

В.И.Большаков, В.В.Лебедь, С.Т.Шулико

**РЕГУЛИРОВАНИЕ РАДИАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ШИХТОВЫХ
МАТЕРИАЛОВ И ГАЗОВОГО ПОТОКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
ПОДВИЖНЫХ ПЛИТ КОЛОШНИКА**

Приведены результаты разработки и освоения программ загрузки доменной печи, оснащенной подвижными плитами колошника. Показано, что важным условием обеспечения обоснованного выбора программ загрузки является проведение предпусковых исследований загрузки шихтовых материалов в печь.

Современное состояние вопроса.

Одним из основных управляющих воздействий на ход плавки при использовании различных загрузочных устройств является формирование структуры столба шихтовых материалов с рациональным распределением компонентов по радиусу и окружности печи, что обеспечивается программой загрузки печи шихтовыми материалами [1]. Опыт эксплуатации подвижных плит колошника на доменных печах (ДП) Японии, Германии, Франции, Голландии и России показал возможность регулирования соотношения газопроницаемости шихты на периферии и по оси печи. Эффективность применения подвижных плит определяется рациональным выбором программы загрузки и уровнем квалификации технологического персонала при применении единичных воздействий для устранения отклонений в распределении газового потока. При этом технологический и экономический эффект выражается в уменьшении удельного расхода кокса (на 1–3% в зависимости от состава шихты, а также от существовавшего прежде уровня потребления топлива) и тепловой нагрузки на стены шахты, увеличении производительности печей и межремонтного периода работы футеровки шахты [2–4].

В работе [5] на основании сравнительного анализа эффективности различных загрузочных устройств было показано, что применение подвижных плит на колошнике позволяет несколько увеличить эффективность управления распределением шихты в доменных печах, однако требует обеспечения высокой надежности многодвигательного гидропривода подвижных плит и системы управления их работой. Недостаточная надежность работы подвижных плит приводит к уменьшению эффективности их применения. Ярким примером оснащения доменных печей новыми загрузочными устройствами является опыт Японии [6], где в 1982 г. из 66 печей 11% были оснащены бесконусными загрузочными устройствами (БЗУ), а 61% оснащены конусными ЗУ с подвижными плитами. Уже в 1988 г. из 38 работающих ДП 40% были оснащены БЗУ, а 48% – ЗУ с подвижными плитами. С 1986 по 2005 год на всех вновь построенных и реконструированных печах устанавливались исключительно БЗУ [6]. В России ЗУ с подвижными плитами применялись только на печах Кузнец-

кого металлургического завода и на ДП №3 Западно–Сибирского меткомбината. Доменные печи заводов Украины до 2007 года ЗУ с подвижными плитами не оснащались. Изложенное позволяет констатировать, что ДП №5 ОАО «Енакиевский металлургический завод» (ЕМЗ) во время реконструкции в 2007 г. была оснащена ЗУ морально устаревшей конструкции, не обеспечивающим эффективное управление распределением шихты.

Изложение основных материалов исследований.

На доменной печи №5 ОАО «ЕМЗ» в 2007 г. во время капитального ремонта 1–го разряда с реконструкцией печи и увеличением ее объема с 1033 м³ до 1513 м³ по проекту «Гипростали» (г. Харьков) было установлено клапанное двухконусное загрузочное устройство с подвижными плитами колошника.

Оборудование подвижных плит колошника (ППК) конструкции ОАО «Днепрогидромаш» включает 16 плит с индивидуальными гидроприводами, питаемыми от общей насосной станции. Каждый комплект (секция) включает в себя собственно плиту, которая соединена со штоком гидроцилиндра, гидропривод и датчики положения плиты, при помощи которых осуществляются контроль и фиксация положения каждой подвижной плиты. Плиты могут устанавливаться в четырех рабочих положениях с различными углами наклона к вертикали (1 – 0°; 2 – 17°; 3 – 25°; 4 – 36°). Система управления гидроцилиндром каждой плиты является составной частью автоматизированной системы управления загрузкой доменной печи. Штатный режим работы подвижных плит – автоматизированный, то есть, перед выгрузкой каждой подачи плиты должны устанавливаться в заданное рабочее положение в соответствии с программой загрузки. Расположение ППК и оборудования ДП №5 показано на рис.1.

Выбор программ и отработка рационального режима загрузки ДП №5 в раздувочном периоде с целью выхода ее на стабильный режим работы с увеличением суточного производства чугуна до уровня 3000 т/сут, выполнялась на основе результатов математического моделирования расчетов радиального распределения материалов по радиусу печи. Исходные данные для модели радиального распределения были получены при проведении предпусковых исследований технологических возможностей влияния ППК на распределение шихты по сечению колошника.

По результатам предпусковых исследований, основные особенности формирования распределения шихтовых материалов на колошнике при их загрузке с помощью подвижных плит состоят в следующем. При установке подвижных плит в 1–е положение (вертикальное положение плит) траектория центра потока пересекается с поверхностью стационарных защитных плит колошника на уровне 1,75 м от технологического нуля (отм. 37325). Профиль поверхности, образующийся при установке плит в 1–е положение, характеризуется геометрическим «гребнем» у стенки печи и осевой воронкой глубиной до 1,5 м с наклонными образующими от защитных плит к оси печи под углом к горизонтали 25°–30°.

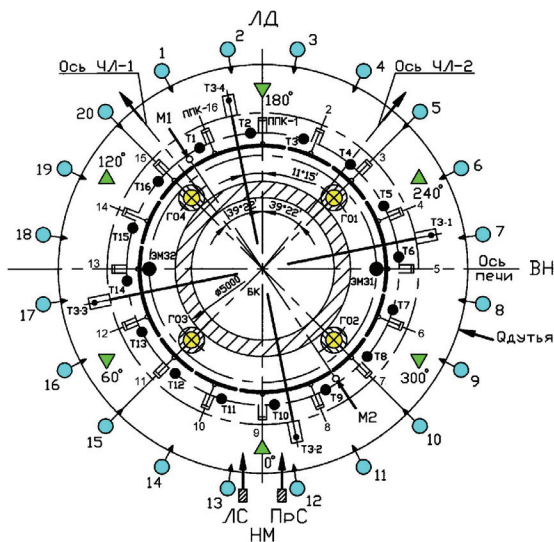


Рис. 1. Схема расположения оборудования ДП №5 ОАО «ЕМЗ»:

БК, ЛС, ПрС – большой конус, левый скип, правый скип;

▲ $0^{\circ}...300^{\circ}$ – станции ВРШ;

ППК–1...16 – подвижные плиты колошника;

ЧЛ–1, ЧЛ–2 – летки для выпуска чугуна (отм. 9100);

ГО1...ГО4 – газотопки;

ЭМЗ1...ЭМЗ2 – электромеханические зонды;

М1...М2 – машины для отбора проб газа по радиусу печи (отм. 34000);

ТЗ–1...ТЗ–4 – термомониторы (отм. 36800);

Т1...Т16 – периферийные термопары;

Q_{дутья} – подвод дутья в кольцевой воздухопровод;

● 1...20 – воздушные фурмы (отм. 13000);

НМ, ЛД, ВН – сторона наклонного моста, литейного двора, воздухонагревателей.

Технологический «0» – отм. 37325.

Исходя из условия, что подвижные плиты колошника после выгрузки подачи должны находиться вне слоя шихты, высота которого может составлять 0,4–0,7 м, изменение уровня засыпи при загрузке печи ограничивается пределами 1,50–2,25 м, что обеспечивает расположение исходного уровня поверхности засыпи шихты в пределах цилиндрической части колошника.

Установка подвижных плит во 2-е положение (17° к вертикали), приводит к смещению центра потока (0,3–0,4 м на уровне 1,75 м) в сторону оси печи, а также к рассеиванию потока шихтовых материалов. В формировании профиля указанное смещение и рассеивание потока выражаются в образовании слабовыраженного «гребня» непосредственно у стенок колошника в виде кольцевой «полки» шириной до 0,5 м с последующим переходом в осевую воронку с углом наклона образующих 20° – 25° .

Установка подвижных плит в 3-е положение (25° к вертикали) обуславливает смещение положения центра потока (и, соответственно, площадки «гребня») к оси печи, примерно, на 0,7–0,8 м (уровень засыпи 1,75 м), глубина образующейся при этом осевой воронки уменьшается до 1,0–1,2 м.

Наибольшее воздействие на распределение материалов по радиусу печи оказывает установка плит в 4-е положение (36°). После выгрузки подачи вершина «ребра» (уровень засыпи 1,75 м) смещается в сторону оси печи на расстояние 1,0–1,2 м от стенки колошника.

Учитывая нестабильную работу ППК в автоматическом, дистанционном и местном режимах (сбой в работе электромеханической части приводов плит), оценивалась в основном технологическая возможность управления радиальным распределением шихты с использованием ППК в статическом режиме, то есть, при установке всех плит в дистанционном или наладочном режимах в одно из четырех угловых положений, а регулирующее воздействие осуществлялось путем изменения количества подачи различного вида (с разной последовательностью набора скипов на большой конус), а также уровня засыпи.

Оценка влияния управляющих воздействий на распределение материалов и газового потока по сечению и высоте печи при заданном дутьевом режиме плавки, выполнялась на основе статистической обработки фактических изменений величины основных выходных параметров: химического состава газа, полученного с помощью двух радиальных газоотборных зондов (R_3) для отбора проб газа в столбе шихты под уровнем засыпи (машины 2 и 4, отм.34000, ур. засыпи 3,3 м), а также 16-ти периферийных термопар (ТПФ₁₋₁₆), установленных в кладке верхнего охлаждаемого горизонта шахты по периметру печи (отм.34000, ур. засыпи 3,3 м), и термопар в 4-х газоотводах печи ($T_{г0}$).

В течение сентября–октября 2007 г. было опробовано несколько программ загрузки, реализация которых должна была при необходимости обеспечивать следующие изменения распределения шихтовых материалов и газового потока:

- подгрузку периферийной (расположение рудного «ребра» у стенки печи) и промежуточной зон печи железорудными материалами (увеличением рудной нагрузки) и поддержание активного развития газового потока в центре печи (максимальным снижением нагрузки);

- разгрузку периферийной и центральной зон печи от железорудных материалов (обеспечение в них рудной нагрузки ниже средней величины) и равномерное распределение шихты с рудной нагрузкой на уровне средней величины на значительной части промежуточной зоны сечения колошника с максимумом ее в рудном «ребре», отстоящем от стенки печи на 0,6–2,0 м, для увеличения производительности печи до уровня 3000 т/сут.

Для обоснованного выбора рациональных программ загрузки печи, начиная с сентября 2007 г. в исследуемые периоды I–III использовались результаты математического моделирования распределения шихтовых материалов (рудных нагрузок) на колошнике ДП №5 (табл.1, рис.2,а).

Таблица 1. Результаты математического моделирования радиального распределения шихтовых материалов на колошнике ДП №5 ОАО «ЕМЗ» в исследовательские периоды I–III.

Период	<i>Рудная нагрузка в равновеликой кольцевой зоне, т/т</i>						$R_{cp},$ т/т	$\frac{R^{nb}}{R^y}$	$\frac{R^{nb}}{R^{zp}}$	$\frac{R^y}{R^{zp}}$
	(доли от среднего значения, ед.)									
	Номер кольцевой зоны									
	1	2	3	4	5	6				
	Расстояние от стенки до центра кольцевой зоны печи, м									
	2,71	1,72	1,22	0,81	0,46	0,15				
I	2,62 (0,74)	3,18 (0,90)	3,58 (1,01)	3,95 (1,11)	4,14 (1,17)	4,14 (1,17)	3,55	1,58	1,00	0,63
II	2,76 (0,78)	3,35 (0,94)	3,76 (1,06)	3,86 (1,09)	3,86 (1,09)	3,86 (1,09)	3,55	1,40	1,00	0,72
III	3,12 (0,88)	3,75 (1,06)	3,86 (1,09)	3,81 (1,07)	3,54 (1,00)	3,29 (0,93)	3,55	1,05	0,85	0,81

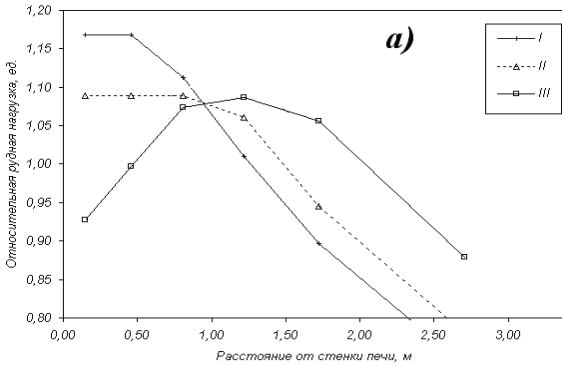
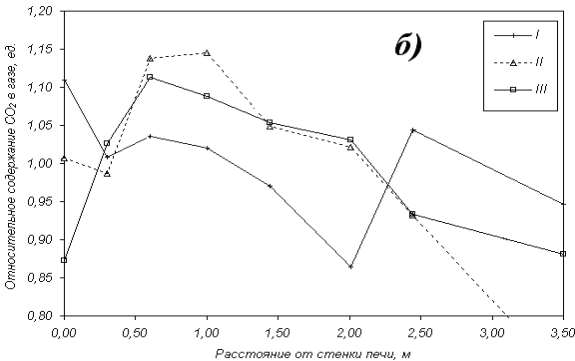


Рис.2. Распределения относительной рудной нагрузки (а) и относительного содержания CO_2 в газе (б) по радиусу ДП №5 ОАО «ЕМЗ» в исследовательские периоды I–III.



В табл.2 приведено распределение содержания диоксида углерода в газе по диаметру ДП №5 в исследуемые периоды, а в табл.3 – усредненное по радиусу распределение содержания CO_2 в газе и параметры, характеризующие неравномерность его распределения по радиусу печи. Ячейки табл.2 и 3 со значениями содержания CO_2 в газе выше средней его величины по радиусу, отмеченные серым цветом, характеризуют расположение скрытого рудного «гребня». Как следует из данных, приведенных в табл.2–3 и на рис.2,б, характер радиального газораспределения в печи в периоды исследований существенно изменялся, что обусловлено как применением различных программ загрузки, так и нестабильностью фактического уровня засыпи.

Распределение газового потока по радиусу в первом периоде при применении программы загрузки $3\text{РРК}\downarrow_1 + 2\text{КРРК}\downarrow_1$ (заданный уровень засыпи 3,0 м, ВРШ – 6 ст.), разработанной технологами доменного цеха, характеризовалось максимальным содержанием CO_2 (18,5–19,1%) – рудным «гребнем», расположенным в пристеночной зоне печи, и повышенным содержанием CO_2 (до 16,8–18,6%), в приосевой зоне на расстоянии 1,0 м от оси печи, а также уменьшенным содержанием диоксида углерода (14,3–17,2%) в промежуточной зоне. При указанном характере газораспределения используемая в периоде I программа загрузки совместно с параметрами дутьевого режима и существующим качеством шихтовых материалов не обеспечивала достаточно устойчивую газопроницаемость столба шихты, что приводило к уменьшению расхода дутья при увеличении в нем доли кислорода до 25–26%. Поэтому было принято согласованное с технологами цеха решение о необходимости разработки и внедрения программ загрузки, направленных на улучшение газодинамических показателей плавки за счет усиления развития газового потока в периферийной зоне печи, повышения равномерности его распределения в промежуточной зоне и сокращения интенсивности у оси печи до уровня периферийного потока. При этом для стабилизации условий загрузки материалов в печь предусматривалось использование рабочего уровня засыпи, при котором поверхность шихты располагается в цилиндрической части ковшника печи, то есть не ниже уровня 2,25 м.

В периоде II была опробована программа загрузки $\text{КРРК}\downarrow_2$ при заданном уровне засыпи 2,5 м и работе ВРШ на 6 станций, обеспечивавшая в сравнении с периодом I «разгрузку» периферийной зоны и рассредоточение рудного «гребня» к оси печи при умеренной величине рудной нагрузки в осевой зоне (рис.2,а). Объемное содержание CO_2 в пристеночной зоне печи составило 12,4–17,0% (0,92–1,09 ед. от среднего содержания CO_2 по радиусу), а у оси печи – 10,4–10,6% (0,68–0,77 ед.). Были отмечены улучшения в газодинамике столба шихты, что подтвердило правильность направления принятых решений при корректировке программы загрузки.

В периоде III применялась программа загрузки $\text{КРРК}\downarrow_3$, при которой распределение расчетных рудных нагрузок подтвердилось соответствующим

щим распределением газового потока по радиусу печи, характеризовавшимся интенсификацией потока газов в пристеночной зоне (относительное содержание CO_2 уменьшилось с 0,92–1,09 ед. до 0,81–0,94 ед.) и уменьшением интенсивности газового потока в оси печи ($\text{CO}_2^{\text{отн}}$ увеличилось с 0,68–0,77 ед. до 0,86–0,91 ед.). При этом увеличилась радиальная протяженность «ребня» рудной нагрузки со смещением его к оси печи (рис.2,а), что обеспечило более рациональную в сравнении с периодами I и II газопроницаемость столба шихты и позволило увеличить расход дутья с 2600 до 2800 м³/мин и доли кислорода в нем с 22–23% до 25–26%.

При загрузке печи по программам, в которых не использовалось угловое положение ППК «1» (0°) (табл.3), в газораспределении по сечению печи можно отметить общую закономерность, заключающуюся в том, что в секторе печи, соответствующем радиальному зонду газоотборной машины М2 (ГО2), «ребень» на диаграмме CO_2 располагался от стенки печи на расстоянии 0,6 м, по сравнению с диаметрально противоположным сектором (М1, ГО4), где «ребень» был расположен на расстоянии 0,3 м от стенки. Указанное смещение расположения «ребней» связано с различием фактических уровней засыпи в указанных секторах печи: по показаниям правого электромеханического зонда–уровнемера (сектор М2–ГО2) во время проведения исследований уровень засыпи был ниже, чем под левым уровнемером на 0,3–0,5 м, что является допустимым при ведении плавки.

При загрузке доменной печи шихтовыми материалами с использованием угловых положений ППК «2» и «3» точки пересечения траекторий потоков шихты с поверхностью засыпи и, соответственно, рудный «ребень» при понижении уровня засыпи отдаляются от стенки печи, что снижает возможность устранения перекоса уровня засыпи и способствует увеличению неравномерности распределения газового потока по окружности печи: неравномерность температуры периферии увеличилась с 24,8% до 38,0–42,8% (табл.4). При загрузке печи с использованием углового положения ППК «1» уровни засыпи по показаниям левого и правого уровнемеров выравниваются, то есть при таком режиме загрузки возможно устранение перекоса уровня засыпи шихты (табл.3–4).

Заключение.

Результаты освоения ДП №5 подтвердили недостатки конструкции ЗУ с подвижными плитами и сложность организации эффективного управления распределением шихты. В процессе освоения загрузки ДП №5 в сентябре–октябре 2007 г. были опробованы различные программы загрузки с применением различных углов наклона подвижных плит колошника. При этом работа ППК, как в автоматическом, так и в ручном режимах, была крайне нестабильной вследствие несовершенства конструкции и системы управления и ряда технических проблем, устранение которых не было завершено.

Таблица 2. Распределение содержания диоксида углерода CO₂ в газе (средние значения) по радиусу верхнего горизонта шахты (отг. 34000) ДП №5 ОАО «ЕМЗ» в исследуемые периоды.

Период	Программа загрузки	Уровень засыпки данного фактического, м	ВРЩ	Среднее	№№ точек отбора								$\frac{CO_2^{об}}{CO_2}$	$\frac{CO_2^{об}}{CO_2}$
					Расстояние от стенки печи, м									
					1	2	3	4	5	6	7	8		
I	3 РРКК ₁ , (0°) 2 КРРК ₁ , (0°)	3,0 3,6	6 ст.	17,0	0,00	0,30	0,60	1,00	1,44	2,01	2,44	3,50	1,17	0,85
					18,8 (1,11)	17,1 (1,01)	17,6 (1,04)	17,3 (1,02)	16,5 (0,97)	14,7 (0,86)	17,7 (1,04)	16,1 (0,95)		
II	КРРК ₂ (17°)	2,5 3,0	6 ст.	14,6	0,00	0,30	0,60	1,00	1,44	2,01	2,44	3,50	1,40	0,63
					14,7 (1,01)	14,4 (0,99)	16,6 (1,14)	16,7 (1,14)	15,3 (1,05)	14,9 (1,02)	13,6 (0,93)	10,5 (0,72)		
III	КРРК ₃ (25°)	2,0 3,3	6 ст.	18,3	0,00	0,30	0,60	1,00	1,44	2,01	2,44	3,50	0,99	0,78
					16,0 (0,87)	18,8 (1,03)	20,4 (1,11)	20,0 (1,09)	19,3 (1,05)	18,9 (1,03)	17,1 (0,93)	16,2 (0,88)		

Таблица 3. Распределение содержания диоксида углерода (CO₂) в газе по диаметру верхнего горизонта шахты (отг. 34000) ДП №5 в исследуемые периоды ее работы.

Период	Содержание CO ₂ в газе, % (доли от среднего значения, ед.)																
	ГО-4, М-1, ЭМЗ лев.							ГО-2, М-2, ЭМЗ прав.									
	№№ точек отбора																
I	Среднее	0,00	0,30	0,60	1,00	1,44	2,01	2,44	3,50	3,50	2,44	2,01	1,44	1,00	0,60	0,30	0,00
		18,5 (1,10)	17,9 (1,07)	17,2 (1,02)	17,4 (1,04)	16,9 (1,01)	14,3 (0,85)	16,8 (1,00)	15,3 (0,91)	16,8 (1,09)	18,6 (1,09)	15,0 (0,88)	16,0 (0,93)	17,2 (1,01)	17,9 (1,05)	16,3 (0,95)	19,1 (1,12)
II	Среднее	0,00	0,30	0,60	1,00	1,44	2,01	2,44	3,50	3,50	2,44	2,01	1,44	1,00	0,60	0,30	0,00
		17,0 (1,09)	15,0 (0,96)	16,8 (1,07)	17,4 (1,11)	15,2 (0,97)	16,0 (1,02)	17,2 (1,10)	10,6 (0,68)	10,4 (0,77)	13,8 (0,74)	15,4 (1,02)	16,0 (1,14)	16,4 (1,18)	13,8 (1,21)	12,4 (0,92)	17,1 (1,12)
III	Среднее	0,00	0,30	0,60	1,00	1,44	2,01	2,44	3,50	3,50	2,44	2,01	1,44	1,00	0,60	0,30	0,00
		14,6 (0,81)	19,7 (1,09)	20,5 (1,13)	19,5 (1,08)	19,5 (1,08)	16,5 (1,05)	16,8 (0,91)	15,5 (0,86)	16,8 (0,91)	17,7 (1,01)	18,7 (1,03)	19,1 (1,03)	20,4 (1,10)	20,3 (1,10)	17,9 (0,97)	17,4 (0,94)

Таблица 4. Распределение температуры периферийных газов ($T_{\text{пф}}$, $^{\circ}\text{C}$ /доли ед.) и газа в газопотоках ($T_{\text{го}}$, $^{\circ}\text{C}$ /доли ед.) по окружности ДП №5 ОАО «ЕМЗ» в исследуемые периоды, 2007 г.

Период		Сектор печи, №№ ППК, №№ термопар, №№ газопроводов																				Среднее $\frac{T_{\text{пф}}}{T_{\text{го}}}$, $^{\circ}\text{C}$ доли ед.		Показатель* неравномерности распределения $\frac{T_{\text{пф}}}{T_{\text{го}}}$, %	
		180° ▼	ЧЛ2 ↓	240° ▼	ЭМЗ _{пр} ↓	Qд ↓	300° ▼	ШП 0° ▼	60° ▼	ЭМЗ _{пв} ↓	120° ▼	ЧЛ1 ↓	180° ▼												
I	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	1	130 1,0	1,0	24,8					
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	1	2									
	1																				4				
	2																				3				
	130	123	143	123	130	148	144	120	133	137	126	133	132	124	121	116									
	1,0	0,95	1,10	0,95	1,0	1,14	1,11	0,92	1,02	1,05	0,97	1,02	1,02	0,95	0,93	0,89									
	181	0,95				196				197				188											
						1,03				1,03				0,98											
	3,30	243	316	228	350	309	285	303	376	362	325	302	375	338	262	274									
	1,06	0,78	1,02	0,73	1,13	0,99	0,92	0,97	1,21	1,16	1,05	0,97	1,21	1,09	0,91	0,88									
II			278							291				283				286 1,0	1,0	4,5					
			0,97							1,02				0,98											
	1																				4				
	2																				3				
	184	203	210	179	188	155	183	173	182	172	190	227	185	185	168	157									
	1,0	1,10	1,14	0,97	1,02	0,84	0,99	0,94	0,99	0,93	1,03	1,03	1,23	1,0	0,91	0,85									
	183	0,96				203				188				190											
						1,06				0,98				0,99											
	184	203	210	179	188	155	183	173	182	172	190	227	185	185	168	157									
	1,0	1,10	1,14	0,97	1,02	0,84	0,99	0,94	0,99	0,93	1,03	1,03	1,23	1,0	0,91	0,85									
III			183							188				190				191 1,0	1,0	10,5					
			0,96							0,98				0,99											
	1																				4				
	2																				3				
	184	203	210	179	188	155	183	173	182	172	190	227	185	185	168	157									
	1,0	1,10	1,14	0,97	1,02	0,84	0,99	0,94	0,99	0,93	1,03	1,03	1,23	1,0	0,91	0,85									
	183	0,96				203				188				190											
						1,06				0,98				0,99											
	184	203	210	179	188	155	183	173	182	172	190	227	185	185	168	157									
	1,0	1,10	1,14	0,97	1,02	0,84	0,99	0,94	0,99	0,93	1,03	1,03	1,23	1,0	0,91	0,85									

$$*) \Psi^I = \frac{T_{\text{max}} - T_{\text{min}}}{T_{\text{Ср}}} \times 100\%$$

Результаты математического моделирования распределения шихты, выполненного ИЧМ, и данных анализа газораспределения в печи показали, что приемлемое в этих условиях распределение рудных нагрузок по радиусу печи при фиксированном положении ППК достигается при установке их в третьем положении (25°). При этом в качестве базовой программы загрузки используется программа КРРК↓₃, которая обеспечивает приемлемые технико-экономические показатели плавки в текущих шихтовых условиях и параметрах дутьевого режима. Так в текущих шихтовых условиях в комплексе с параметрами дутьевого и газодинамического режимов плавки был обеспечен достаточно стабильный и экономичный ход печи, при этом удельный расход кокса на выплавку чугуна составил 468–470 кг/т чугуна при расходе природного газа 87–99 м³/т чугуна, а суточная производительность печи – 2850–2970 т/сутки.

1. *Большаков В.И.* Технология высокоэффективной энергосберегающей доменной плавки. – К.: Наукова думка, 2007. – 412 с.
2. *Установка подвижных плит колошника на доменной печи ЗСМК / Л.Д.Никитин, М.Ф.Марьясов, В.П.Горбачёв и др.* // Черная металлургия. Бюл. института Черметинформация. – 1988 – Вып.18 (1070), – С.32–34.
3. *Исследования технологической эффективности подвижных плит колошника доменной печи.* / П.П.Мишин, А.Е.Пареньков, В.А.Баканов и др. // Черная металлургия. Бюл. института Черметинформация. – 1981 – Вып.19 (893), – С.46–48.
4. *Регулирование распределения материалов на колошнике с помощью подвижных плит / А.Е.Пареньков, Б.Н.Жеребин, В.А.Баканов и др.* // Изв. вуз. Черн. металлургия – 1982. – №9. – С. 26–30.
5. *Большаков В.И.* Теория и практика загрузки доменных печей. // М.: Металлургия, 1990. – 256 с.
6. *Большаков В.И.* Динамичное развитие технологии и оборудования доменного производства Японии // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2006. – №6. – С.10–13.

Статья рекомендована к печати докт.техн.наук И.Г.Товаровским