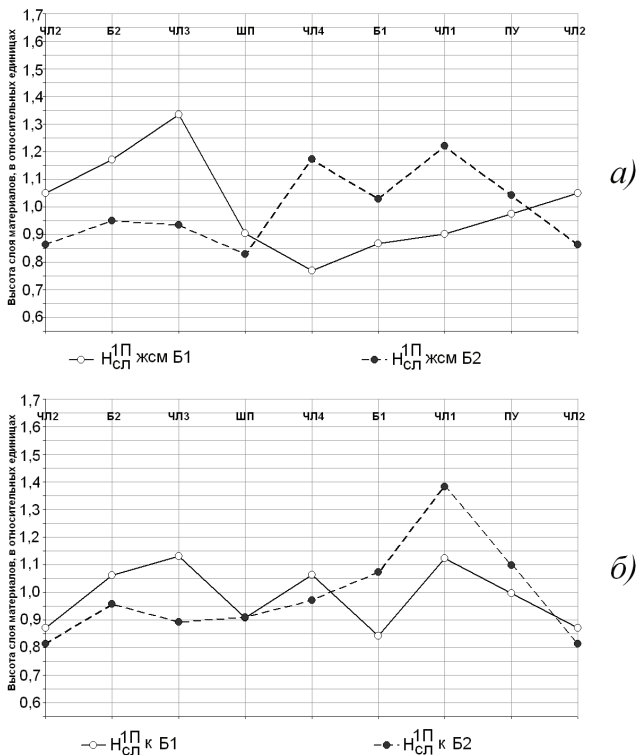


Рис.3. Изменение средней высоты слоев материалов по окружности колошника после выгрузки порций шихтовых материалов: ЖСМ (а) и К (б) в течение 8 часов при вращении лотка БЗУ по часовой стрелке и выпуском продуктов плавки через ЧЛ1 и ЧЛ3 для периода работы печи II. Правое вращение лотка БЗУ

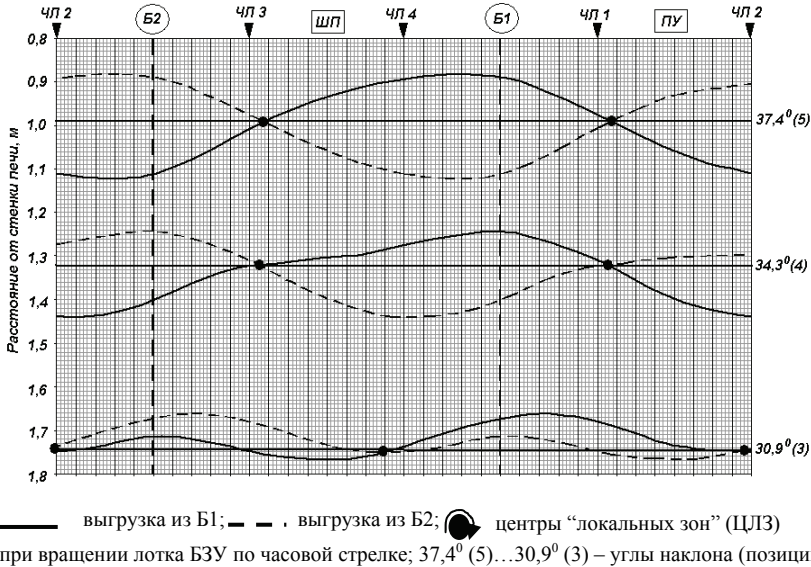
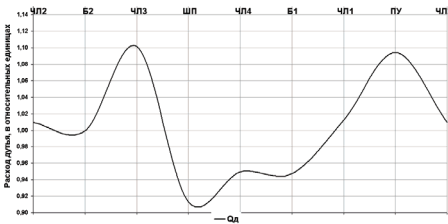
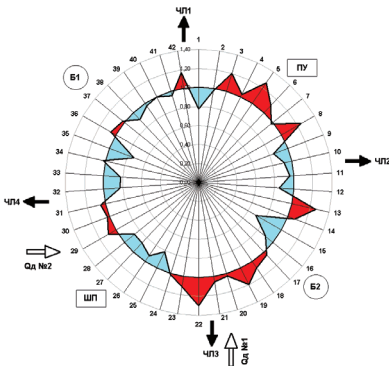


Рис.4. Результаты моделирования расположения линий, образованных точками встречи центров тяжести потоков шихтовых материалов, выгружаемых с лотка БЗУ, с поверхностью засыпи шихты (горизонтальный уровень засыпи 1.25 м) на ДП№9. Правое вращение лотка БЗУ.



а)

Рис.5. Изменение расхода дутья по воздушным фурмам ДП-9 после выгрузки порций шихтовых материалов в течение 8 часов при вращении лотка БЗУ по часовой стрелке и выпуском продуктов плавки через ЧЛ1 и ЧЛ3 для периода работы печи П.



б)

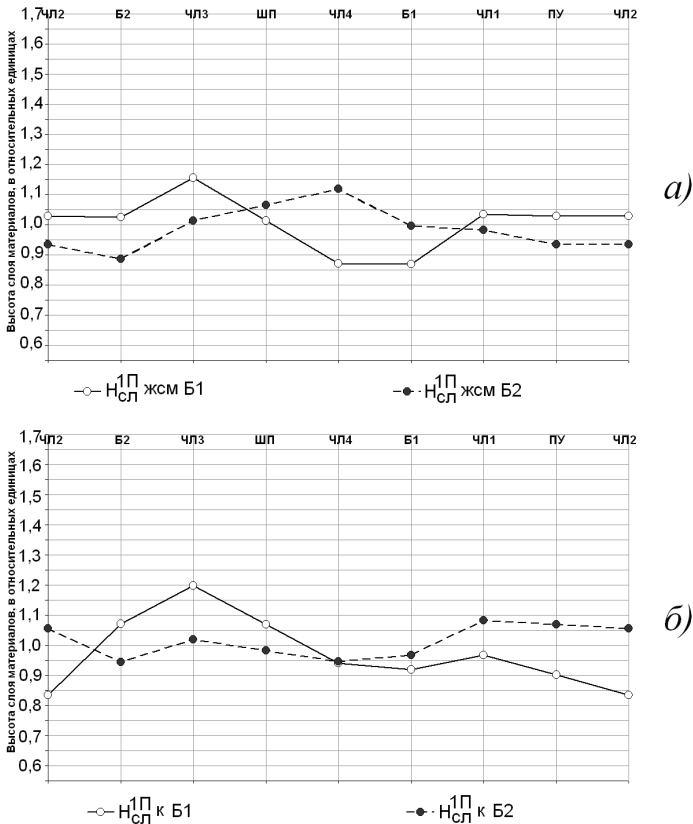


Рис.6. Изменение средней высоты слоев материалов по окружности колошника после выгрузки порций шихтовых материалов: ЖСМ (а) и К (б) в течение 8 часов при вращении лотка БЗУ по часовой стрелке для периода работы печи III. Правое вращение лотка БЗУ.

О ровности опускания шихты в печи можно судить по величине коэффициента вариации скоростей опускания шихтовых материалов в зонах сечения колошника. Коэффициент вариации ( $V_v^{\text{cp}}$ ) позволяет оценить относительную колеблемость скоростей опускания шихты в каждой из четырех зон сечения колошника. Как следует из табл.2, величина коэффициента вариации скоростей опускания шихтовых материалов для периодов работы II и III меньше, чем для периода I, исключение составляет зона II.



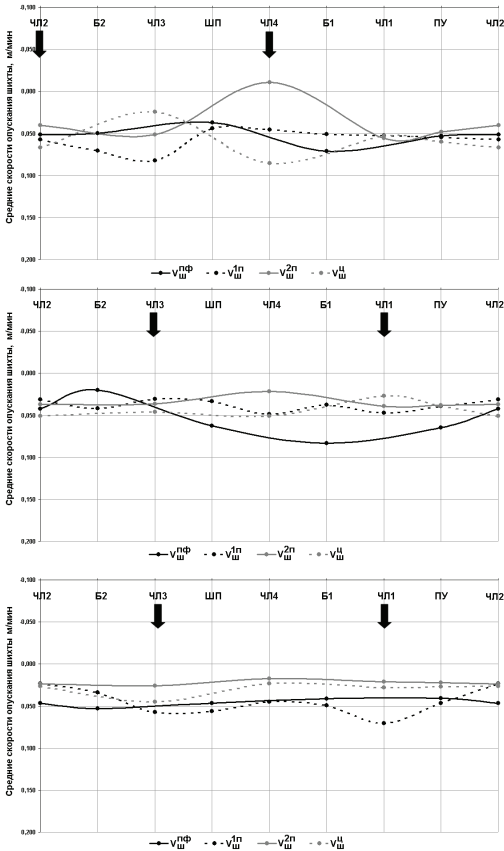


Рис.7. Изменение скоростей опускания шихты по окружности колошника ДП№9 после выгрузки порций шихтовых материалов в течение 8 часов при вращении лотка БЗУ против часовой стрелки (а) и по часовой стрелке (б, в) для периодов работы печи I, II и III.

↓ - выпуск продуктов плавки через летку

Эти выводы подтверждают сделанные ранее на ДП№9 заключения о выравнивании распределения дутья по фурмам при загрузке печи с вращением лоткового распределителя по часовой стрелке [6].

Таблица 2. Изменения величины среднеквадратичного отклонения  $\sigma_v^{cp}$  и коэффициента вариации  $v_v^{cp}$  скоростей опускания поверхности засыпи шихты I, II и III периодов работы ДП№9

Период работы печи	числитель— $\sigma_v^{cp}$ , знаменатель— $v_v^{cp}$			
	ПФ	IП	2П	Ц
I	$\frac{0,015}{0,274}$	$\frac{0,018}{0,216}$	$\frac{0,040}{0,421}$	$\frac{0,036}{0,403}$
II	$\frac{0,027}{0,443}$	$\frac{0,014}{0,311}$	$\frac{0,014}{0,337}$	$\frac{0,019}{0,396}$
III	$\frac{0,008}{0,200}$	$\frac{0,018}{0,328}$	$\frac{0,015}{0,301}$	$\frac{0,013}{0,395}$

Как указано ранее, в связи с выгрузкой шихты в каждую кольцевую зону не за целое число оборотов лотка в ней образуются незамкнутые кольца, формирующие различную окружную неравномерность. Для ее выравнивания используют прием «попарного перешагивания», когда выгрузка следующей пары порций железосодержащих материалов и кокса начинается со смещенного на  $60^\circ$  положения лоткового распределителя.

Сложность оценки образования незамкнутых колец непосредственно после выгрузки шихтовых материалов за каждый оборот вращения лотка с помощью радиолокационной системы заключается в том, что при этом образуется слой материала, не превышающий значение 0,1 м, находящееся в пределах погрешности измерения. Поэтому оценка влияния используемого на печи способа «попарного перешагивания» произведена следующим образом. Для 10-ти циклов загрузки печи I-го периода работы (табл.3, рис.8) проанализированы профили засыпи шихты, образованные после выгрузки порций материалов: 2-А 9-6; 4-АО 9-3; 7-АО 8-4; 9-АО 9-3.

Таблица 3. Среднеквадратичные отклонения уровней точек поверхности засыпи шихты в ПФ зоне сечения колошника за 10 циклов загрузки

№ цикла	$\sigma_{у.з.}^{ПФ}, м$			
	2 - А 9-6	4 - АО 9-3	7 - АО 8-4	9 - АО 9-3
1	0,056	0,059	0,081	0,112
2	0,163	0,102	0,085	0,110
ср 1,2	0,110	0,081	0,083	0,111
3	0,063	0,099	0,064	0,143
4	0,135	0,157	0,029	0,079
ср 3,4	0,099	0,128	0,047	0,111
5	0,094	0,079	0,121	0,099
<b>ср 1-5</b>	<b>0,102</b>	<b>0,099</b>	<b>0,076</b>	<b>0,109</b>
6	0,088	0,123	0,099	0,078
ср 5,6	0,091	0,101	0,110	0,089
7	0,009	0,027	0,101	0,106
8	0,121	0,149	0,044	0,197
ср 7,8	0,065	0,088	0,073	0,152
9	0,088	0,005	0,089	0,110
10	0,133	0,115	0,104	0,094
ср 9,10	0,111	0,060	0,097	0,102
<b>ср 6-10</b>	<b>0,088</b>	<b>0,084</b>	<b>0,087</b>	<b>0,117</b>
<b>ср 1-10</b>	<b>0,095</b>	<b>0,092</b>	<b>0,082</b>	<b>0,113</b>

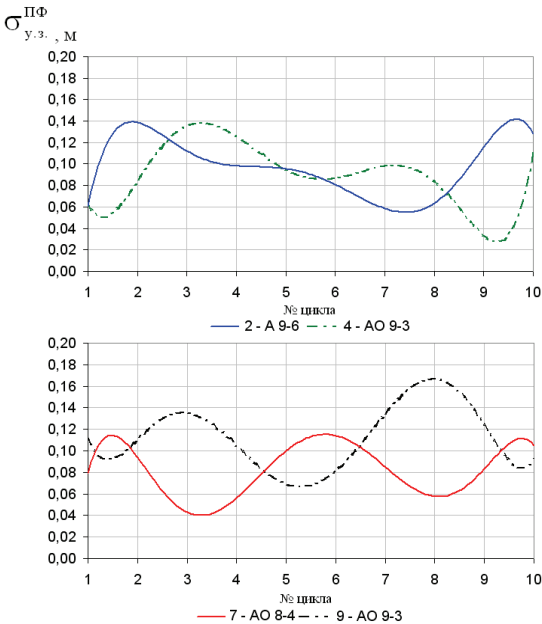


Рис.8. Изменение средне-квадратичных отклонений уровней точек поверхности засыпи в ПФ зоне сечения колошника за 10 циклов загрузки I-го периода работы печи.

Установлено, что при выгрузке порции 2–А 9–6 окружающая неравномерность уровней засыпи шихты во 2-ом цикле в зонах колошника наибольшая и значительно уменьшается к 7-ому циклу, а затем вновь начинает возрастать. При выгрузке порции 4–А 9–3 и 9–АО 9–3 окружающая неравномерность уровней засыпи

шихты в 3-ем и 7-ом циклах в зонах колошника наибольшая и значительно уменьшается к 5-ому и 9-ому циклам, а затем вновь начинает возрастать. При этом отклонения уровней по окружности колошника, образованные после выгрузки порции 9–АО 9–3, компенсируют отклонения, образованные после выгрузки предшествующей ей в цикле загрузки железорудной порции 7–АО 8–4, в результате чего происходит выравнивание поверхности засыпи по окружности колошника.

По нашему мнению, выравнивание окружной неравномерности по истечении нескольких циклов загрузки является подтверждением влияния приема «попарного перешагивания» на распределение материалов по сечению колошника.

Таким образом, при оценке с помощью радиолокационной системы влияния существующих приемов управления окружным распределением шихтовых материалов на формирование профиля засыпи, получены следующие результаты:

- подтверждено влияние смены вида шихтовых материалов в бункерах БЗУ и направления вращения лоткового распределителя шихты на формирование профиля засыпи по сечению колошника доменной печи. Эти результаты могут быть использованы при выборе периодичности применения указанных управляющих воздействий для выравнивания окружной неравномерности распределения шихты и газового потока в печи;
- подтверждено положительное влияние «попарного перешагивания» начала выгрузки шихтовых материалов из бункеров БЗУ по гараж-

ным положениям лоткового распределителя на выравнивание окружной неравномерности.

### **Заключение**

Выполненные с помощью профилемера исследования позволили оценить влияние существующих приемов управления окружным распределением шихты на формирование поверхности засыпи, что является необходимым этапом, предшествующим разработке рекомендаций по совершенствованию технологических приемов оценки и управления окружным распределением материалов.

1. *Большаков В.И.* Теория и практика загрузки доменных печей. – М.: Metallurgy, 1990. – 256 с.
2. *Доменное производство «Криворожстали».* Монография под ред. чл.корр. НАНУ В. И. Большакова. – КГГМК, ИЧМ. Дн-ск. – 2004. – 378 с.
3. *Большаков В.И.* Особенности управления окружным распределением шихты и газов в доменных печах. // *Металлургическая и горнорудная промышленность.* – 2001. – № 5. – С.80-84.
4. *Распределение шихты и газового потока в доменной печи большого объема / В.И.Большаков, И.Е.Варивода, С.Т.Шулико и др.* // *Прогрессивные процессы и оборудование металлургического производства.* Материалы Международной науч.-техн. конференции – Череповец: ЧГУ, 1998. – С. 15-18.
5. *Методика определения скоростей опускания шихты по сечению колошника в доменной печи.* / В.И.Большаков, И.Г.Муравьева, Ю.С.Семенов и др. // *Металлургическая и горнорудная промышленность.* – 2008. – №2. – С.114 – 118.
6. *Распределение дутья по окружности в доменной печи объемом 5000 м<sup>3</sup> при ее работе и выдувке.* / В.И.Большаков, С.Т.Шулико, В.В.Лебедь и др. // *Металлургическая и горнорудная промышленность.* – 2005. – №2. – С.10 – 13.

*Статья рекомендована к печати канд.техн.наук Н.М.Можаренко*