

В.И.Большаков, Н.А.Гладков, В.И.Вишняков

### ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ГАЗОПРОНИЦАЕМОЙ ОСЕВОЙ ЗОНЫ ДОМЕННОЙ ПЕЧИ

Выполнен расчет показателей программ загрузки с подачей коксовых порций в осевую зону доменной печи. Приведен анализ результатов оценки распределения шихтовых материалов на колошнике при изменении профиля засыпи и массы порций, загружаемых в осевую зону печи.

Одним из основных направлений совершенствования доменной плавки является обеспечение устойчивого хода и экономичной работы доменной печи (ДП). Немаловажную роль в решении этой задачи играет разработка приемов формирования рациональной структуры столба шихтовых материалов путем рационального распределения рудной нагрузки (РН) по сечению колошника, что обеспечивает эффективное использование тепловой и химической энергии газов в печи, определяет расход кокса [1].

Один из способов решения этой задачи – формирование умеренно развитого осевого потока газов. Если на печах малого объема с конусными загрузочными устройствами обычно содержание  $\text{CO}_2$  в газе осевой зоны составляет 8–12%, то на печах, оснащенных БЗУ эта величина составляет от 2 до 5% (рис.1).

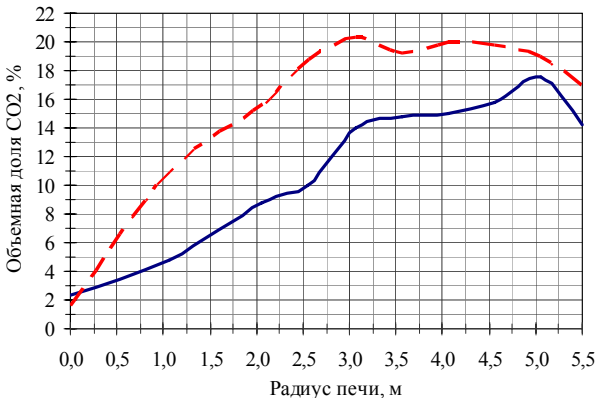


Рис.1. Газовые диаграммы радиального отбора проб газа, характерная для ДП–9 КГМК «Криворожсталь» в период ее работы с февраля по май 2004г.

— распределение  $\text{CO}_2$  при следующих параметрах работы печи: количество дутья – 6700  $\text{м}^3/\text{мин}$ ; давление дутья – 3,55 ати; температура дутья – 1010 $^{\circ}\text{C}$ ; давление колошниково-

го газа – 1,7 ати; уровень засыпи – 1,2 м; рудная нагрузка – 3,8 т/г;

— распределение  $\text{CO}_2$  при следующих параметрах работы печи: количество дутья – 7200  $\text{м}^3/\text{мин}$ ; давление дутья – 3,50 ати; температура дутья – 1100 $^{\circ}\text{C}$ ; давление колошниково-го газа – 1,7 ати; уровень засыпи – 1,2 м; рудная нагрузка – 3,7 т/г.

Решение главной задачи – повышение эффективности доменной плавки требует формирования рациональных параметров осевого потока газов, разработки теоретических и прикладных методов управления диаметром газопроницаемой осевой зоны. Для решения этих задач необходимо определить, что следует принимать в качестве границы осевой зоны, и как влияют на ее газопроницаемость исходный профиль шихты, масса и геометрия линзы кокса, выгружаемого в осевую зону.

Распределение химсостава газов зависит не только от распределения РН. Опыт наблюдения за работой ДП–9 «Криворожстали» показывает, что при некоторой заданной и описанной в настоящей программе загрузки изменение дутья от 6700 м<sup>3</sup>/мин до 7200–7300 м<sup>3</sup>/мин приводит к существенному изменению диаграммы распределения газов: осевая воронка становится широкой при расходе дутья 6700 м<sup>3</sup>/мин и существенно сужается при расходе дутья 7200 м<sup>3</sup>/мин (рисунок 1). Таким образом, распределение химсостава газов в доменной печи ощутимо зависит от расхода дутья, качества шихтовых материалов и формирующейся в зависимости от их сочетания поверхности засыпи. Поэтому теснота корреляционной связи между распределением рудных нагрузок и химсостава газов увеличивается при стабильных условиях работы печи. Однако, по нашим оценкам при любых режимах работы коэффициенты корреляции между указанными параметрами достаточно высоки (0,65 – 0,9), что свидетельствует о существенном влиянии распределения РН на распределение химсостава газов в доменных печах.

Произведен расчет формирования коксовых линз (КЛ) на колошнике доменной печи. За исходные данные взяты геометрические параметры ДП №9 ОАО КГМК «Криворожсталь» после капитального ремонта I–го разряда 2003г с бесконусным загрузочным устройством лоткового типа [2]. Для трех исходных профилей рассчитывались линзы по 2,5т, 5т, 10т, 15т и 20т кокса (рис.2). Предполагалось, что распределительный лоток находится в нулевом положении, при котором кокс высыпается вертикально. При этом образуется усеченный конус с образующей под углом наклона  $\alpha=28^\circ$  и верхним основанием радиусом 0,5 м. Параметры коксовых линз зависят от того, на каком профиле поверхности засыпи они формируются. На горизонтальном профиле поверхности засыпи радиус и высота коксовой линзы зависят только от объема кокса (рис.2а). На V–образной поверхности засыпи параметры КЛ зависят от объема кокса, а также формы и размеров углубления на поверхности засыпи (рис.2б). На поверхности засыпи (рис.2в) параметры КЛ зависят от объема кокса, ширины периферийных полок, угла наклона основной поверхности, радиуса и угла наклона осевой воронки. Поэтому при одинаковом объеме кокса на горизонтальном профиле радиус коксовой линзы будет больше остальных, а высота меньше. Самые высокие линзы с меньшим радиусом образуются на профиле, показанном на рис.2в.

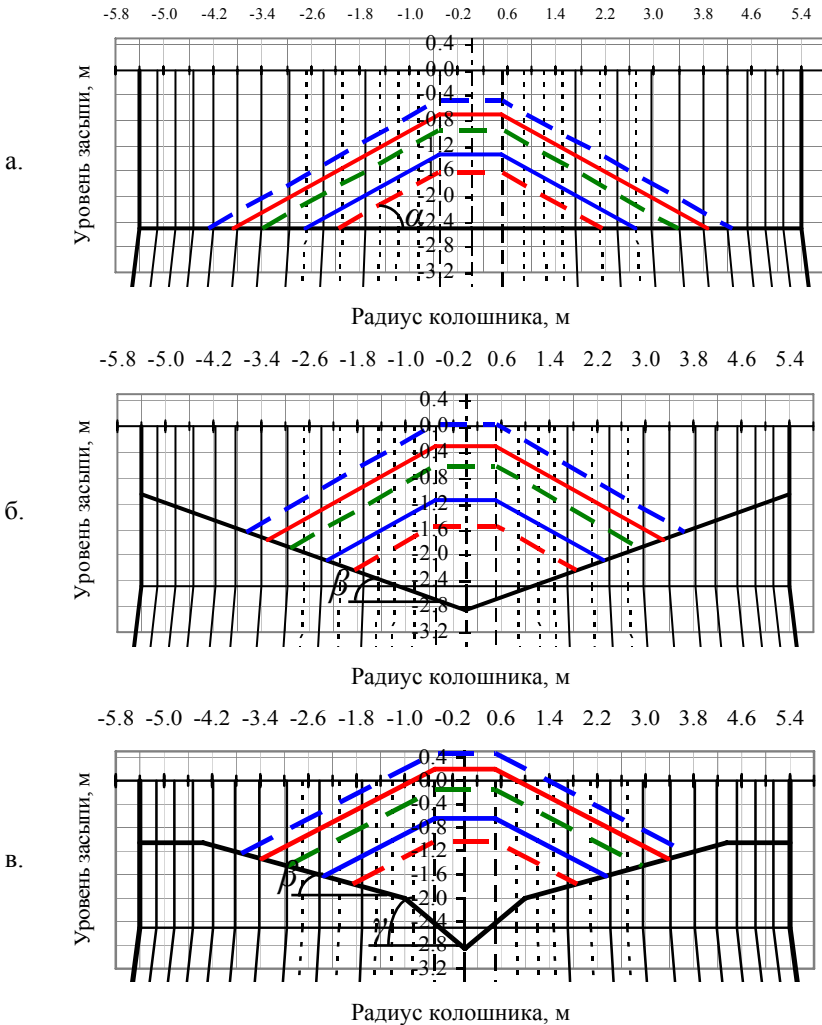


Рис.2. – Формирование коксовых линз на разных профилях поверхности засыпи.  
 а – кокс, высыпанный на горизонтальную поверхность; линзы №1 массой 2,5т, 5т, 10т, 15т и 20т. Угол откоса  $\alpha=28^\circ$ ; б – кокс, высыпанный на V-образную поверхность с углом наклона  $\beta=18^\circ$ ; линзы №2 массой 2,5т, 5т, 10т, 15т и 20т. Угол откоса  $\alpha=28^\circ$ ; в – кокс, высыпанный на V-образную поверхность с горизонтальными полками шириной 1м на периферии печи, с осевой воронкой радиусом 1м и углом наклона  $\gamma=41^\circ$ , угол наклона основной поверхности  $\beta=16^\circ$ ; линзы №3 массой 2,5т, 5т, 10т, 15т и 20т. Угол откоса  $\alpha=28^\circ$ .

Результаты оценки показали, что изменения исходного профиля не оказывают существенного влияния на величину радиуса коксовой линзы, так разница радиусов линз для случаев «а» и «в» на рис.2 при массе порции кокса 20т составляет  $4,28-3,71 = 0,57$  м, а при массе порции 5т –  $2,7-2,34 = 0,36$  м. При изменении массы порции от 20т до 2,5 разница радиусов линз в случае «а» составляет  $4,28-2,15=2,13$  м, а в случае «в»  $3,71-1,86=1,85$  м.

В качестве исходного профиля для этой печи был взят V-образный профиль с образующей под углом наклона  $\beta=16^\circ$ , горизонтальными полками шириной 1м на периферии печи и осевой воронкой радиусом 1м под углом наклона  $\gamma=41^\circ$ . За основу была взята программа загрузки, применявшаяся на ДП-9 с февраля по май 2004г (табл.1), цикл из 9-ти порций из которых 1-я и 5-я центральные коксовые порции. Для данного периода работы печи характерна газовая диаграмма, приведенная на рис.1.

Таблица 1. Базовая программа загрузки ДП-9

№ п/п	Вид материала	Масса, т	Угловые положения лотка
1.	Кокс	21,8	3-1
2.	Агломерат + конверторный шлак	99 (75+24)	9-6
3.	Кокс	21,8	8-5
4.	Агломерат + окатыши	108 (75+33)	9-3
5.	Кокс	21,8	3-1
6.	Кокс	21,8	8-4
7.	Агломерат + окатыши	108 (75+33)	8-4
8.	Кокс	21,8	8-4
9.	Агломерат + окатыши	108 (75+33)	9-3 исходный профиль
Рудная нагрузка, т/т РН=3,88			

Для упрощения расчета принято равномерное распределение загружаемых материалов всех порций за исключением №1 и №5 по радиусу колошника. Такое допущение принято в первом приближении, поскольку в работе ставилась цель оценки влияния коксовых линз на распределении шихты и РН в осевой зоне печи. По исходным данным табл.2 произведен расчет двух программ загрузки с двумя центральными порциями кокса по 15т и по 5т в цикле загрузки. Для соблюдения базовой РН и сохранения коэффициента догонки меры остаток кокса из центральных порций распределяли в другие коксовые порции цикла загрузки.

Все порции кроме 1-й и 5-й формируются с горизонтальной полкой на периферии и наклонной образующей под углом  $\beta=16^\circ$  в промежуточной части между осью и периферией. Предполагалось, что материалы в рассматриваемой части печи опускаются с одинаковой скоростью. В колошниковой части они опускаются вертикально вниз, а в верхней части

шахты печи шихта движется по лучам, исходящим из воображаемой точки пересечения образующих конических стен шахты и оси печи.

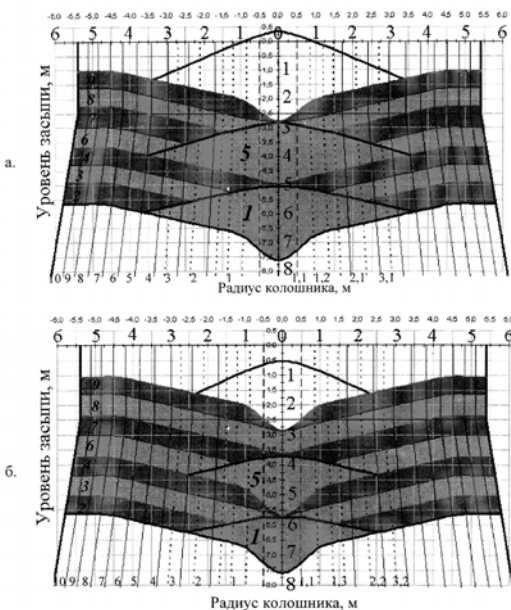
Таблица 2. Программы загрузки с двумя центральными коксовыми порциями 15 и 5т

№ п/п	Вид материала	Масса, т		Угловые положения лотка
		Программа №1	Программа №2	
1.	Кокс	15	5	0 в ось
2.	Агломерат + конверторный шлак	99 (75+24)	99 (75+24)	9–6
3.	Кокс	28	34	8–5
4.	Агломерат + окатыши	108 (75+33)	108 (75+33)	9–3
5.	Кокс	15	5	0 в ось
6.	Кокс	23	31	8–4
7.	Агломерат + окатыши	108 (75+33)	108 (75+33)	8–4
8.	Кокс	28	34	8–4
9.	Агломерат + окатыши	108 (75+33)	108 (75+33)	9–3 исходный профиль
Рудная нагрузка, т/т		3,88	3,88	

На рис.3 представлены результаты расчета слоев материалов по программе загрузки с подачей в осевую зону 15т (рис.3.а) и 5т (рис.3.б) кокса в каждой центральной порции.

Рис.3. – Результат расчета программ загрузки с подачей кокса в ось в каждой центральной коксовой порции.

а. – программа загрузки с подачей в ось 15т кокса;  
б. – программа загрузки с подачей в ось 5т кокса.



а. – программа загрузки с подачей в ось 15т кокса;  
б. – программа загрузки с подачей в ось 5т кокса.

После расчета формы слоев вычислили распределение руд-

ных нагрузок в десяти равновеликих по площади зонах. Результаты моделирования распределения РН по радиусу печи, представлены на рис.4. Первую, вторую и третью зоны дополнительно разбили на равные по площади части, первую зону на четыре, а 2-ю и 3-ю на две равных части. На математической модели ИЧМ выполнен расчет распределения материалов на поверхности засыпи колошника для ДП-9. Математическая модель не только учитывает угловые положения лотка, а также перетекание кокса по поверхности засыпи при загрузке железосодержащих материалов на него. Расчет производился по программе загрузки представленной в табл.1. В результате расчета получен график рудной загрузки для базовой программы загрузки (рис.5).

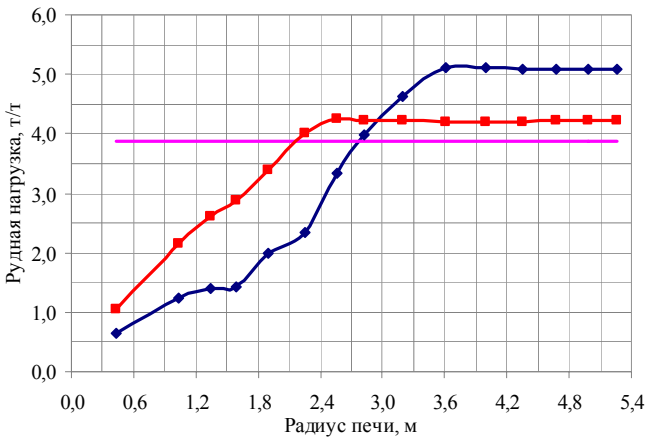


Рис.4. — Распределение рудных нагрузок по радиусу колошника.

—, — средняя рудная нагрузка, т/т;

◆, — распределение рудных нагрузок по зонам программы загрузки №1, т/т;

■, — распределение рудных нагрузок по зонам программы загрузки №2, т/т.

Коэффициент корреляции распределения рудных нагрузок (рис.5) и распределения углекислоты (рис.1), типичных для данного периода, составил  $0,85 \pm 0,65$  ед. Также был произведен расчет распределения материалов на колошнике для программ загрузки, приведенных в таблице 3. На рисунке 6 представлены графические результаты расчета распределения рудных нагрузок для четырех программ загрузки, с различной массой порций, загружаемых в осевую зону.

Учитывая, что рудные нагрузки по радиусу колошника распределяются аналогично распределению  $\text{CO}_2$  в колошниковом газе [4], есть основания предполагать, что распределение  $\text{CO}_2$  в печи после установки рассмотренных программ будет аналогичным распределению РН, показанных на рис.6. Ввиду отсутствия экспериментальных данных для оценки достоверности распределения РН по рассмотренным программам загрузки

ки, кроме базовой, для сопоставления результатов сравнили базовую программу с остальными.

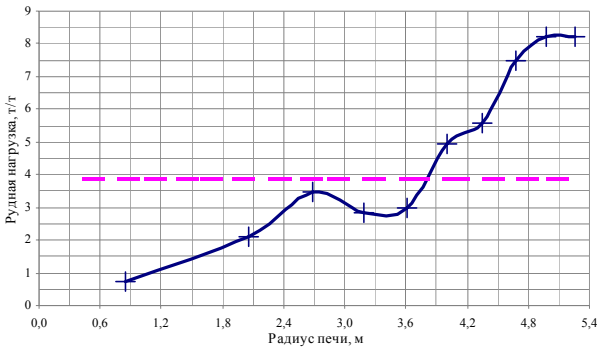


Рис.5. – Распределение рудных нагрузок по радиусу колошника при использовании базовой программы загрузки.  
 - - - средняя рудная нагрузка, т/т;  
 —+— распределение рудных нагрузок по зонам базовой программы загрузки, т/т.

Таблица 3. Программа загрузки ДП-9

№ п/п	Вид материала	Масса, т				Угловые положения лотка
		Прогр. №3	Прогр. №4	Прогр. №5	Прогр. №6	
1.	Кокс	2,5	5	15	20	0
2.	Агломерат + конверторный шлак	99 (75+24)	99	99	99	9–6
3.	Кокс	37	34	28	23	8–5
4.	Агломерат + окатыши	108 (75+33)	108	108	108	9–3
5.	Кокс	2,5	5	15	20	0
6.	Кокс	30	31	23	23	8–4
7.	Агломерат + окатыши	108 (75+33)	108	108	108	8–4
8.	Кокс	37	28	34	23	8–4
9.	Агломерат + окатыши	108 (75+33)	108	108	108	9–3
Рудная нагрузка, т/т РН=3,88						

Анализ показал, что все программы загрузки кроме второй (табл.2) широко открывают осевую зону, пересечение линии РН по зонам со средней РН находится в пределах 2,7 – 4,0м. Распределение материалов второй программы загрузки обеспечивает более узкую осевую зону, пересечение прямой и кривой РН находится на расстоянии 2,15м от оси печи. В первых двух программах разница между значениями точек линии средней РН и точками линии рудных нагрузок в 6–10 кольцевых зонах не так значительна как в 3–й – 6–й программах загрузки (рис. 4, 6). Распределение рудных нагрузок базовой программы загрузки (рис.5) и 3–й – 6–й про-

грамм загрузки (рис.6) имеет одинаковый характер, особенно в промежуточной зоне (равновеликие зоны 3–8). Корреляционная связь между базовой программой загрузки и 3–6-й программами находится в пределах  $0,91 \div 0,97$  ед. соответственно. Основное отличие рассматриваемых программ загрузки (рис. 5, 6) в осевой и периферийной зонах. Осевая зона третьей и четвертой программы загрузки подгружена больше, на 3-й равновеликой зоне выходят на значение средней РН, периферийные зоны (9-я, 10-я равновеликие зоны) меньше подгружены, чем при 5, 6 программах. Это дает основание предполагать, что в периферийной зоне печи установится устойчивый ход колошниковога газа. Меньшая разница значений РН 3-й, 4-й программ загрузки ( $1 \div 8,5$  ед.) с достаточными выраженными осевой и периферийной зонами указывает на установление рациональных параметров коксовых линз.

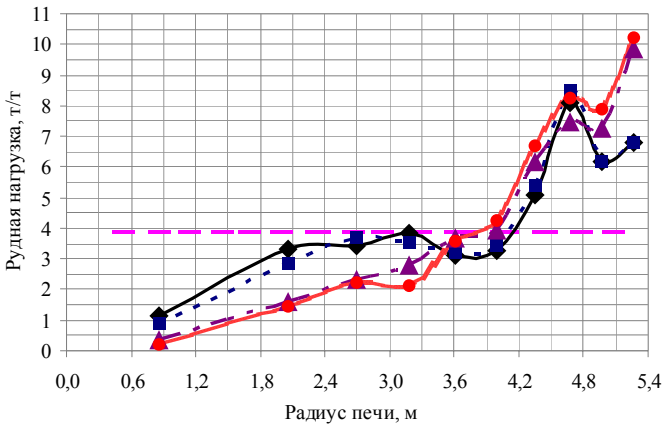


Рис.6. — Распределение рудных нагрузок по радиусу колошника для четырех программ загрузки с изменением массы порций кокса, загружаемых в осевую зону (табл. 3).

— — — средняя рудная нагрузка, т/т;

- ◆— распределение рудных нагрузок по зонам программы загрузки с коксовыми линзами 2,5т, т/т;
- — распределение рудных нагрузок по зонам программы загрузки с коксовыми линзами 5т, т/т;
- ▲—•— — распределение рудных нагрузок по зонам программы загрузки с коксовыми линзами 15т, т/т;
- — распределение рудных нагрузок по зонам программы загрузки с коксовыми линзами 20т, т/т.

По расчетным данным определено расположение центров тяжести шихтовых материалов по радиусу колошника (табл.4) [5] относительно оси печи.

Таблица 4. Расчетные значения центров тяжести рудных нагрузок при средней РН 3,88 т/т

Параметры загрузки	Программы загрузки
--------------------	--------------------



	Базовая	№1	№2	№3	№4	№5	№6
Центр тяжести, м	4,24	3,96	3,73	4,07	4,11	4,34	4,40

Целесообразно распределять шихтовые материалы так чтобы, центр тяжести располагался ближе к оси, оставляя в оси зону с меньшим количеством железорудных материалов или с РН близкой к нулю, а на периферии оставлять кольцо, в котором РН была бы ниже чем в промежуточной [1]. Таким образом, формируется осевая отдушина в центре печи и периферийное кольцо (отдушина) у стен печи [6, 7]. Надлежащим образом сформированные осевая и периферийная отдушины обуславливают рациональное газораспределение и ровный ход печи. Рациональная осевая отдушина обеспечивает стабильный ход печи, уменьшение потерь тепла, увеличение степени использования тепловой и восстановительной энергии газового потока и уменьшение расхода кокса. Периферийная отдушина в свою очередь позволяет форсированно работать и обеспечить ровный ход ДП.

В настоящее время ведется разработка программ загрузки, при которых осевая зона ярко выражена как во 2-й программе, а периферийная зона похожа на 3-ю и 4-ю программы загрузки. Это дает основания предполагать, что восстановительная способность газа будет лучше использована.

Заключение. Ровный, экономичный ход и эффективность доменной плавки существенно зависят от распределения шихтовых компонентов по радиусу колошника, и характеризуется диаграммой распределения химсостава газа и показателем степени использования его восстановительной способности.

Анализ параметров распределения шихтовых компонентов по шести программам загрузки с различной массой порций, загружаемых в осевую зону, свидетельствует о взаимосвязанном характере изменения в различных кольцевых зонах печи величин распределения РН и химсостава газа, принятых в качестве показателей распределения шихтовых материалов в печи.

Результаты исследования показывают, что исходный профиль засыпи не оказывает существенного влияния на диаметр коксовых линз. А основным инструментом влияния на размеры газопроницаемого канала с уменьшенной рудной нагрузкой является масса порций кокса, загружаемых в осевую зону печи.

Анализ особенностей формирования материалов в верхней части печи, позволяет целенаправленно формировать программы загрузки для печей, оборудованных бесконусными и другими загрузочными устройствами, обеспечивающими загрузку кокса непосредственно в осевую зону печи. Управление показателями распределения шихты (управление сверху), является эффективным и требует согласования с дутьевыми параметрами.

1. *Большаков В.И.* Теория и практика загрузки доменных печей. // М.: Металлургия, 1990. – 256 с.
2. *Исследование* состояния БЗУ, колошника и шахты доменной печи объемом 5000 м<sup>3</sup> после выдувки на капитальный ремонт /В.И. Большаков, С.Т.Шулико, В.И.Вишняков и др. // Теория и практика производства чугуна Тр. международной научно–технической конференции к 70–летию КГТМК «Криворожсталь» – Кривой Рог. –Днепропетровск: Пороги, 2004 – С.415–421.
3. *Оценка* изменения профиля засыпи шихты в доменной печи радиолокационным уровнемером / В.И. Большаков, С.Т. Шулико, И.Г. Муравьева, Ю.С. Семенов и В.С. Листопадов // *Металлургическая и горнорудная промышленность.* – №2. – 2004. – С.117–121.
4. *Влияние* параметров загрузки и качества железорудных материалов на степень использования газов в доменной печи / В.И. Большаков, Н.А. Гладков, Ф.М.Шутылев // *Металлургическая и горнорудная промышленность.* –2001 –№1. – С. 10–14.
5. *Показатели* радиального распределения шихтовых материалов в доменной печи / В.И. Большаков, Ю.А. Богачев, Н.А. Гладков, Ф.М. Шутылев // *Металлургическая и горнорудная промышленность.* – 2000. – №6. – С.5–8.
6. *Роль* отдушин в структуре столба шихты и формировании газовых потоков / В.И. Большаков, Н.А. Гладков, Ф.М. Шутылев, С.Т. Шулико, Ю.А. Богачев, // *Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии.* Вып.4. – К.:«Наукова думка», 2001. – С.70–76.
7. *Научно–технические* подходы к рациональному распределению шихтовых материалов в доменной печи / В.И.Большаков, Н.А.Гладков, Ф.М.Шутылев, С.Т.Шулико, Ю.А.Богачев, // *Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии.* Выпуск 4. – К.: «Наукова думка», 2001. – С. 11–13.

*Статья рекомендована к печати к.т.н. Н.М.Можаренко*