

3. **Воляник А. О.** Вплив на ризики травмування на виробництві факторів зовнішнього середовища / **А. О. Воляник, К. Н. Ткачук** // Вісник Криворізького технічного університету. - 2005. - Вип. 8. — С. 156-159.
4. **Глібчук В. М.** Сутність ризику як економічної категорії / **В. М. Глібчук** // Львівська політехніка. Вісник... - 2007. - № 599. - С. 102-107.

Рукопись поступила в редакцию 31.03.12

УДК 669.162.16

Е.Г. ДОНСКОВ, В.П. ЛЯЛЮК, доктора техн. наук, проф., А.Д. ДОНСКОВ, студент, Д.А. КАССИМ, канд. техн. наук, ГВУЗ “Криворожский национальный университет”

## ДОМЕННАЯ ПЛАВКА ПОД ДАВЛЕНИЕМ, МИФЫ И РЕАЛЬНОСТЬ

Повышенное давление газа в рабочем пространстве доменных печей является скорее привычным, а не необходимым фактором, поэтому без ущерба для производства может быть снижено и использоваться лишь как метод стабилизации перепада давлений газа между горном и колошником.

Из числа методов интенсификации доменной плавки, широко применяемых на доменных печах Советского Союза в прежние годы, и в настоящее время, наряду с обогащением дутья кислородом в наибольшей степени, сохранилось и продолжает использоваться повышение давления газа в рабочем пространстве доменных печей. Целесообразность повышения давления на колошнике до 150-200 кПа и более, как правило, не вызывает никакого сомнения среди специалистов, как теоретиков так и практиков, выросших во время работы доменных печей, когда это давление редко опускалось ниже 150 кПа. Между тем эффективность метода, как в самом начале его применения, так и в современных условиях была и остается призрачной, причем в прошлые годы сомнения в его эффективности и целесообразности применения высказывались чаще, чем теперь [1].

Предложение о целесообразности повышения давления газа в печи впервые было высказано Г. Бессемером, который полагал повысить, таким образом, температуру газообразных продуктов горения и в связи с этим отказаться от нагрева дутья. Несостоятельность такого ожидания была установлена еще до его экспериментальной проверки. П.М. Есманский предложил использовать повышение давления для улучшения распределения газа по сечению доменной печи и более полного восстановления железорудных материалов. Такие ожидания также не оправдались. Не нашли практического подтверждения и взгляды Д.М. Эвери, усматривающего в повышенном давлении газа возможность полного подавления в доменной плавке прямого восстановления оксидов железа [2, с. 7-10].

Уже первые опыты применения метода на промышленных печах показали, что расход кокса при повышении давления газа в печи может сокращаться, оставаться без изменения или возрастать. Во всяком случае, четкого улучшения восстановительной работы газа и сокращения на этой основе расхода кокса обнаружено не было [1,3 и др.]. Следует отметить, что в ряде случаев при повышении давления газа, условия работы печей улучшались. Например, на ММК одновременно с повышением давления колошниковога газа была повышена температура дутья и внедрен офлюсованный агломерат повышенной основности. Однако в результате повышения давления на печах ММК фактическое увеличение производительности и снижение расхода кокса оказалось значительно меньше, чем ожидали получить на основании выполненных расчетов влияния давления колошниковога газа на потери напора по высоте печи [4, с. 172-174].

Дольше всего просуществовал и продолжает жить миф о возможности существенного повышения расхода дутья и интенсивности плавки при искусственном повышении давления газа в рабочем пространстве доменной печи путем введения дополнительного сопротивления в газовую сеть печи. У истоков такой точки зрения находятся взгляды и расчеты И.И. Коробова [2, с. 10], М.А. Стефановича [5], М.Я. Остроухова [3], А.Н. Рамма [6,7] и др. В основу указанных взглядов и, соответственно, расчетов положены ошибочные представления о том, что изменения перепада статического давления газа в столбе доменной шихты адекватно отображаются уравнением Дарси-Вейсбаха.

Ошибочность использования уравнения Дарси-Вейсбаха (следует подчеркнуть, что в физике такого уравнения нет) для оценки газодинамических процессов доменной плавки, заключается в том, что независимая переменная реально существующей связи, т.е. причина (перепад

статического давления), в конечном результате поменялась местами с зависимой переменной, т.е. следствием (скоростью газового потока). При этом причины изменения самой скорости газа этим уравнением не раскрываются, а многие исследователи этот факт игнорируют. Игнорируется также неизотермичность и сжимаемость доменного газа.

В действительности не скорость определяет разность статических давлений в двух точках пространства, как это следует, если использовать уравнение Дарси-Вейсбаха, а потенциал, т.е. разность давлений, формирует силу, под воздействием которой материальная субстанция, в данном случае газ, перемещается из одной точки пространства в другую. При этом, чем больше потенциал, величина которого определяется иными физическими параметрами, тем выше скорость. Данная связь отображается известным из физики уравнением Торричелли.

Следует отметить, что обозначенная ошибочная точка зрения на взаимосвязи разбираемых параметров разделяется многими специалистами и сегодня. Между тем хорошо известно, что уравнение Дарси-Вейсбаха получено эмпирически для случая напорного движения капельной (несжимаемой) жидкости в гладких трубах в изотермических условиях. Распространять данное уравнение на доменную печь, где движется иная материальная среда - сжимаемый газ в неизотермических условиях, по меньшей мере, не корректно. Поэтому указанные выше методы расчета просто не могут адекватно отображать и соответственно прогнозировать какие-то изменения действительных параметров, тем более что при выполнении этих расчетов приходится делать множество разнообразных допущений, дополнительно снижающих достоверность отображения результатами расчетов действительных связей.

Изложенные обстоятельства вскрывают одну из причин того, что при повышении давления в печи, ожидаемые в соответствии с выполненными расчетами результаты по увеличению расхода дутья и повышению интенсивности плавки, мягко говоря, не соответствуют тому, что получается на практике. Об этом неоднократно отмечено в литературе, причем не только практиками [1], но и разработчиками указанных расчетов [4, с. 152; 7, с. 114].

Другим, и на наш взгляд, главным обстоятельством, которое в рассматриваемом случае также проигнорировано, является важная особенность работы центробежных нагнетательных машин, как насосов, так и компрессоров, которая заключается в зависимости их производительности от сопротивления сети. При повышении сопротивления сети, куда нагнетается жидкость или газ (воздух), производительность машины, в данном случае компрессора, снижается. На эту особенность существующих воздуходувных машин энергетики указывали еще в самом начале применения повышенного давления. Например, в табл. 1 в сокращенном варианте приведены данные о потерях (производительности) расхода при повышении давления дутья (возрастающего при повышении давления колошникового газа) взятые из работы [8], опубликованной еще в 1952 г.

Более детально все это показано на рис. 1 из работы [9], где приведен участок газодинамической характеристики компрессора К-4250-1.

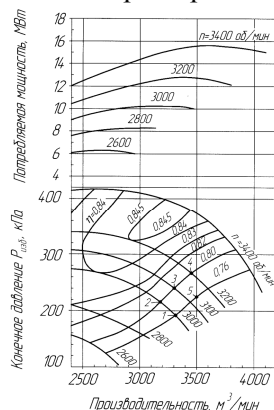


Рис. 1. Газодинамическая характеристика компрессора К-4250-1[9]

Предположим, что в исходном положении ТВД работает в точке 1 приведенной диаграммы. Компрессор при  $n = 3000$  об/мин обеспечивает подачу в печь  $Q_d = 3320$  м<sup>3</sup>/мин дутья при давлении  $P_d = 190$  кПа. Потребляемая мощность  $N = 10,2$  МВт. Сопротивление сети  $\eta = 0,76$ . Это может соответствовать давлению колошникового газа в печи  $P_k = 70$  кПа при величине общего перепада статического давления газа  $\Delta P_\Sigma = 120$  кПа (табл. 2), который может быть предельным по условию обеспечения ровного хода печи.

Таблица 1

Зависимость расхода от давления дутья по турбовоздуходувкам (ТВД) разных типов

Воздуходувка	Интервал повышения давления, ати.	Уменьшение расхода дутья на 0,1 ат повышения давления дутья, нм <sup>3</sup> /мин
НЗЛ – 3100	1,9-2,1	200
ББК – 3100	1,9-2,1	270
ГХХ – 3100	2,1-2,4	180
ЧР – 3540	2,2-2,3	400
НЗЛ – 4100	2,0-2,2	350

Увеличиваем давления газа на колошнике печи до 110 кПа, что влечет за собой рост сопротивления сети (на диаграмме переходим на кривую  $\eta = 0,8$  в точку 2). При сохранении числа оборотов ротора компрессора 3000 об/мин расход дутья снижается до 3170 м<sup>3</sup>/мин, а давление дутья растет до 215 кПа при той же потребляемой мощности. Общий перепад давлений газа в печи при этом снижается до 105 кПа, открывая возможность по увеличению расхода дутья.

Таблица 2

Изменение характеристик ТВД, параметров дутья и общего перепада давления в печи при повышении давления колошниковога газа

Номер точки на рис. 1	$n$ , об/мин.	$Q_d$ , м <sup>3</sup> /мин	$P_d$ , кПа	$N$ , МВт	$P_k$ , кПа	$\Delta P_{\Sigma}$ , кПа
1	3000	3320	190	10,2	70	120
2	3000	3170	215	10,2	110	105
3	3100	3320	245	11,5	110	135
4	3200	3460	270	12,9	110	160
5	3150	3500	225	11,6	70	155

Возвращение расхода дутья до исходного при возросшем сопротивлении сети требует увеличения числа оборотов ротора до 3100 об/мин (точка 3 на диаграмме). Давление дутья при этом возрастает до 245 кПа, т.е. еще на 30 кПа при соответствующем увеличении (на ту же величину) общего перепада статического давлений газа, т.е. возвращение расхода дутья до исходного в соответствии с диаграммой вызывает повышение перепада до 135 кПа против исходного 120 кПа. Потребляемая мощность возрастает до 11,5 МВт. По сравнению с исходным периодом давление дутья выросло на 55 кПа, при том же расходе дутья, т.е. по достигнутому результату эффективность интенсификации нулевая при повышении расхода энергии на компремирование дутья на 1,3 МВт. При этом можно ожидать начала тугого или канального хода доменной печи из-за возросшего перепада давления газа до 135 кПа против 120 кПа, если он является предельным.

Повышение расхода дутья до 3460 м<sup>3</sup>/мин, т.е. до уровня выше исходного, при возросшем сопротивлении сети требует увеличения числа оборотов ротора компрессора до 3200 об/мин (точка 4). При этом давление дутья возрастает до 270 кПа, т.е. по сравнению с исходным на 80 кПа при увеличении потребляемой мощности до 12,9 МВт и общего перепада давления газа в печи до 160 кПа. В предельных по величине общего перепада исходных условиях эта задача, скорее всего не может быть выполнена, т.к. вызовет расстройство хода печи.

Если условия газодинамики позволяют увеличить перепад давления от исходных условий (точка 1) то это может быть реализовано простым увеличением до ~3150 об/мин ротора компрессора, причем, расход дутья при этом может быть увеличен на несколько большую величину (до 3500 м<sup>3</sup>/мин, точка 5), чем при повышении давления колошниковога газа. Существенно, что в данном случае сокращается расход энергии на компремирование дутья (табл. 2).

Проведенный анализ газодинамических особенностей современных воздуходувных машин позволят сделать заключение о том, что при использовании в качестве источника дутья центробежных компрессоров повышение давления газа в рабочем пространстве доменной печи, путем введения дополнительного сопротивления в газовую сеть, не может рассматриваться как метод интенсификации доменной плавки.

Практика применения данного метода на доменных печах СССР подтверждает справедливость такого заключения. Простое сопоставление интенсивности плавки по дутью и сожженному коксу в периоды предшествующие и после широкого освоения повышенного давления на печах Советского Союза по многочисленным публикациям в периодической печати указывает во многих случаях на нулевую или даже на отрицательную его эффективность.

Бесспорными, отмечаемыми многими исследователями результатами повышения давления является сокращение зон горения у фурм, усиление периферийного хода газа и снижение выноса колошниковой пыли [1-5 и др.]. Если полагать оправданной наблюдаемую в последнее время на печах Украины и России тенденцию к уменьшению диаметра воздушных фурм, которая направлена на сокращение периферийного потока газа и в ряде случаев совмещаемая с закрытием части работающих фурм, что логично и потому оправдано, то повышение давления газа на колошнике воздействующее на газораспределение в противоположном направлении не может считаться оправданным, тем более, что оно в дополнение к этому снижает вынос пыли из столба шихтовых материалов в доменной печи, т.е. эквивалентно ухудшению работы системы отсева мелких фракций из шихтовых материалов в процессе их загрузки. Не вызывают сомнения и

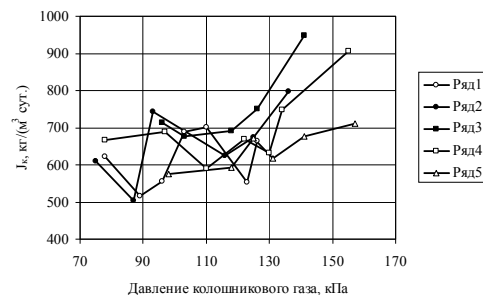
иные, отмеченные многими работами [1-3, 10 др.], отрицательные последствия метода, такие как снижение стойкости кладки шахт, засыпных аппаратов, атмосферных клапанов и другого оборудования и коммуникаций, как на самой доменной печи, так и на воздуходувке и газоочистке, а также ухудшение экономических показателей плавки. Например, при повышении давления дутья с 2,5 до 3,0 ати. расход энергии на компремирование возрастает на 23,4 % [2, с. 356].

В табл. 3 приведены среднегодовые показатели работы доменных печей комбината “Криворожсталь” различного объема с различным давлением газа на колошнике опубликованные в трудах V международного конгресса доменщиков в 1999 г. [11] и международной научно-технической конференции посвященной 70-летию КГГМК “Криворожсталь” проведенной в 2004 г. [12]. Здесь по каждой из печей из промежутка работы в 1990-2003 гг. выбраны годовые периоды сходные по условиям их работы, но существенно различающиеся по давлению колошниково-го газа. Приведенные данные свидетельствуют о том, что во многих случаях при повышении давления газа на колошнике доменных печей в пределах 70-150 кПа интенсивность плавки по дутью и сожженному углероду снижается. По каждой из печей в указанном периоде времени можно выбрать и периоды, свидетельствующие об обратном.

На рис. 2 и 3, приведены графики зависимости показателей интенсивности плавки по дутью  $J_d$  и по сожженному коксу  $J_k$  от давления колошниково-го газа  $P_k$  при изменении последнего в пределах от 70 до 150 кПа построенные по тем же данным [11,12].



**Рис. 2.** Зависимость интенсивности плавки по дутью  $J_d$  от давления колошниково-го газа: 1 - ДП №1, 2 - ДП №5, 3 - ДП №7, 4 - ДП №8, 5 - ДП №9



**Рис. 3.** Зависимость интенсивности плавки по коксу  $J_k$  от давления колошниково-го газа: 1 - ДП №1; 2 - ДП №5; 3 - ДП №7; 4 - ДП №8; 5 - ДП №9

Как видно, в период от 1990 до 2003 года по печам комбината “Криворожсталь” объемом: 1719 м<sup>3</sup> (№1), 2000 м<sup>3</sup> (№5 и 7), 2700 м<sup>3</sup> (№8) и 5000 м<sup>3</sup> (№9):

повышение давления колошниково-го газа в пределах от 70 до 150 кПа к системному повышению интенсивности плавки не приводило;

по каждой из печей можно найти период, в котором изменение давления газа на 10-20 кПа приводят к заметному как повышению, так и снижению интенсивности плавки;

средний уровень значения показателей интенсивности плавки по дутью и сожженному коксу намного ниже достигнутого на печах завода им. Петровского, “Азовсталь”, “Запорожсталь”, ММК и др. [1, 4, 13, 14 и др.] без повышения давления колошниково-го газа.

М.А Павлов в своей книге, опубликованной в 1949 г., приводит показатели работы коксовых доменных печей Советского Союза, в частности доменной печи №2 Криворожского завода объемом 930 м<sup>3</sup>, на которой при выходе шлака 860 кг/т чугуна, на нормальном давлении на колошнике и без обогащения дутья кислородом интенсивность горения кокса составила 1307 кг/(м<sup>3</sup>·сут.) [13, с. 312]. В книге И.З. Козловича [14, с. 196-198] приводится информация о работе доменной печи №3 объемом 1300 м<sup>3</sup> завода “Запорожсталь” в 1939-1940 годах на фурмах диаметром 200 мм и вдувании в печь до 3400 м<sup>3</sup>/мин дутья также без обогащения дутья кислородом и при нормальном давлении на колошнике. Интенсивность плавки по дутью составила 2,62 м<sup>3</sup>/мин·м<sup>3</sup>.

Из числа работы современных печей, приведенных на указанных международных форумах, в частности в докладе В.А. Шатлова [15], с таким уровнем интенсивности плавки 1279-1332 кг/(м<sup>3</sup>·сут) в 2003 г. работали доменные печи №1 (объемом 1007 м<sup>3</sup>) и №2 (объемом 1033 м<sup>3</sup>) ОАО “Северсталь” при давлении газа на колошнике печей 142 и 141 кПа. Однако здесь же приведены показатели работы других печей комбината “Северсталь”, так на печи №3 объемом 2000 м<sup>3</sup> при давлении колошниково-го газа 179 кПа интенсивность составила 1015 кг/(м<sup>3</sup>·сут), а на доменной печи №5 объемом 5500 м<sup>3</sup> при давлении 186 кПа всего 798 кг/(м<sup>3</sup>·сут).

В табл. 4 приведены основные технико-экономические показатели плавки, полученные в ходе экспериментов проведенных на двух доменных печах объемом 2000 м<sup>3</sup> работающих в существенно различающихся условиях на разных предприятиях в разное время.

Таблица 4

Показатели работы доменных печей объемом 2000 м<sup>3</sup> при изменении давления колошниковога газа

Показатели	№1		№6		
	21	10	333	8	15
Продолжительность периода, сутки	21	10	333	8	15
Давление газа на колошнике, кПа	130	101	146	84	140
Удельная производительность, т/м <sup>3</sup> сут	0,97	1,28	1,66	2,08	1,98
Удельный расход кокса, кг/т чугуна	673	608	527	506	529
Интенсивность горения кокса, кг/(м <sup>3</sup> ·сут)	653	778	875	1052	1047
Дутье: расход, м <sup>3</sup> /мин,	3965	4506	3340	3900	3979
температура, °С	1030	1018	1064	1003	947
Интенсивность по дутью, м <sup>3</sup> /мин·м <sup>3</sup>	1,98	2,25	1,67	1,95	1,99
Расход кислорода, м <sup>3</sup> /т чугуна	147	123	132	128	151
Расход природного газа м <sup>3</sup> /т чугуна	–	–	112	111	117
Расход мазута, кг/т чугуна	72	91	–	–	–
Содержание железа в шихте, %	47,9	49,2	55,9	55,5	56,0

Эксперимент на доменной печи №1 проведен в 2010 г. в рамках распространения опыта работы доменных печей доменного цеха №1 комбината “Криворожсталь” на доменные печи компании “АрселорМиттал Темиртау”. Основной отличительной особенностью условий работы печей здесь является низкое содержание железа в шихте и работа без природного газа. Эксперимент на доменной печи №6 комбината “Криворожсталь” проведен в 1989 г. и взят для сравнения из работы [16, с. 79].

На печи №1 ОАО “АрселорМиттал Темиртау” при снижении давления газа на колошнике на 29 кПа интенсивность плавки по дутью выросла на 13,6 %, а интенсивность плавки по сожженному коксу на 19,1 % при росте производительности печи на 32 % и уменьшении удельного расхода кокса на 65 кг/т чугуна.

На аналогичной по объему доменной печи №6 металлургического комбината “Криворожсталь” интенсивность по дутью существенно выросла при снижении и практически не изменилась при повышении на 56 кПа давления колошниковога газа в печи, а интенсивность горения кокса выросла наиболее существенно с 875 до 1052 кг/(м<sup>3</sup>·сут) при снижении давления колошниковога газа со 146 до 84 кПа. При уменьшении давления на колошнике печи производительность выросла на 25,3 %, а расход кокса снизился на 21 кг/т чугуна. Приведенные экспериментальные данные подтверждают справедливость выводов полученных в ходе изложенного анализа для различных условий плавки.

**Таким образом,** в настоящее время повышенное давление газа в рабочем пространстве печей является скорее привычным, а не необходимым фактором. Поэтому без ущерба для производства может быть снижено и использоваться лишь как метод стабилизации перепада давлений газа между горном и колошником. Работать необходимо на максимально возможном перепаде давления для обеспечения проникновения газового потока к оси горна печи.

На наш взгляд, назрела необходимость обсуждения накопленного опыта использования повышенного давления в доменной плавке, а также разработки в соответствии с представлениями и терминологией фундаментальной науки теоретических основ изменения давления газа по высоте доменной печи, поскольку использование уравнения Дарси-Вейсбаха не может адекватно отображать и соответственно прогнозировать какие-то изменения действительных параметров газодинамики доменной плавки.

#### Список литературы

1. Дискуссия о работе доменных печей на повышенном давлении. Днепропетровск: УкрНТО ЧМ, 1958. – 69 с.
2. **Щедрин В.М.** Теория доменной плавки под давлением. – М.: Металлургиздат, 1962. – 454 с.
3. **Остроухов М.Я.** К теории работы доменных печей с повышенным давлением // Сталь, 1954. – №10. – С. 882-886.
4. Достижение доменщиков Магнитогорского металлургического комбината. – М.: Металлургиздат, 1957. – 279 с.
5. **Стефанович М.А., Якобсон А.П.** Особенности движения газа в печи при повышенном давлении // Сталь, 1953. – №2. – С. 108-115.
6. **Рамм А.Н.** О возможностях интенсификации доменной плавки при повышении давления газов // Труды ЛПИ им. Калинина. Металлургия чугуна. – М.: Металлургиздат, 1955. – Выпуск №179. – С. 118-125.
7. **Рамм А.Н.** Современный доменный процесс. – М.: Металлургия, 1980. – 304 с.

8. Пашков В.Д. Повышение давления доменного дутья // *Сталь*, 1952. – №3. – С. 219-227.
9. Ницкевич Е.А. Теплоэнергетика доменного производства. – М.: Металлургия, 1966. – 383 с.
10. Тетеревятников Е.Г., Андронов В.Н. Работа доменной печи на давлении под колошником до 1,3 ати. // *Сталь*, 1957. – №3. – С. 200-204.
11. Шеремет В.А. Аглодомненное и коксовое производство КГГМК “Криворожсталь” // Труды V Международного конгресса доменщиков “Производство чугуна на рубеже столетий”. Днепропетровск: Пороги, 1999. – С. 6-14.
12. Шеремет В.А. Развитие доменного производства Криворожского государственного горно-металлургического комбината “Криворожсталь” // Труды Международной научно-технической конференции посвященной 70-летию КГГМК “Криворожсталь” “Теория и практика производства чугуна”. Кривой Рог, 2004. – С. 5-12.
13. Павлов М.А. *Металлургия чугуна. Том II. Доменный процесс.* Изд. 6. – М: Metallurgizdat, 1949. – 628 с.
14. Козлов И.З. Процессы восстановления и окисления в мощных доменных печах. Под редакцией М.А. Павлова. – Л-М: Metallurgizdat, 1951. – 300 с.
15. Шатлов В.А. Состояние производства чугуна и технологии доменной плавки в России // Труды Международной научно-технической конференции посвященной 70-летию КГГМК “Криворожсталь” “Теория и практика производства чугуна”. Кривой Рог, 2004. – С. 22-27.
16. Донсков Е.Г., Лялюк В.П., Северенюк В.В. Работа воздушных фурм доменных печей. – Днепропетровск: Пороги, 1997. – 120 с.

Рукопись поступила в редакцию 24.02.12

УДК 669.162

А.В. РЕВЕНКО, канд. техн. наук, доц., ГВУЗ «Криворожский национальный университет»,  
О.А. РЕВЕНКО, магистр, «ГИПОпром», Днепропетровск

### ИССЛЕДОВАНИЕ РАВНОВЕСИЯ СЕРЫ В ГОРНЕ ДОМЕННОЙ ПЕЧИ

Приведены методические особенности исследования равновесия серы в горне доменной печи. Для сглаживания неравномерности распределения температуры шлака в объеме горна и характеристики температурного уровня процесса десульфурации чугуна шлаком в печи предложено понятие теоретической температуры шлака в горне.

Качество металлопродукции предприятий черной металлургии определяется содержанием в стали вредных примесей и особенно серы. В современных условиях концентрация серы в качественной стали не должна превышать 0,001-0,005 %. Для обеспечения указанного содержания серы в стали, производимой, в основном кислородно-конвертерным сталеплавильным процессом, необходимо использовать металлошихту с ультранизким содержанием серы. Это обусловлено возникновением существенных физико-химических затруднений развитию десульфурации металлической фазы в кислородно-конвертерном процессе. Металлошихта этого сталеплавильного процесса состоит на 80% из жидкого доменного чугуна. Поэтому для выплавки качественной стали необходимо обеспечить снабжение сталеплавильного передела жидким доменным чугуном с ультранизким содержанием серы. В настоящее время основным средством получения жидкого чугуна с низким и ультранизким содержанием серы стала внедоменная десульфурация. Однако существенный уровень затрат на внедоменную десульфурацию чугуна, обусловленный высокой стоимостью десульфуратора, возбуждает практический интерес к изысканию и использованию скрытых резервов доменной плавки для производства чугуна с минимально возможной концентрацией серы. Чем ниже содержание серы в выплавленном доменном чугуне, тем ниже расход десульфуратора, ниже затраты на внедоменную десульфурацию чугуна, выше качество кислородно-конвертерной стали и конечной металлопродукции.

Выявление скрытых резервов доменной плавки по обеспечению качества металлопродукции нуждается в совершенствовании теории поведения серы в горне доменной печи, где формируется состав продуктов плавки. Состав чугуна в горне определяется развитием физико-химических процессов в этой части доменной печи. В свою очередь управление составом выплавляемого чугуна требует наличия количественных взаимосвязей между параметрами протекающих в горне физико-химических процессов. Поэтому основной задачей совершенствования теории поведения серы в горне доменной печи является создание математической модели, определяющей взаимосвязь между концентрацией серы в чугуне и основными параметрами физико-химической системы «чугун - шлак».

В горне доменной печи можно выделить целый ряд стационарных процессов, для которых параметры не зависят от времени. Например, струя дутья, выходящая из воздушной фурмы, создает очаг горения, в котором устанавливаются пространственно распределенные concentra-