

**В.И.Большаков, Н.А.Гладков, Н.Г.Иванча, Ф.М.Шутылев,
Т.П.Порубова**

ВЗАИМОСВЯЗИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПЛАВКИ В УСЛОВИЯХ ПРИМЕНЕНИЯ МНОГОКОМПОНЕНТНОЙ ШИХТЫ

Исследованы особенности технологии плавки в отдельные периоды работы ДП№9 на многокомпонентной шихте. Оценено влияние многокомпонентной шихты на характер изменения итоговых показателей (производство, расход топлива, интенсивность плавки), определены взаимосвязи ряда технологических показателей в функции от коэффициента использования полезного объема печи (производство), содержания в шихте окатышей и расхода антрацита.

Современное состояние вопроса. В практике доменного производства эффективность комплекса мер по обеспечению работы доменной печи с максимальной степенью использования восстановительной способности газов и минимальным расходом энергоносителей оценивается рядом показателей, среди которых основными являются показатель степени использования газа η_{CO} и величина средней рудной нагрузки R_{cp} . Эти два показателя тесно между собою связаны, и определению численной взаимосвязи между ними в исследованиях уделяется большое внимание, однако эта взаимосвязь не является стабильной и зависит от условий управления плавкой, дутьевого и теплового режимов работы печей, а также от совершенства распределения в доменной печи шихтовых материалов, их качества и компонентного состава, обуславливающих соответствующее распределение CO_2 по радиусу колошника.

Постановка задачи. После установки на новых доменных печах СССР лотковых загрузочных устройств возникла проблема создания методики расчета рациональных программ загрузки и распределения шихты в печи. Такая методика была разработана сотрудниками ИЧМ к 1981 г. Отличительной особенностью было стремление быстро получить на основании расчетов хотя и не совсем точный, но достаточно близкий к рациональному, вариант программы загрузки, отказавшись от традиционного способа подбора на печи программ методом проб и ошибок [1]. Одним из ключевых положений методики является предположение о том, что характер распределения рудных нагрузок по радиусу печи аналогичен желаемому распределению CO_2 по радиусу колошника, приближенно определяемый соотношением $R_{cp} = (0,19-0,2) \% CO_2$ [2]. После установки программы загрузки на доменной печи, как правило, обеспечивалась её работа с хорошими технико-экономическими показателями, после чего в программе выполнялись в два-три приема небольшие корректировки, позволявшие компенсировать влияние большого количества неучтенных при расчете программы факторов. В качестве основных рассчитываемых показателей распределения шихты по 9-10 равновеликим по площади зонам

печи приняты распределение рудных нагрузок и объемов материалов, загружаемых в кольцевые зоны. Многолетний опыт применения указанной методики подтвердил высокую эффективность расчетной оценки, корректировки и выбора рациональных программ загрузки для печей, оснащенных лотковыми БЗУ, обладающих широкими возможностями управления распределением шихтовых материалов в доменной печи [3]. В настоящее время эта усовершенствованная методика в компьютерной версии успешно используется при освоении новых и реконструированных печей, а также при изменениях условий и режимов работы действующих доменных печей [4]. Изложенное свидетельствует о том, что при разработке методики правильно выбраны основные показатели, определяющие эффективность предлагаемых программ загрузки.

Результаты исследований показывают, что взаимосвязь между распределением рудных нагрузок и распределением CO_2 по радиусу печи не является вполне однозначной, на неё оказывает влияние большое количество различных факторов. Степень их влияния можно оценивать путем определения коэффициентов корреляции распределения указанных параметров. Оценка показывает, что при стабильном ходе печи коэффициент корреляции составляет порядка 0,7, что при описанной постановке задачи оценки программ загрузки можно считать удовлетворительным, однако причины уменьшения коэффициентов при различных условиях необходимо анализировать для углубления понимания рассматриваемой взаимосвязи показателей и оценки степени влияния различных факторов на её тесноту.

Изложение основных материалов исследования. Одним из важных факторов, существенно влияющих на корреляционные оценки взаимосвязи распределения рудных нагрузок и диоксида углерода по радиусу печи, является способ определения диаграммы распределения CO_2 . Обычно такая диаграмма фиксируется 1–2 раза в сутки в произвольный момент времени и не учитывает реальные изменения дутьевого режима, неточности реализации загрузки шихтовых материалов в печь, возможные колебания уровня засыпи и другие особенности режима загрузки и хода печи. При использовании программы цикла загрузки шихтовых материалов, состоящего из 10–20 порций смесей железосодержащих материалов и кокса, если отбор проб газа по радиусу печи выполняется в произвольной точке реализации цикла загрузки, характер распределения газа фиксируемый газоотборным зондом может ощутимо изменяться. Диаграммы распределения химсостава газов на разных печах определяются по одному, двум или четырем радиусам печи, при этом по разным радиусам эти диаграммы различны, их необходимо усреднять, что также понижает определенность взаимосвязи. Уже поэтому величины коэффициентов корреляции не могут при использовании такой информации достигать высоких значений. Кроме того, на показатели оценки взаимосвязи оказывают влияние ряд других факторов, влияние которых до сих пор не оценивалось. Среди таких фак-

торов выделим влияние распределения в печи многокомпонентных порций шихтовых материалов, характерное для работы крупнейшей на Украине доменной печи (ДП) №9 меткомбината «Криворожсталь», которое не учитывается при оценке распределения газов и их химсостава по радиусу печи.

Длительными исследованиями на ДП№9 установлено, что взаимосвязь рудных нагрузок в 10–ти кольцевых зонах колошника и масс выгруженных материалов с измеренной объемной долей CO_2 приведенной к одному радиусу определяется коэффициентом корреляции не выше 0,803 при условии учета реальных скоростей опускания шихты, реальном исходном профиле засыпи и фактических масс загруженных материалов. Коэффициент корреляции рассматриваемых параметров в текущих условиях плавки может составлять 0,7. Это обусловлено рядом указанных факторов, в том числе сложным, многокомпонентным составом шихты.

Для оценки степени влияния этого фактора воспользовались результатами специального исследования особенностей технологии плавки в отдельные периоды работы ДП№9 на многокомпонентной шихте. Исследования включали накопление данных о характере расположения материалов на конвейере за определенные отрезки времени при формировании подачи с прогнозом наиболее вероятного их распределения на поверхности засыпи. Проанализированы шесть вариантов работы печи (табл.1), оценено влияние многокомпонентной шихты на характер изменения итоговых показателей (производство, расход топлива, интенсивность плавки), определены взаимосвязи ряда технологических показателей в функции от коэффициента использования полезного объема печи (производство), содержания в шихте окатышей и расхода антрацита.

Результаты исследования представлены в виде графических связей на рисунках, в виде блок–карт №1 и №2, отражающих характер взаимосвязей части технологических параметров от вышеназванных функций. Рассмотрим только влияние окатышей и антрацита в условиях многокомпонентной шихты. Из содержания карт видно, что расход окатышей практически однозначно связан с КИПО, расходом скрапа, сжигаемого у фурм углерода кокса (C_ϕ), степенью прямого восстановления (R_d), а изменение расхода антрацита – КИПО, C_ϕ , R_d . Для других параметров наблюдается разброс экспериментальных точек и их расслоение с формированием ярко выраженных отдельных зависимостей. Особенно это заметно в случае изменения расхода антрацита. Следует подчеркнуть, что проявляющиеся отдельные зависимости неоднозначно, но логично отражают технологическую суть их изменения. Так, например, при одном и том же расходе антрацита в зависимости от характера его распределения в печи существенно меняется количество дутья и расход кокса, наблюдаются заметные колебания в выходе шлака.

По–разному проявляется поведение шлака обогащенного и скрапа, наиболее трудно поддающегося направленному распределению. Сведе-

ния, представленные на блок–картах, позволяют выявить ряд важных технологических особенностей взаимовлияния параметров при сложном составе шихты. Следует акцентировать внимание на неоднозначность полученных связей, обусловленную многокомпонентностью шихты и невозможностью получения высоких значений коэффициентов корреляции массы (ввиду изменчивости соотношения компонентов) и CO_2 .

Рассмотрение изменений параметров плавки в зависимости от доли окатышей (7–28%) в многокомпонентной шихте (блок–карта №1) позволяет заключить, что увеличение их расхода на выплавку чугуна приводит к росту производства, связанному с большим содержанием в них железа. Однако при этом расход кокса возрастает, вследствие известных особенностей увеличения энергозатрат на восстановление повышенного количества FeO в образующемся из них первичном шлаке. Это подтверждается также снижением степени использования газа, несмотря на уменьшение расхода дутья, вызванного, вероятно, следующим. Из данных блок–карт №1 и №2 следует, что увеличение расхода окатышей способствует увеличению расхода антрацита. Видимо, более высокая окисленность окатышей способствует газификации части антрацита за счет связанного кислорода, тогда как кислород дутья в большей мере расходуется на газификацию кокса. Косвенным подтверждением этого является практически неизменное значение величины расхода углерода кокса сжигаемого у фурм ($C_\phi=0,25$ г/т чугуна). Характерным для данных исследований является слабо проявляющиеся связи исследуемых параметров с расходом окатышей, а для шлака обогащенного, выхода шлака и колошникового газа они практически отсутствуют.

Влияние антрацита на параметры плавки (блок–карта 2) проявляется в большей мере, чем окатышей. С увеличением расхода антрацита от 25–28 до 55–58 кг/т чугуна производство чугуна возрастает (КИПО ~0,6), а расход кокса уменьшается и может достигать 387–390 кг/т чугуна, что сопровождается ростом степени использования газа до 44–44,3%. При этом проявляется заметное влияние на эффективность использования антрацита увеличение расхода шлака обогащенного и скрапа, а также расхода окатышей. При этом количество сжигаемого у фурм углерода кокса (C_ϕ) и степень прямого восстановления остаются практически постоянными.

В рассматриваемых условиях использования многокомпонентной шихты нестабильным (но закономерно изменяющимся) остается выход шлака, обусловленный переменным приходом в печь оксидов, вследствие заметно изменяющегося соотношения рудных материалов в шихте.

Таблица 1. Расчетные и фактические параметры плавки на ДП№9 ОАО «Криворожсталь» по анализируемому вариантам ее работы.

Параметры, показатели	Варианты												
	1		2		3		4		5		6		
	расч.	факт.	расч.	факт.	расч.	факт.	расч.	факт.	расч.	факт.	расч.	факт.	
Пр-во чугуна, т/сут.	7802,7	7777	6008,9	6016,7	6702,4	6720,3	8535,3	8416	8532,8	8323,6	8274	8183	
КИПО, м ³ /т.сут.	0,6408	0,643	0,831	0,831	0,746	0,744	0,5858	0,594	0,5846	0,601	0,6043	0,611	
Расход, кг/т	агломерат	1417,1	1477,6	1450,4	1498,8	1470,1	1519,0	1412,6	1158,3	1343,1	1398,3	1336,8	1389,2
	окалши	165,5	172,9	154,2	158,7	103,9	107,3	430,4	447	254	253,3	245,6	254,9
	шлак обогащ.	86,8	86,3	63,2	64,7	80,3	79,9	80,3	79,8	77,8	75,5	80,8	80,4
	скрап чугуна.	42,2	42,1	40,1	40,1	48,5	48,3	38,7	36,3	38,9	38,8	41,4	41,2
	известняк	6,63	5,1	4,05	10,6	4,17	7,2	23,1	31,3	25,15	25,8	13,62	21,2
	кокс	423,9	441	442,6	456	403,7	430,9	416,3	439	402,4	421,3	386,7	406,2
Расход, м ³ /т чугу	антрацит	33,29	32,3	27,62	26,8	38,5	37,8	32,7	31,7	43,6	42,3	57,1	55,4
	дутье	1115,7	1263,9	1128,6	1424,5	1198,1	1414,7	1082,5	1210,6	1088,4	1207	1079,2	1224,8
	природ. газ	70,73	87,6	73,2	88,8	68,97	83,2	67,7	82,8	70,7	85,7	68,4	84,9
	колошн. газ	1572	1775,4	1742,4	2004,5	1696,9	2007,4	1532,6	1735,4	1538,2	1754,7	1516,1	1761,8
Шлак	выход, кг/т	406,9	429	405	427	399,8	419	394,2	415	410,5	428	405,1	427
	MgO, %	5,77	6,25	5,55	5,95	5,79	6,38	5,71	6,24	5,63	6,04	5,69	5,71
	Al ₂ O ₃ , %	7,29	7,33	7,31	7,35	7,45	7,06	6,64	6,84	6,76	7,17	6,86	7,29
	СаО/SiO ₂ , ед.	1,21	1,21	1,23	1,23	1,23	1,23	1,21	1,21	1,24	1,24	1,21	1,21
Степень использования СО, (η _{СО}), %	41,38	41,39	39,56	39,55	42,31	42,05	43,4	43,06	43,53	43,49	44,13	44,12	
Темпе- ратура, °С	горения (Т _{гор})	2147	2174	2076	2076	2052	2052	2185	2174	2174	2174	2174	2174
	колошн. газа (Т _{кол.газ})	162	162	204	204	193	193	126	126	129	129	132	132
С _{форм} , кг/т чугуна	0,2583	—	0,2553	—	0,2454	—	0,2504	—	0,2503	—	0,2506	—	
Rd, ед.	0,3068	—	0,3006	—	0,31	—	0,304	—	0,2965	—	0,2912	—	
Время пребывания шихты в печи, ч	10,5	—	10,7	—	12,5	—	9,68	—	9,75	—	10,27	—	

Процесс формирования жидких фаз влияет на газодинамику низа печи, что следует из сопоставления зависимостей выхода шлака и расхода дутья.

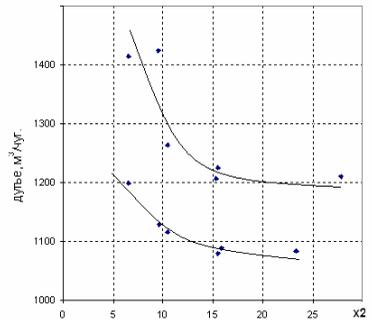
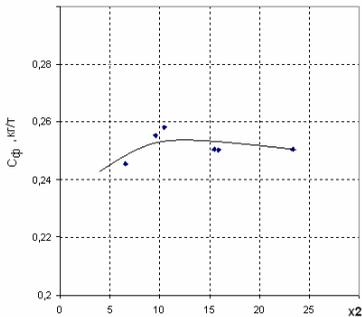
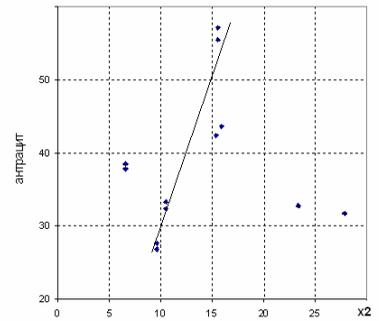
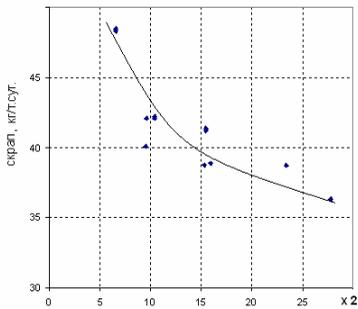
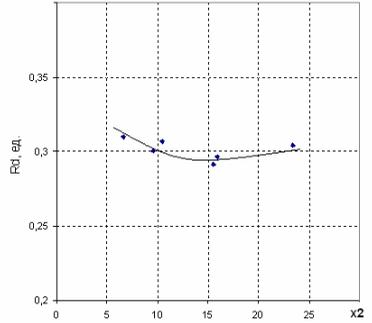
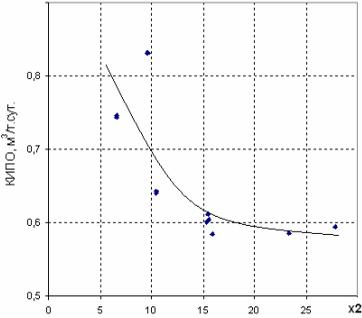
При рассмотрении приведенных на блок-картах зависимостей складывается мнение, что в условиях многокомпонентной шихты с участием антрацита состояние и результаты плавки контролируются процессами, развивающимися в нижней высокотемпературной зоне печи. Специфические связи для верхней зоны наглядно не проявляются и они, вероятно, слабо влияют на результаты плавки. Такой вывод, в частности, может быть сделан из рассмотрения поведения колошникового газа, выход которого практически не зависит от рассматриваемых параметров. Это вероятно, и является причиной снижения тесноты связи содержания в ней доли CO_2 и масс материалов в равновеликих зонах печи. Достоверность содержания CO_2 по зонам также проблематична ввиду большого разброса значений выхода колошникового газа, обусловленного, вероятно, низкой стабильностью распределения масс отдельных материалов по сечению печи. Такое заключение может быть сделано по результатам анализа накопленных сведений о расположении материалов на конвейере [5]. Характерная зафиксированная последовательность и время набора материалов шихты за разные промежутки формирования подач представлены в качестве примера на рис.1(а и б) и в табл.2.

Порции материалов, поступающие на сборный конвейер КД, выгружаются в течение трех условных периодов с соответствующей долей в них 40, 40 и 20% всей массы. Каждый из периодов характеризуется определенной массой и соотношением материалов. По массе и химическому составу каждого из материалов по принятой в ИЧМ методике определяются основность, доля FeO в первичном шлаке, температура плавления и капельного течения. Данные наблюдений в отдельные сутки (табл.3), позволяют проследить время набора и подачи материалов в печь, прогнозировать свойства расплава при различных сочетаниях сырья, корректировать режим загрузки. Из этих данных можно сделать вывод о диапазоне изменения соотношения масс на конвейере и, следовательно, на поверхности засыпи в фиксированные промежутки времени, что вызывает изменение свойств шихты по сечению колошника и колеблемость состава жидких фаз.

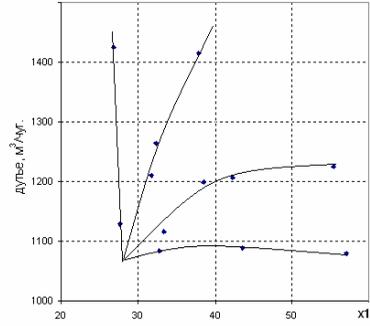
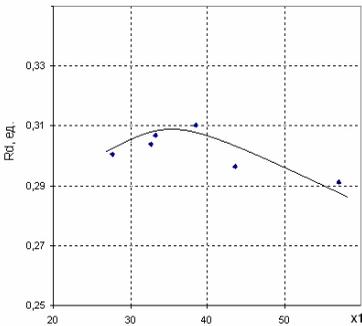
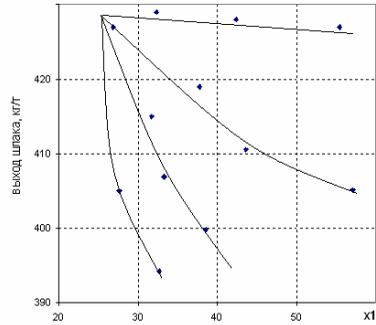
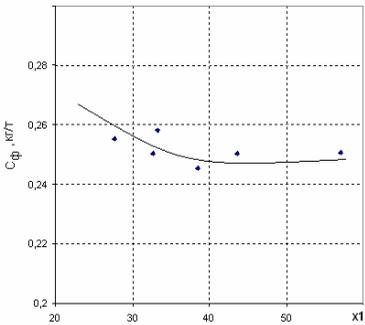
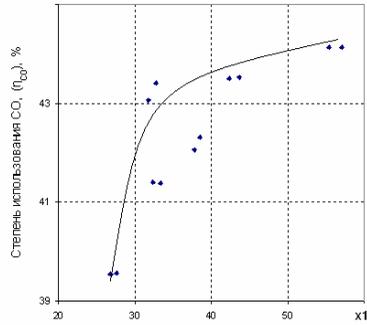
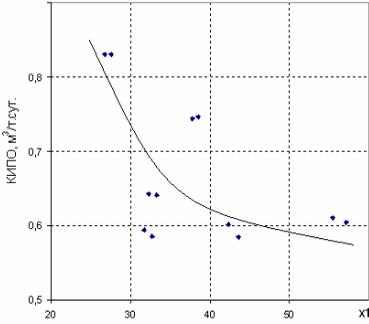
Следовательно, в условиях проплавки многокомпонентной шихты в ДП№9 могут создаваться неблагоприятные условия распределения шихтовых материалов на колошнике, затрудняющие получение высоких коэффициентов корреляции распределения доли CO_2 в колошниковых газах и масс материалов (рудных нагрузок).

Сравнение и анализ двух (№7 и №12) распределения масс материалов и их свойств, приведенных в табл.2 и на рис.1, позволяет заключить следующее. Характерной особенностью последовательности набора материалов порции №7 (см. табл. 2, рис. 1а), является более равномерное распределение массовой нагрузки по сечению (длине) порции за счет лучшего

распределения на конвейере агломерата (84÷55т), заметное сосредоточение окатышей в середине порции при небольшом их количестве в головной части с соседствующем расположением антрацита. Обогащенный шлак сосредотачивается после загрузки в печь у оси.



Блок-карта №1 (x2 – расход окатышей).



Блок-карта №2 (x1–расход антрацита)

Такая комбинация расположения материалов обуславливает малое количество FeO в смеси материалов у оси (~12,5% против 27–29% в других районах) при высокой (предельной) по составу первичного шлага основности (1,41 ед. против 1,0–1,15 ед. в соседних зонах). Такое распределение способствует выравниванию температурно-тепловых условий по всему сечению печи и более полному использованию тепловой и химической энергии газа, но при ограниченной интенсивности плавки. Эффективность

использования антрацита данной порции определяется, очевидно, условиями его газификации газовым потоком, поскольку антрацит располагается в печи над фурменной зоной. Исходя из особенностей поведения углерода антрацита в доменной печи (расходование его газификацией и растворением в продуктах плавки) вероятно целесообразно располагать в близкой к периферии и средних зонах радиуса колошника.

Распределение материалов порции №12 (табл.2, рис.1б) характеризуется сосредоточением агломерата на периферии (95 т против 73 и 29 в осевой зоне) при сосредоточении основной массы окатышей (и дополнительного топлива в виде коксового ореха) у оси (44 т и 10 т соответственно).

Таблица 2. Доля материалов в последовательные периоды набора порции №7 и №12 и их некоторые свойства.

Порция	№	Дата Время	Материал	Период I, %	Период II, %	Период III, %
7	1	06.07.2005 9:30:00 порция №7 (как было). 100%=40+40+20	Агломерат	84	72	55
	2		Окатыши	3	26	0
	3		Шлак обогащенный	0	0	45
	4		Антрацит	5	0	0
	5		Орех	3	2	0
	6		Чугунистый скрап	6	0	0
	7		Сумма, заискл. кокса и извести	93	98	100
	8		FeO	27,76	29,13	12,49
	9		CaO/SiO ₂	1,15	1,05	1,41
	10		Тпл	1404,80	1399,96	1421,15
	11		Ткап.т	1501,87	1497,06	1528,35
12	1	06.07.2005 15:50:00 порция №12 (полная переделка окатыша 120с и добавки). 100%=40+40+20	Агломерат	95	73	29
	2		Окатыши	0	8	44
	3		Шлак обогащенный	0	19	7
	4		Антрацит	0	0	9
	5		Орех	0	0	10
	6		Чугунистый скрап	5	0	0
	7		Сумма, заискл. кокса и извести	100	100	80
	8		FeO	26,02	20,33	34,02
	9		CaO/SiO ₂	1,19	1,26	0,86
	10		Тпл	1409,55	1413,89	1381,21
	11		Ткап.т	1504,60	1513,57	1488,01

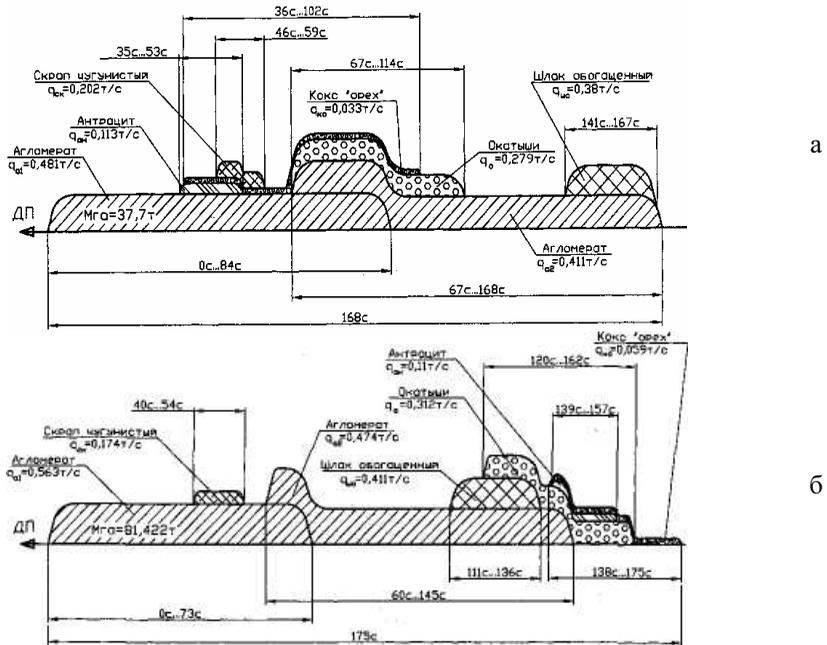


Рис.1 Расположение шихтовых материалов по длине порции на конвейере (а – порция №7, б – порция №12): $q_{а1}$, $q_{а2}$ – соответственно расход агломерата при выгрузке из первых и вторых бункерных весов, кг/с; $q_{ан}$ – расход антрацита, кг/с; $q_{ск}$ – расход скрапа чугунистого, кг/с; $q_{ко}$ – расход кокса – «ореха», кг/с; q_0 – расход окатышей, кг/с; $q_{ш0}$ – расход шлака обогащенного, кг/с.

Перемещается к осевой зоне обогащенный шлак и антрацит. В целом ситуация характеризуется неравномерной массовой нагрузкой по сечению (100; 100; 80 т). Это обуславливает повышенную газопроницаемость приосевых зон, уменьшение здесь сопротивления газовому потоку, вследствие снижения температурно-тепловых условий, вызванных ростом доли FeO (~34 %) и снижением основности (0,86 ед.) первичных расплавов. В такой ситуации следует ожидать увеличения интенсивности плавки при снижении степени использования газа. Ситуация выгодна для повышения эффективности использования антрацита за счет более полной его газификации монооксидом железа окатышей.

Таким образом, из приведенного анализа следует, что выбор того или иного распределения материалов на конвейере и, следовательно, в печи хотя и определяется конкретными сложившимися условиями плавки но поддается прогнозированию с использованием описанных подходов. То есть при использовании многокомпонентной шихты могут быть сконструированы соответствующие распределения материалов, позволяющие осуществлять экономичную плавку при заданной ее интенсивности.

Таблица 3. Распределение масс шихтовых материалов (т) по периодам формирования их порций.

Дата и время	Параметр	Период 1	Период 2	Период 3	
06.07.2005. 15:50:00 №12	Материал	Агломерат	9	73	29
		Окатыш	0	8	44
		Шлак	0	19	8
		Антрацит	0	0	9
		Орех	0	0	10
	Показатель	Скрап	5	0	0
		FeОп.ш.	26,023	20,330	33,602
		основность	1,194	1,259	0,871
		Тпл	1409,550	1413,890	1381,753
24.07.2005. 6:10:00 №17	Материал	Т кап.т.	1504,600	1513,570	1488,802
		Агломерат	84	66	47
		Окатыш	10	28	0
		Шлак	0	0	47
		Антрацит	0	2	5
	Показатель	Орех	0	4	0
		Скрап	6	0	0
		FeОп.ш.	29,103	29,913	11,355
		основность	1,105	1,024	1,433
31.07.2005. 22:37:00 №2	Материал	Тпл	1401,060	1397,745	1421,500
		Агломерат	90	82	74
		Окатыш	10	14	0
		Шлак	0	0	26
		Антрацит	0	0	0
	Показатель	Орех	0	4	0
		FeОп.ш.	25,128	26,236	16,805
		основность	1,175	1,140	1,346
		Тпл	1411,200	1408,083	1419,820
02.08.2005. 6:10:00 №17	Материал	Т кап.т.	1504,500	1502,438	1520,180
		Агломерат	83	51	4
		Окатыш	9	43	60
		Шлак	0	2	15
		Антрацит	0	0	20
	Показатель	Орех	0	4	0
		Известняк	8	0	0
		FeОп.ш.	25,075	33,068	36,763
		основность	1,177	0,916	0,738
Показатель	Тпл	1411,348	1387,688	1367,684	
	Т кап.т.	1504,598	1489,740	1482,987	

Выводы.

Анализ и обобщение приведенных результатов исследования особенностей проплавки многокомпонентной шихты и закономерностей изменения при этом показателей развития ее газодинамических, тепловых, восстановительных и технологических процессов позволяет заключить следующее:

- показатели плавки весьма чувствительны к характеру распределения составляющих многокомпонентной шихты;

- характер распределения компонентов шихты и сочетания их свойств (основности, доли FeO и др.) в последовательности формирования порций материала на конвейере и на поверхности засыпи заметно изменяются во времени, что влияет на эффективность использования восстановительно-тепловой энергии газового потока.

- индикатором и приемом регулирования технологического режима, обуславливающим достижение рациональных результатов плавки, в условиях многокомпонентной шихты, является установление целесообразного количества и характера распределения масс окатышей и антрацита, первые из которых выполняют роль формирования и распределения, в частности, жидких фаз в печи, а второй – возможный уровень эффективности использования углерода в плавке. Последнее обусловлено, вероятно, условиями освоения антрацита не только процессами горения, но и газификацией его за счет кислорода жидких фаз в сочетании с активацией процессов растворения в них углерода;

- в исследованных условиях плавки рациональный уровень использования антрацита оценивается величиной порядка 70 кг/т чугуна и определяется, кроме технологических условий, расходом окатышей, довольно тесная взаимосвязь с которыми проявляется приведенными на блок-картах зависимостями;

- анализ обнаруженных закономерностей и взаимосвязей в настоящем исследовании свидетельствует, что в условиях использования многокомпонентной шихты необходимо обеспечить такое распределение ее составляющих, при котором исключаются резкие различия в соотношениях основности, количестве закиси железа и температурных показателей смеси материалов в равновеликих по площади зонах печи.

1. *Большаков В.И.* Теория и практика загрузки доменных печей. М. Металлургия, – 1990, – 256с.
2. *Логинов В.И., Мусиенко К.А., Гончаров А.Д.* О размере центральной «отдушины» столба шихтовых материалов в доменной печи // *Сталь.* – 1989. – №12. – С.13–17.
3. *Доменное производство «Криворожстали».* Монография под редакцией чл.-корр. НАН Украины В.И. Большакова. – Днепропетровск. ИЧМ – 2004. – 378с.
4. *Большаков В.И., Шутылев Ф.М., Лебедь В.В.* Инженерная методика расчета показателей распределения шихты для доменных печей, оснащенных БЗУ // *Металлургическая и горнорудная промышленность.* – 2006, №2. – С.76–80.
5. *Большаков В. И., Иванча Н.Г.* Формирование смешанных порций шихтовых материалов на доменном конвейере // *Металлургическая и горнорудная промышленность.* – 2002. – №6. – С.79–83.

Статья рекомендована к печати д.т.н., проф. И.Г.Товаровским