

**В.И.Большаков, В.В.Лебедь**

### **РАСЧЕТ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ШИХТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ НА КОЛОШНИКЕ С УЧЕТОМ ШИРИНЫ ПОТОКА**

Рассмотрены возможности ввода дополнительного параметра (ширины потока шихты) в алгоритм инженерной методики расчета показателей распределения. Представлены результаты предварительной оценки влияния ширины потока шихтовых материалов на их распределение по кольцевым зонам колошника.

#### **Современное состояние вопроса.**

Формирование рационального распределения шихтовых материалов по радиусу колошника является необходимым условием обеспечения высокой эффективности доменной плавки [1]. Бесконусные загрузочные устройства с лотковыми распределителями, расположенными над поверхностью засыпи, обладают широкими возможностями управления распределением шихтовых материалов на колошнике. Для рационального и оперативного использования этих возможностей необходимо совершенствовать методические основы расчета показателей распределения шихты в доменной печи.

Достоверная информация о фактическом распределении шихты по сечению печи необходима для разработки адекватных управляющих воздействий на распределение путем создания и обоснования рациональной программы загрузки. В процессе освоения лотковых загрузочных устройств на доменных печах большого объема при отсутствии как прямых средств контроля распределения шихты (профилемера), так и математических моделей, необходимо оперативно оценивать размещение на колошнике шихтовых материалов, выгруженных с использованием различных угловых позиций лотка в соответствии с программой загрузки. Распределение материалов на колошнике существенно зависит от величин углов наклона лотка, а также от уровня засыпи и профиля поверхности засыпи шихтовых материалов, на которые осуществляется загрузка.

В начале 80–х гг. в Институте черной металлургии были разработаны основные положения методики расчета [1], которые в настоящее время преобразованы в инженерную методику расчета показателей распределения шихтовых материалов по радиусу колошника. Методика основана на знании величин масс фактически выгружаемого с лотка на поверхность засыпи материала из позиций распределителя, заданных программой загрузки. Сравнение этих величин для каждой анализируемой программы загрузки позволяет оперативно определять направление изменений и осуществлять приближенную количественную оценку распределения материалов на колошнике как в ретроспективном, так и в перспективном анализе программ загрузки.

Исходными данными в алгоритме инженерной методики являются состав подачи и матрица деления порций цикла загрузки по позициям лотка БЗУ. Для расчета рудных нагрузок сначала осуществляется суммирование количества (масс) шихтовых материалов каждого вида (кокса и железорудных материалов) по угловым позициям лоткового распределителя за цикл загрузки, а после этого вычисляются отношения суммарных масс [1]:

$$Q_{Жi} = \sum_{n=1}^N Q_{Жin}, \quad Q_{Ki} = \sum_{n=1}^N Q_{Kin}, \quad R_i = \frac{Q_{Жi}}{Q_{Ki}}, \quad (1)$$

где  $i$  – номер угловой позиции лотка БЗУ;  $n$  – номер порции в цикле загрузки.  $N$  – количество порций в цикле загрузки;  $Q_{Жi}$ ,  $Q_{Ki}$  – суммарные массы железорудных материалов и кокса в  $i$ -ой позиции лоткового распределителя.  $R_i$  – рудная нагрузка в  $i$ -ой позиции лоткового распределителя.

Расчет объемов шихтовых материалов осуществляется аналогично расчету суммарных масс [1].

$$V_{Ж} = \frac{Q_{Ж}}{\gamma_{Ж}}, \quad V_{К} = \frac{Q_{К}}{\gamma_{К}},$$

$$V_{Жi} = \sum_{n=1}^N V_{Жin}, \quad V_{Ki} = \sum_{n=1}^N V_{Kin}, \quad V_i = V_{Жi} + V_{Ki}, \quad (2)$$

где  $\gamma_{Ж}$ ,  $\gamma_{К}$  – насыпные массы железорудных материалов и кокса;  $V_{Жi}$ ,  $V_{Ki}$ ,  $V_i$  – суммарные объемы железорудных материалов, кокса и общий объем в  $i$ -ой позиции лоткового распределителя.

Для удобства сопоставления программ загрузки с отличающимися массой подачи и средней рудной нагрузкой в качестве показателей используются относительная рудная нагрузка  $R_i^{\text{отн}}$  и относительный объем  $\delta_i$  [1]:

$$R_i^{\text{отн}} = \frac{R_i}{R_{\text{ср}}}, \quad \delta_i = \frac{V_i}{V_{\text{общ}}}, \quad (3)$$

где  $R_{\text{ср}}$  – средняя рудная нагрузка за цикл загрузки,  $V_{\text{общ}}$  – суммарный общий объем шихты за цикл загрузки.

Методика позволяет на основе программы загрузки оперативно оценить характер распределения шихтовых материалов по радиусу колошника доменной печи. Расчет показателей распределения ведется по данным о количестве различных шихтовых материалов, выгружаемых в печь из определенных угловых позиций лоткового распределителя. Следует отметить, что такой расчет распределения шихтовых материалов отражает распределение материалов по угловым позициям лотка и является в большей степени оценкой программы загрузки, приближенно характеризует распределение шихтовых материалов по поверхности засыпи на колошнике. В этом варианте инженерной методики не учитываются такие параметры распределения, как ширина потока материалов, их перетекание

и перераспределение в зонах по радиусу колошника, влияние газового потока и профиля поверхности засыпи. Результаты расчета не дают точных фактических, величин показателей распределения шихты на колошнике, а являются приближенным количественным их отображением. Однако и в таком виде методика позволяет оценивать программу загрузки до ее установки в системе управления технологическим процессом, сравнивать её с другими программами загрузки печи и при необходимости корректировать.

Эффективность и целесообразность применения рассчитанных по инженерной методике показателей распределения для сравнительной оценки программ загрузки подтверждены практикой [2, 3]. Простота алгоритма расчета обеспечивает ряд преимуществ перед математическими моделями: возможность оперативного применения при изменении режима загрузки или хода печи; надежность получаемых результатов из-за отсутствия в расчете неопределенных исходных данных; удобство использования для технологического персонала.

Результаты исследований и опыт применения инженерной методики при освоении доменных печей подтвердили целесообразность дальнейшего совершенствования методики расчета без её существенного усложнения и без учета неопределенных и изменяющихся факторов. В качестве факторов, влияющих на точность результатов расчета укажем ширину потока материалов при движении от лотка до поверхности засыпи, распределение интенсивности потока по его ширине, формирование засыпи вблизи колошниковой защиты, движение материалов по откосу поверхности засыпи и смещение кокса при выгрузке на него железорудных материалов, влияние предыдущих колец на распределение массы последующих по поверхности засыпи и др. В настоящей работе рассмотрены вопросы приближенной оценки влияния ширины потока на формирование показателей распределения.

Инженерная методика реализована в виде удобной и простой компьютерной программы [2] и продолжает совершенствоваться. В частности при расчете показателей распределения в алгоритме усовершенствованной инженерной методики может учитываться ширина потока и содержание в смешанных порциях шихтовых материалов разных видов. При загрузке порций в виде смеси железосодержащих материалов с коксом или другими добавками (кокс + окатыши, кокс + шлак, агломерат + окатыши + антрацит) для более точного расчета показателей распределения шихты приближенно задается размещение добавок в соответствии с особенностями формирования смешанных порций на шихтоподаче.

#### **Изложение основных материалов исследований.**

Результаты предпусковых исследований и визуальных наблюдений при загрузке различных доменных печей позволяют предположить, что ширина потока шихтовых материалов при их загрузке в печь на рабочем уровне засыпи составляет 0,8–1,0 м. Сопоставляя ширину потока с шири-

ной равновеликих кольцевых зон при радиусе колошника 5,4 м и разбивке сечения печи на 10 зон (табл.1) можно заметить, что существенная часть материалов потока попадает в соседние зоны, особенно при выгрузке из позиций лотка, соответствующих периферийным зонам.

Таблица 1. Параметры кольцевых равновеликих по площади зон колошника (при  $r_{\text{кол}}=5,4$  м).

Параметр	Номер кольцевой зоны									
	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
Расстояние от оси печи до внешней границы, м	5,40	5,12	4,83	4,52	4,18	3,82	3,42	2,96	2,41	1,71
Расстояние от оси печи до середины зоны, м	5,26	4,98	4,67	4,35	4,00	3,62	3,19	2,69	2,06	0,85
Ширина зоны, м	0,28	0,29	0,31	0,34	0,36	0,40	0,46	0,54	0,71	1,71

Ширина потока определяется расходом шихтовых материалов при выгрузке их из бункера, конструктивными особенностями лотка и его футеровки, скоростью вращения и углом наклона лотка, гранулометрическим составом шихтовых материалов и другими факторами. При этом на конкретной печи при постоянстве геометрических параметров БЗУ и незначительных изменениях в режиме загрузки относительно стабильными остаются и параметры потока шихтовых материалов, ссыпающихся с лотка. Таким образом, используя допущение, что плотность потока в горизонтальном сечении распределена равномерно, представляется возможным учесть ширину потока в алгоритме инженерной методики при расчете показателей распределения и выполнить приближенную оценку этого фактора.

На основе результатов предпусковых исследований на доменной печи полезным объемом  $5000 \text{ м}^3$  с радиусом колошника 5,4 м в качестве средней ширины потока на рабочем уровне засыпи можно принять 1,0 м, тогда границы потока будут располагаться в соответствии с таблицей 2.

Таблица 2. Расположение в горизонтальном сечении колошника границ потока шихтовых материалов при их загрузке в печь из различных угловых позиций лотка БЗУ и ширине потока 1,0 м.

Параметр	Номер угловой позиции лотка									
	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
Расстояние от оси печи до внешней границы, м	5,76	5,48	5,17	4,85	4,50	4,12	3,69	3,19	2,56	1,35
Расстояние от оси печи до внутренней границы, м	4,76	4,48	4,17	3,85	3,50	3,12	2,69	2,19	1,56	0,35

На рис.1 представлена схема распределения доли массы порции по кольцевым зонам колошника при условии, что весь материал, выгруженный на каждой заданной позиции лотка попадает целиком в соответствующую кольцевую зону (рис.1,а) и с учетом ширины потока (рис.1,б) при загрузке порции шихтовых материалов из угловых позиций лотка 9–3 по программе:

Угловая позиция лотка	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
Доля массы порции, %	–	17	23	15	12	13	14	6	–	–

Как видно из рис.1, при ширине потока 1,0 м часть материала попадает в соседние зоны, исключение составляет лишь приосевая зона, ширина которой больше ширины потока.

По данным табл. 1 и 2 можно определить распределение ширины потока по кольцевым зонам колошника при выгрузке порций шихтовых материалов из различных угловых позиций лоткового распределителя, которое представлено в табл.3. Следует отметить, что части потока материалов, отражающиеся от колошниковой защиты с позиций лотка 10 и 9) размещаются в 10–й кольцевой зоне.

При равномерном распределении плотности потока по его ширине (в первом приближении принята равной 1,0 м) данные табл.3 позволяют получить массив значений долей ширины потока, попадающих в каждую кольцевую зону:

$$k_{ji} = \frac{b_{ji}}{b_i}, \quad (4)$$

где  $b_{ji}$  – ширина части потока материалов, выгружаемых из  $i$ -й позиции лотка, которая попадает в  $j$ -ю кольцевую зону колошника;  $b_i$  – общая ширина потока материалов, выгружаемых из  $i$ -й позиции лотка;  $k_{ji}$  – доля общей ширины потока материалов, выгружаемых из  $i$ -й позиции лотка, которая попадает в  $j$ -ю кольцевую зону колошника.



Тогда количество шихтовых материалов попадающих в  $j$ -ю кольцевую зону будет равно:

$$Q'_j = \sum_i k_{ji} Q_i, \quad (5)$$

где  $i$  – номер угловой позиции лотка БЗУ;  $Q_i$  – количество (масса) шихтовых материалов, выгружаемых в  $i$ -ю позицию лоткового распределителя.

Из табл.3 по выражениям (4) и (5) с учетом принятой ширины потока 1,0 м (одинаковой для всех угловых позиций лотка) получаем следующие выражения:

$$Q'_{10} = 0,64 \cdot Q_{10} + 0,36 \cdot Q_9 + 0,05 \cdot Q_8 \quad (6)$$

$$Q'_9 = 0,29 \cdot Q_{10} + 0,29 \cdot Q_9 + 0,29 \cdot Q_8 + 0,02 \cdot Q_7 \quad (7)$$

$$Q'_8 = 0,07 \cdot Q_{10} + 0,31 \cdot Q_9 + 0,31 \cdot Q_8 + 0,31 \cdot Q_7 \quad (8)$$

$$Q'_7 = 0,04 \cdot Q_9 + 0,34 \cdot Q_8 + 0,34 \cdot Q_7 + 0,32 \cdot Q_6 \quad (9)$$

$$Q'_6 = 0,01 \cdot Q_8 + 0,33 \cdot Q_7 + 0,36 \cdot Q_6 + 0,3 \cdot Q_5 \quad (10)$$

$$Q'_5 = 0,32 \cdot Q_6 + 0,4 \cdot Q_5 + 0,27 \cdot Q_4 \quad (11)$$

$$Q'_4 = 0,3 \cdot Q_5 + 0,46 \cdot Q_4 + 0,23 \cdot Q_3 \quad (12)$$

$$Q'_3 = 0,27 \cdot Q_4 + 0,55 \cdot Q_3 + 0,15 \cdot Q_2 \quad (13)$$

$$Q'_2 = 0,22 \cdot Q_3 + 0,70 \cdot Q_2 \quad (14)$$

$$Q'_1 = 0,15 \cdot Q_2 + Q_1 \quad (15)$$

Расчет показателей распределения  $R_i$ ,  $V_i$ ,  $R_i^{\text{отн}}$ ,  $\delta_i$  с учетом ширины осуществляется по выражениям (1)–(3).

В качестве исходных данных для расчета показателей распределения принята программа загрузки, применявшаяся на доменной печи объемом 5000 м<sup>3</sup>. Состав подачи был следующим: кокс (К) – 27 т, агломерат (А) – 82 т, окатыши (О) – 16 т, известняк – 1,4 т, антрацит – 2,8 т, шлак обогащенный (Ш) – 1,6 т, чугунистый скрап – 1,4 т. Деление массы порций в цикле загрузки по позициям лоткового распределителя приведен в табл.4.

Для предварительной оценки влияния ширины потока шихтовых материалов на их распределение по кольцевым зонам в табл. 5 и 6 представлены результаты расчета показателей распределения по инженерной методике без учета ширины потока (выражения (1)–(3)) и с учетом ширины потока равной 1 м (выражения (1)–(15)). Соответствующее распределение по радиусу колошника рудных нагрузок и объемов представлено на рис.2. Следует отметить, что в табл. 5 и 6 распределение каждой смешанной железорудной порции по кольцевым зонам представлено в двух строках, так как в составе этих порций присутствует топливная добавка – антрацит, который относится к коксовой части подачи и поэтому для корректного расчета рудной нагрузки выделен в отдельную строку и учитывается как кокс. Соответствие добавки (антрацита) кольцевым зонам определяется, как указывалось выше, исходя из особенностей формирования смешанных порций на шихтоподаче. Как видно из табл.5–6 и рис.2, распределение рудных нагрузок и объемов шихтовых материалов по радиусу колошника, рассчитанное с учетом ширины потока отличается несколько большей рав-

номерностью, при этом объемы шихты более смещены к оси печи.

Таблица 4. Распределение массы порций (%) шихтовых материалов по угловым позициям лотка в соответствии с программой загрузки доменной печи объемом 5000 м<sup>3</sup>.

№ порции	Вид материала, угловые позиции лотка	Номер угловой позиции лотка								
		9	8	7	6	5	4	3	2	1
1	К 8–4		20	20	20	20	20			
2*	АО 9–4	16	27	19	12	11	15			
3	К 8–4		12	22	21	22	23			
4*	АОШ 9–3	15	26	18	11	10	14	6		
5	К 3–1							25	25	50
6	К 8–4		11	22	22	22	23			
7*	АО 9–4	16	27	19	12	11	15			
8	К 8–4		12	22	21	22	23			
9*	АОШ 9–3	15	26	18	12	10	13	6		
10	К 2–1								30	70

\* В состав железорудных порций (№№ 2, 4, 7, 9) входят также известняк, антрацит и чугунистый скрап, которые в обозначениях вида материала не указаны.

Ввод в алгоритм инженерной методики ширины потока не приводит к существенному его усложнению, однако при этом дает ряд преимуществ. Учет ширины потока позволяет осуществлять расчет показателей распределения практически по всему радиусу колошника, а не только в зонах, соответствующих используемым в программе загрузки угловым позициям лотка. Как видно из рис.2, при отсутствии учета ширины потока расчет показателей распределения на периферии колошника затруднен: придется объединять (усреднять) величины показателей в смежных зонах. Кроме того, распределение шихтовых материалов, рассчитанное с учетом ширины потока, в большей мере соответствует распределению газового потока (рис.2,а). Величины коэффициентов корреляции ( $r_{xy}$ ) содержания оксида углерода CO<sub>2</sub> в газе и расчетных рудных нагрузок в кольцевых равновеликих зонах колошника составляют:  $r_{xy}=0,52$  – при расчете показателей распределения с учетом ширины потока материалов,  $r_{xy}=0,43$  – при расчете без учета ширины потока. Приведенные величины коэффициента корреляции свидетельствуют об отсутствии тесной взаимосвязи, однако, тенденция увеличения коэффициента при расчете распределения с учетом ширины потока свидетельствует о корректности нового подхода.



Таблица 5. Распределение шихтовых материалов по кольцевым зонам ко-  
лошника ДП объемом 5000 м<sup>3</sup> без учета ширины потока.

№ пор- ции	Программа загрузки		Угловая позиция распределителя								Всего			
			10	9	8	7	6	5	4	3		2	1	
10	К 2-1	к										5,70	13,30	19,00
9	ААОШ 9-3	ж	15,77	27,33	17,52	11,22	10,51	13,67	6,31					102,33
		к			1,40	1,40								2,80
8	КК 8-4	к		2,10	3,85	3,68	3,85	4,03						17,50
7	ААО 9-4	ж	16,31	27,52	17,97	10,83	11,21	15,29						99,13
		к			1,40	1,40								2,80
6	КК 8-4	к		1,93	3,85	3,85	3,85	4,03						17,50
5	КК 3-1	к							4,75	4,75	9,50			19,00
4	ААОШ 9-3	ж	16,77	29,07	18,72	10,90	11,18	15,65	6,71					109,00
		к			1,40	1,40								2,80
3	КК 8-4	к		2,10	3,85	3,68	3,85	4,03						17,50
2	ААО 9-4	ж	16,31	27,52	17,97	10,83	11,21	15,29						99,13
		к			1,40	1,40								2,80
1	КК 8-4	к		3,50	3,50	3,50	3,50	3,50						17,50
$Q_{ж}, \text{т}$			0,00	65,16	111,45	72,18	43,78	44,12	59,90	13,02	0,00	0,00		409,6
$Q_{к}, \text{т}$			0,00	0,00	9,63	20,65	20,30	15,05	15,58	4,75	10,45	22,80		119,2
$R_{ж}, \text{т/т}$			-	$\infty$	<b>11,58</b>	<b>3,50</b>	<b>2,16</b>	<b>2,93</b>	<b>3,85</b>	<b>2,74</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>		<b>3,44</b>
$R_{к}, \text{т/т}$				<b>18,35</b>		<b>3,50</b>	<b>2,16</b>	<b>2,93</b>	<b>3,85</b>	<b>2,74</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>		<b>3,44</b>
$V_{ж}, \text{м}^3$			0,00	32,58	55,72	36,09	21,89	22,06	29,95	6,51	0,00	0,00		204,8
$V_{к}, \text{м}^3$			0,00	0,00	19,25	41,30	40,60	30,10	31,15	9,50	20,90	45,60		238,4
$V_{общ}, \text{м}^3$			0,00	32,58	74,97	77,39	62,49	52,16	61,10	16,01	20,90	45,60		443,2

Таблица 6. Распределение шихтовых материалов по кольцевым зонам ко-  
лошника ДП объемом 5000 м<sup>3</sup> с учетом ширины потока 1 м.

№ пор- ции	Программа загрузки		Угловая позиция распределителя								Всего			
			10	9	8	7	6	5	4	3		2	1	
10	К 2-1	к								0,86	3,99	14,16		19,00
9	ААОШ 9-3	ж	7,04	12,85	18,79	19,47	13,25	11,48	10,89	7,16	1,39			102,33
		к	0,03	0,03	0,43	0,92	0,97	0,45						2,80
8	КК 8-4	к	0,11	0,69	1,84	3,20	3,77	3,80	3,01	1,09				17,50
7	ААО 9-4	ж	7,25	13,07	19,16	19,58	13,47	12,08	10,40	4,13				99,13
		к		0,03	0,43	0,92	0,97	0,45						2,80
6	КК 8-4	к	0,10	0,64	1,79	3,20	3,83	3,86	3,01	1,09				17,50
5	КК 3-1	к							1,09	3,33	4,37	10,21		19,00
4	ААОШ 9-3	ж	7,49	13,67	20,01	20,41	13,75	12,19	12,10	7,92	1,48			109,00
		к		0,03	0,43	0,92	0,97	0,45						2,80
3	КК 8-4	к	0,11	0,69	1,84	3,20	3,77	3,80	3,01	1,09				17,50
2	ААО 9-4	ж	7,25	13,07	19,16	19,58	13,47	12,08	10,40	4,13				99,13
		к		0,03	0,43	0,92	0,97	0,45						2,80
1	КК 8-4	к	0,18	1,09	2,17	3,50	3,50	3,47	2,66	0,95				17,50
$Q_{ж}, \text{т}$			29,03	52,66	77,12	79,05	53,93	47,83	43,78	23,33	2,86	0,00		409,60
$Q_{к}, \text{т}$			0,48	3,20	9,39	16,79	18,73	16,72	12,77	8,39	8,36	24,37		119,20
$R_{ж}, \text{т/т}$			<b>60,32</b>	<b>16,43</b>	<b>8,22</b>	<b>4,71</b>	<b>2,88</b>	<b>2,86</b>	<b>3,43</b>	<b>2,78</b>	<b>0,34</b>	<b>0,00</b>		<b>3,44</b>
$R_{к}, \text{т/т}$				<b>12,15</b>		<b>4,71</b>	<b>2,88</b>	<b>2,86</b>	<b>3,43</b>	<b>2,78</b>	<b>0,34</b>	<b>0,00</b>		<b>3,44</b>
$V_{ж}, \text{м}^3$			14,51	26,33	38,56	39,52	26,97	23,91	21,89	11,67	1,43	0,00		204,80
$V_{к}, \text{м}^3$			0,96	6,41	18,77	33,58	37,47	33,44	25,54	16,77	16,72	48,74		238,40
$V_{общ}, \text{м}^3$			15,48	32,74	57,33	73,10	64,43	57,36	47,44	28,44	18,15	48,74		443,20

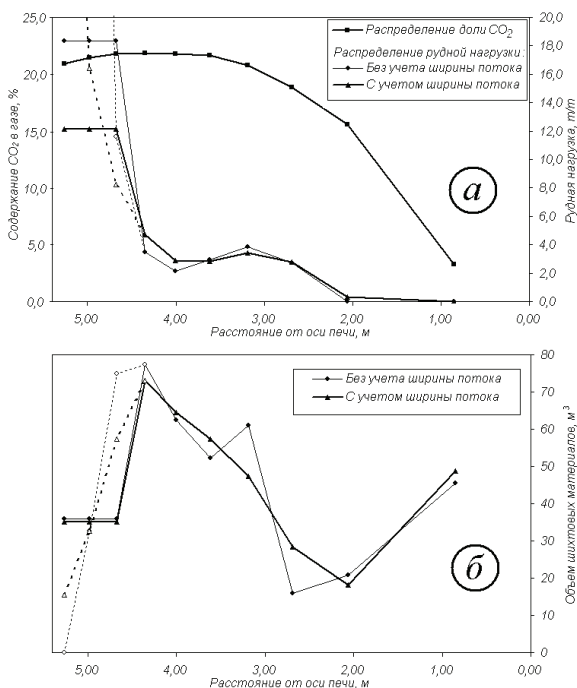


Рис.2. Расчетное распределение рудных нагрузок и фактическое распределение доли CO<sub>2</sub> в газе (а) по радиусу доменной печи объемом 5000 м<sup>3</sup>, распределение объемов без учета и с учетом ширины потока (б).

Небольшие значения коэффициента корреляции распределения расчетных рудных нагрузок и доли CO<sub>2</sub> в газе по радиусу печи для вышеприведенной 10–порционной программы загрузки обусловлены сложностями в учете распределения различных составляющих многокомпонентной шихты и взаимной укладки большого количества слоев, сформированных порциями материалов в цикле загрузки.

В табл. 7 и 8 приведены результаты расчета показателей распределения без учета и с учетом ширины потока для двухстрочной (двухпорционной) программы загрузки, применявшейся на доменной печи объемом 5500 м<sup>3</sup>. Состав подачи был следующим: кокс (К) – 34 т, агломерат (А) – 104 т, окатыши (О) – 26 т. Деление массы порции кокса К8–4 по позициям лоткового распределителя равномерное – по 6,8 т в позицию, а деление массы смешанной железорудной порции АО 9–4 – неравномерное: 25т, 27 т, 26 т, 24т, 18т и 10т, соответственно, в позиции лотка 9, 8, 7, 6, 5 и 4. Распределение по радиусу колошника расчетных нагрузок и объемов представлено на рис.3,а–3,б. Отметим, что в табл. 5–8 результаты расчета рудных нагрузок в кольцевых зонах приведены в двух строках: в первой расчет формальный, а во второй с усреднением в периферийных зонах. Опыт использования методики на практике показывает, что второй вариант распределения значительно ближе к реальному.

Таблица 7. Распределение шихтовых материалов по кольцевым зонам колошника ДП объемом 5500 м<sup>3</sup> без учета ширины потока.

№ порции	Программа загрузки		Угловая позиция распределителя									Всего	
			10	9	8	7	6	5	4	3	2		1
2	АО 9-4	ж		25,0	27,0	26,0	24,0	18,0	10,0				130,0
1	К 8-4	к			6,8	6,8	6,8	6,8	6,8				34,0
$Q_{ж}, \text{т}$			0,00	25,00	27,00	26,00	24,00	18,00	10,00	0,00	0,00	0,00	130,0
$Q_{к}, \text{т}$			0,00	0,00	6,80	6,80	6,80	6,80	6,80	0,00	0,00	0,00	34,0
$R_{i_1}, \text{т/т}$			-	$\infty$	<b>3,97</b>	<b>3,82</b>	<b>3,53</b>	<b>2,65</b>	<b>1,47</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>3,82</b>
$R_{i_2}, \text{т/т}$				<b>7,65</b>		<b>3,82</b>	<b>3,53</b>	<b>2,65</b>	<b>1,47</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>3,82</b>
$V_{ж}, \text{м}^3$			0,00	12,50	13,50	13,00	12,00	9,00	5,00	0,00	0,00	0,00	65,0
$V_{к}, \text{м}^3$			0,00	0,00	13,60	13,60	13,60	13,60	13,60	0,00	0,00	0,00	68,0
$V_{общ}, \text{м}^3$			0,00	12,50	27,10	26,60	25,60	22,60	18,60	0,00	0,00	0,00	133,0

Таблица 8. Распределение шихтовых материалов по кольцевым зонам колошника ДП объемом 5500 м<sup>3</sup> с учетом ширины потока 1 м.

№ порции	Программа загрузки		Угловая позиция распределителя									Всего	
			10	9	8	7	6	5	4	3	2		1
2	АО 9-4	ж	10,35	15,60	24,18	26,70	22,89	17,58	10,00	2,70			130,00
1	К 8-4	к	0,34	2,11	4,22	6,80	6,80	6,73	5,17	1,84			34,00
$Q_{ж}, \text{т}$			10,35	15,60	24,18	26,70	22,89	17,58	10,00	2,70	0,00	0,00	130,00
$Q_{к}, \text{т}$			0,34	2,11	4,22	6,80	6,80	6,73	5,17	1,84	0,00	0,00	34,00
$R_{i_1}, \text{т/т}$			<b>30,44</b>	<b>7,40</b>	<b>5,74</b>	<b>3,93</b>	<b>3,37</b>	<b>2,61</b>	<b>1,93</b>	<b>1,47</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>3,82</b>
$R_{i_2}, \text{т/т}$				<b>7,52</b>		<b>3,93</b>	<b>3,37</b>	<b>2,61</b>	<b>1,93</b>	<b>1,47</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>3,82</b>
$V_{ж}, \text{м}^3$			5,18	7,80	12,09	13,35	11,45	8,79	5,00	1,35	0,00	0,00	65,0
$V_{к}, \text{м}^3$			0,68	4,22	8,43	13,60	13,60	13,46	10,34	3,67	0,00	0,00	68,0
$V_{общ}, \text{м}^3$			5,86	12,02	20,52	26,95	25,05	22,25	15,34	5,02	0,00	0,00	133,0

Как видно из табл. 7–8 и рис.3,а–3,б ввод ширины потока в алгоритм расчета показателей распределения шихты для двухпорционной (двухпорционной) программы приводит к изменению характера распределения, но при этом изменения не так существенны, как при десятипорционной программе загрузки.

На рис.3,а представлена диаграмма фактического радиального распределения содержания CO<sub>2</sub> в газе. Взаимосвязь содержания CO<sub>2</sub> в газе и расчетных рудных нагрузок в кольцевых равновеликих зонах колошника без учета и с учетом ширины потока характеризуется коэффициентами корреляции  $r_{xy}=0,77$  и  $r_{xy}=0,79$ , соответственно. Приведенные величины коэффициента корреляции для 2–порционной программы загрузки свидетельствуют о наличии более тесной взаимосвязи, чем в случае с 10–порционной программой, при этом ввод в алгоритм методики ширины потока не приводит к заметному изменению величины коэффициента корреляции.

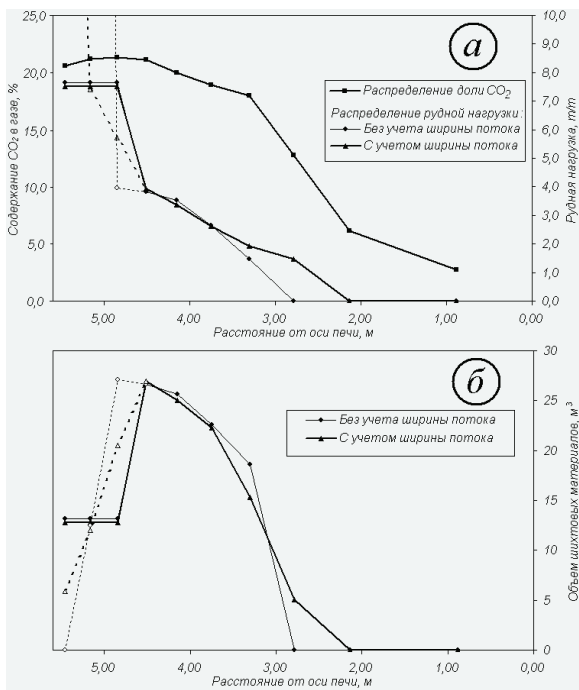


Рис.3. Расчетное распределение рудных нагрузок и фактическое распределение доли  $\text{CO}_2$  в газе (а) по радиусу доменной печи объемом  $5500 \text{ м}^3$ , распределение объемов без учета и с учетом ширины потока (б).

Следует отметить, что проблемы, связанные с учетом распределения рудных нагрузок и объемов шихты в периферийной и осевой зонах сохраняются и требуют введения некоторых допущений или учета дополнительных особенностей формирования слоев в этих зонах. В дальнейшем на основе полученных взаимосвязей показателей распределения шихтовых материалов и распределения газового потока представляется возможным создание более совершенной методики для обоснованного управления радиальным распределением шихты посредством корректировки программы загрузки.

### Заключение.

Оснащение доменных печей бесконусными загрузочными устройствами вызвало необходимость разработки новых методических основ управления загрузкой. В Институте черной металлургии разработана инженерная методика расчета показателей распределения, которая позволяет оперативно оценивать программы загрузки до их установки в системе управления технологическим процессом. Простота алгоритма расчета имеет ряд преимуществ перед математическими моделями.

В настоящее время инженерная методика продолжает совершенствоваться. При расчете показателей распределения в алгоритме усовершенствованной инженерной методики учитывается многокомпонентность шихты. Распределение рудных нагрузок и объемов шихтовых материалов по

радиусу колошника, рассчитанное с учетом ширины потока отличается большей равномерностью, при этом объемы шихты более смещены к оси печи. Ввод в алгоритм инженерной методики ширины потока не приводит к существенному его усложнению, однако при этом дает ряд преимуществ. Учет ширины потока позволяет осуществлять расчет показателей распределения по всему радиусу колошника, а не только в зонах, соответствующих используемым в программе загрузки угловым позициям лотка.

Распределение шихтовых материалов, рассчитанное с учетом ширины потока, в большей мере соответствует распределению газового потока, что подтверждается увеличением значений коэффициентов корреляции ( $r_{xy}$ ) содержания оксида углерода  $CO_2$  в газе и расчетных рудных нагрузок в кольцевых равновеликих зонах и свидетельствует о корректности и перспективности нового подхода.

Небольшие значения коэффициента корреляции распределения расчетных рудных нагрузок и доли  $CO_2$  в газе по радиусу печи для 10–порционной программы загрузки в сравнении с 2–порционной обусловлены сложностями в учете распределения различных составляющих многокомпонентной шихты и взаимной укладки большого количества слоев, сформированных порциями материалов в цикле загрузки.

1. *Большаков В.И.* Теория и практика загрузки доменных печей. – М.: Металлургия, 1990. – 256 с.
2. *В.И.Большаков, Ф.М.Шутылев, В.В.Лебедь.* Инженерная методика расчета показателей распределения шихты для доменных печей, оснащенных БЗУ // *Металлургическая и горнорудная промышленность.* – 2006. – №2. – С.76–80.
3. *В.И.Большаков, В.В.Лебедь.* Применение инженерной методики для оценки и выбора программ загрузки доменной печи // *Металлургическая и горнорудная промышленность.* – 2006. – №4. – С.36–39.

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