

**Д.Н.Тогобицкая, А.И.Белькова, А.Ф.Хамхотько, Д.А.Степаненко,  
П.И.Оторвин, С.В.Нынъ**

## **ОПЫТ СОЗДАНИЯ И ВНЕДРЕНИЯ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ ШЛАКОВЫМ РЕЖИМОМ ДОМЕННОЙ ПЛАВКИ В ШИХТОВЫХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ ЗАВОДОВ УКРАИНЫ**

*Институт черной металлургии НАН Украины,  
ОАО «АрселорМиттал Кривой Рог»*

С целью решения практических задач управления шлаковым режимом доменной плавки в Институте черной металлургии НАНУ созданы физико-химические основы прогнозирования состава и свойств продуктов доменной плавки, разработана автоматизированная система «Шлак» для контроля и управления шлаковым режимом доменной плавки. Внедрение системы позволило стабилизировать шлаковый режим в пределах, обеспечивающих выплавку чугуна требуемого качества. Показано, что развитие системы «Шлак» связано с установлением научно обоснованных зависимостей взаимного влияния компонентов чугуна и шлака в горне доменной печи, разработкой критериев и соотношений, описывающие условия согласования их составов.

**доменная плавка, шлаковый режим, критерии, автоматизированная система, контроль и управление**

**Постановка задачи.** В современных нестабильных сырьевых и технологических условиях производство высококачественного металла в значительной степени усложнено существенной колеблемостью составов и свойств шихтовых материалов, а также дефицитом энергоресурсов. Наряду с разработкой новых и совершенствованием существующих технологических способов ведения плавки получения качественного чугуна актуальными и перспективными остаются вопросы создания и развития автоматизированных систем контроля и управления, реализованных по принципу открытых экспертных систем с привлечением последних достижений фундаментальной науки и информационных технологий.

Основные технико-экономические показатели доменной плавки – расход кокса и производительность, а также качество чугуна в существенной степени зависят от шлакового режима. При этом состав и свойства шлаков оказывают значительное влияние на ровность схода шихты, газопроницаемость зоны шлакообразования, тепловое состояние и восстановительные процессы в печи. Существующие способы управления шлаковым режимом доменной плавки основаны на использовании основности шлака как основного критерия обеспечения необходимой серопоглотительной способности доменных шлаков, что в ряде случаев приводит к неоправданному завышению основности шлака, поскольку не учитывается влияние остальных компонентов. Известные способы выбора оптимальной основности шлака при различном содержании в нем оксида алю-

миния или магния [1] не учитывают их соотношение во взаимосвязи с соотношением оксида кальция и оксида кремния, что не позволяет повысить стабильность свойств шлаков и их обессеривающую способность, улучшить качество продукции и достичь повышения технико-экономических показателей доменной плавки.

**Цель работы.** С целью решения практических задач управления шлаковым режимом в Институте черной металлургии НАНУ разработана автоматизированная система «Шлак», которая предназначена для инженерно-технического персонала специалистов НПО и доменного цеха.

**Изложение основных материалов исследования.**

В системе контроля и управления шлаковым режимом доменной плавки реализован нетрадиционный подход к решению задач оптимизации качества чугуна, основанный на прогнозировании состава и свойств продуктов плавки и стабилизации свойств конечного шлака в пределах, обеспечивающих получение чугуна требуемого состава.

Реализованные в системе алгоритмы и прогнозные модели для расчета комплекса физико-химических технологических свойств первичного и конечного шлака, а также коэффициентов межфазного распределения элементов в системе «металл-шлак» базируются на фундаментальных разработках ИЧМ НАНУ [2] в области физико-химического моделирования структуры и свойств металлургических расплавов и процессов их взаимодействия/

Основными функциями системы «Шлак» являются:

выбор базового шлакового режима, обеспечивающего выплавку чугуна заданного качества при повышении технико-экономических показателей доменной плавки;

контроль качества чугуна и шлакового режима доменной плавки по комплексу физико-химических и технологических свойств шлака в ретроспективе и для указанного выпуска (подсистема «Контроль»);

контроль теплового состояния горна;

выбор рационального состава шихты на этапе формирования загрузки на основе прогнозирования состава и свойств чугуна и шлака по показателям шихты и дутьевого режима, оценка технологической ситуации и выдача управляющих рекомендаций (подсистемы «Прогноз» и «Диагностика»);

корректировка базовых и текущих показателей загрузки шихты и технологии для получения кондиционного по сере и кремнию чугуна на основе оптимизации шлакового режима по физико-химическим и технологическим комплексным показателям, характеризующим свойства шлака (подсистема «Управление»).

Для выбора базового шлакового режима, обеспечивающего получение качественного чугуна (снижение содержания серы и кремния в чугуне, уменьшение расхода кокса и повышение производительности), в системе реализован способ ведения доменной плавки [3], в соответствии с

которым основность конечного шлака  $\text{CaO}/\text{SiO}_2$  устанавливается в зависимости от соотношения  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{MgO}$  (рис.1).

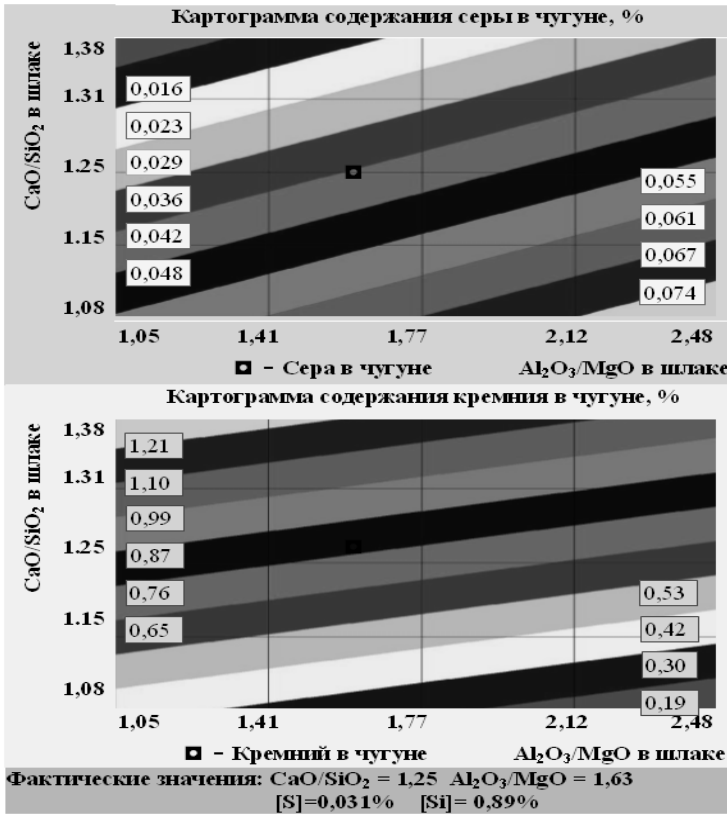


Рис.1. Видеокادر системы «Шлак» для выбора оптимальной основности шлака в зависимости от отношения  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{MgO}$  для условий ДП№2 ОАО «Запорожсталь»

В установившихся технологических условиях работы конкретной доменной печи на основе экспериментальных данных с использованием метода многокритериальной оптимизации строятся полиномиальные зависимости и картограммы изменения серы и кремния в указанных координатах  $\text{CaO}/\text{SiO}_2$  и  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{MgO}$ , которые в сырьевых условиях заводов Украины наиболее полно отражают стехиометрию доменных шлаков и их свойства [4]. При изменении состава или соотношения компонентов доменной шихты производится предварительный расчет ожидаемого состава конечного шлака, после чего по отношению оксида алюминия к оксиду магния в шлаке по изолинии требуемого содержания серы в чугуне уста-

навливается необходимая для получения конкретного содержания серы основность.

Предложенный способ выбора рационального базового шлакового режима реализован в условиях доменных печей ОАО «АрселорМиттал Кривой Рог» и «Запорожсталь». Хотя картограммы для разных печей отличаются, в целом сохраняется общая закономерность: с уменьшением  $Al_2O_3/MgO$  для обеспечения постоянства серы или кремния в чугуне необходимо уменьшать основность шлака в соответствии с линиями равного содержания серы в чугуне и наоборот (рис.2).

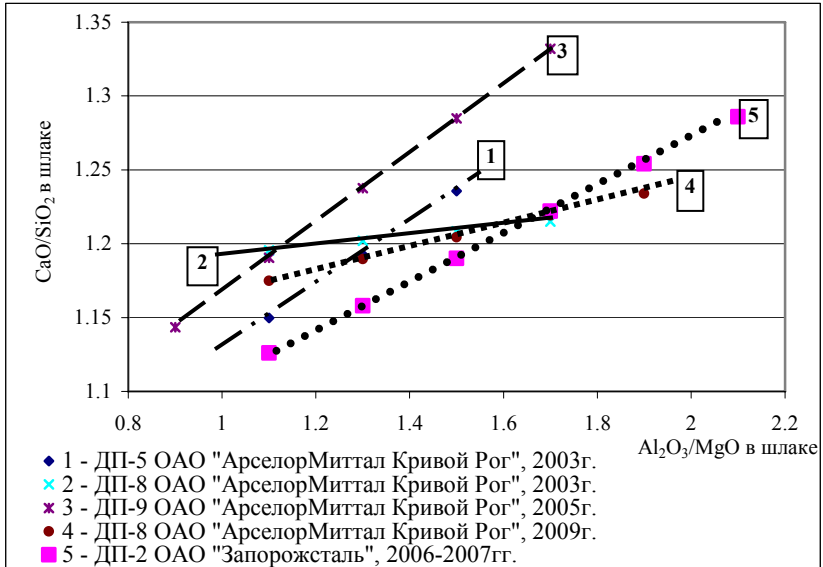


Рис. 2. Связь основности  $CaO/SiO_2$  и отношения  $Al_2O_3/MgO$  в конечном шлаке для условий ОАО «АрселорМиттал Кривой Рог» и «Запорожсталь»

Оперативный контроль шлакового режима доменной плавки в системе «Шлак» осуществляется по комплексу физико-химических и технологических свойств шлака в ретроспективе и для указанного выпуска. Свойства шлака рассчитываются с использованием физико-химических параметров, характеризующих химическое и структурное состояние расплава, основными из которых являются показатель стехиометрии  $\rho$  (аналог основности) и показатель химической активности  $\Delta e$  (химический эквивалент). В результате обобщения экспериментальных данных о свойствах шлака разработаны модели для расчета комплекса свойств первичных и конечных шлаков, определяющих дренажную и десульфурисуемую способность, подвижность и текучесть шлака на выпусках: вязкости ( $\eta$ , Па·с) и поверхностного натяжения ( $\sigma$ , мН/м) при заданной температуре, тепло-

содержания (энтальпии) при температуре хорошей текучести, соответствующей вязкости 0,3 Па·с ( $\Delta H$ , кДж/кг), серопоглотительной способности, температур начала кристаллизации (ликвидус,  $T_l$ , °C) и конца кристаллизации (солидус,  $T_s$ , °C) [5]. Степень завершенности процесса десульфурации чугуна определяется по отклонению системы «металл–шлак» от равновесия – фактического и равновесного коэффициента распределения серы.

Зависимость основных свойств доменных шлаков от параметров  $\Delta e$  и  $\rho$  для выплавки чугуна в сырьевых и технологических условиях заводов Украины представлена на рис.3.

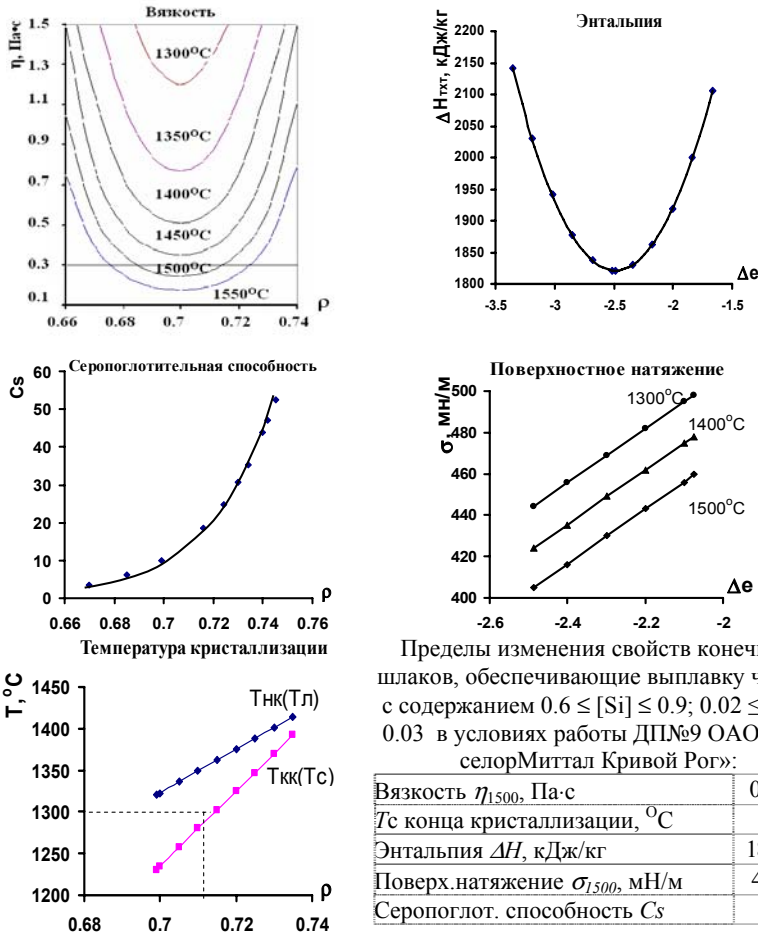


Рис.3. Зависимость основных свойств доменных шлаков от физико–химических параметров их структуры  $\Delta e$  и  $\rho$

Оптимальный состав шлака определяется такими интегральными показателями  $\Delta e$  и  $\rho$ , которые обеспечивают высокую серопоглотительную способность, хорошую текучесть, достаточную диффузионную подвижность и имеют тепловой резерв для реализации хорошей десульфурации чугуна. Таким требованиям удовлетворяют шлаки с вязкостью при температуре на выпуске  $1500^{\circ}\text{C}$  в пределах  $0,3 \text{ Па}\cdot\text{с}$ , с температурой кристаллизации не более  $1300^{\circ}\text{C}$ , а также оптимальным поверхностным натяжением и минимальной энтальпией, обеспечивающей при достаточном теплосодержании шлака экономию кокса [6]. При увеличении вязкости более  $0,3 \text{ Па}\cdot\text{с}$  уменьшается диффузионная подвижность шлакового расплава и ухудшаются кинетические условия обессеривания чугуна шлаком. При уменьшении вязкости менее  $0,2 \text{ Па}\cdot\text{с}$  при температуре  $1500^{\circ}\text{C}$  шлак становится агрессивным по отношению к огнеупорам футеровки доменной печи. Температура кристаллизации свыше  $1300^{\circ}\text{C}$  приводит к образованию гарнисажа, сокращению рабочего пространства горна, вызывает трудности вскрытия шлаковых леток и удаления продуктов плавки и требует повышенного расхода кокса для перегрева шлака [6].

На основе описанного подхода к стабилизации шлакового режима, обеспечивающего выплавку качественного чугуна путем контроля параметров шлакового расплава и поддержание оптимальных свойств шлаков, разработан способ ведения доменной плавки [7], который подтвержден патентом и подтвердил свою эффективность в условиях работы доменных печей ОАО «АрселорМиттал Кривой Рог».

Установленный экстремальный характер зависимостей вязкости ( $\eta = f(\rho, 1/T)$ ) и энтальпии шлака ( $\Delta H_{1500} = f(\Delta e)$ ) от параметров  $\rho$  и  $\Delta e$  для сырьевых условий Украины позволяет организовать управление тепловым состоянием доменной печи и использовать указанные параметры в качестве критериев стабилизации шлакового режима. Базовые интервалы изменения параметров шлака («интервалы качества»), обеспечивающие выплавку чугуна заданного состава при минимальном расходе кокса и повышенной производительности, уточняются в сырьевых и технологических условиях работы конкретной печи.

Инструментальные средства для прогнозирования состава и свойств продуктов доменной плавки реализованы в системе «Шлак» с целью выбора рационального состава шихты, обеспечивающего выплавку чугуна заданного качества за счет поддержания оптимальных значений свойств шлака. Расчет состава чугуна и шлака осуществляется на основе развиваемой в ИЧМ методики прогнозирования коэффициентов межфазного распределения элементов (кремния, серы, марганца, железа) между продуктами плавки путем «свертки» физико–химической информации о составе шихтовых материалов и продуктов плавки с использованием технологической информации в виде комплексных показателей, характеризующих тепловое состояние горна [8].

Прогнозные модели коэффициентов распределения основных элементов ( $L_\Sigma$ ) зависят от показателей состава шихты ( $\rho$  и  $\Delta e$ , содержание  $Fe_2O_3$  или  $Fe_{общ}$ ) и показателей технологии, включающих традиционные теоретическую температуру горения  $T_T$ , рудную нагрузку, степень использования  $CO$ , а также новый обобщенный показатель дутьевого режима – длину фурменной зоны  $L_{фз}$ . Прогнозирование состава чугуна и шлака в зависимости от изменяющихся шихтовых и технологических условий по сравнению с традиционным подходом при постоянных коэффициентах распределения повышает точность прогноза состава продуктов плавки и позволяет на этапе формирования подачи выполнить априорную оценку технологической ситуации и ее корректировку.

По загружаемой подаче с учетом показателей дутьевого режима рассчитываются состав чугуна и свойства шлака (рис.4), на основе чего формируется видеокادر (рис.5), отображающий основные технологические свойства конечного шлака и контролируемые параметры стабилизации шлакового режима. В случае выхода рассчитанных показателей  $\Delta e$  и  $\rho$  за пределы «интервалов качества» на графиках  $C_S$ , вязкости и энтальпии система позволяет выполнить корректировку состава шихты и параметров дутьевого режима для получения оптимальных свойств шлака, обеспечивающих его высокую серопоглотительную способность и требуемое качество чугуна.

Хим. состав шихты, доли перехода								Хим. состав чугуна, шлака и свойства шлака								Графики свойств шлака	
Химический состав чугуна, [%]																	
расчетный	Вес [тонн]	Si	Mn	S	P	C	Fe										
	66.945	0.867	0.291	0.037	0.069	4.407	94.329										
Химический состав шлака, [%]																	
Шлак	Вес [тонн]	SiO2	Al2O3	CaO	MgO	MnO	FeO	S									
первичный	34.74	31.125	4.001	34.641	4.329	0.964	23.752	1.189									
конечный	27.375	40.006	7.771	44.400	5.698	0.384	0.323	1.417									
Выход шлака	408.913																
Свойства шлака																	
Наименование	Размерности	Первичный	Конечный														
CaO/SiO2		1.113	1.110														
(CaO+MgO)/SiO2		1.252	1.252														
Al2O3/MgO		0.924	1.364														
Кэфф. распр. сера Lсфакт.			38.297														
Кэфф. распр. сера Lсравн.			50.365														
Степень достижения равновесия	%		76.040														
Серопоглотительная способность шлака			12.986														
Физико-химический эквивалент шлака		-3.169	-2.357														
Стехиометрия шлака		0.751	0.706														
Температура начала фильтрации	°C	1345.880															
Температура максимальной фильтрации	°C	1495.174															
Вязкость шлака при 1300°C	па.сек	0.484															
Вязкость шлака при 1450°C	па.сек		0.363														
Вязкость шлака при 1500°C	па.сек		0.254														
Вязкость шлака при 1550°C	па.сек		0.182														
Поверхностное натяжение при 1300°C	мН/м	350.010															
Поверхностное натяжение при 1500°C	мН/м		421.666														
Энтальпия	кДж/кг		1828.250														
Температура начала плавления	град°C	1225.465															
Температура начала кристаллизации	град°C		1338.376														

Рис.4. Расчет состава чугуна и свойств шлака по составу подачи и показателям дутьевого режима

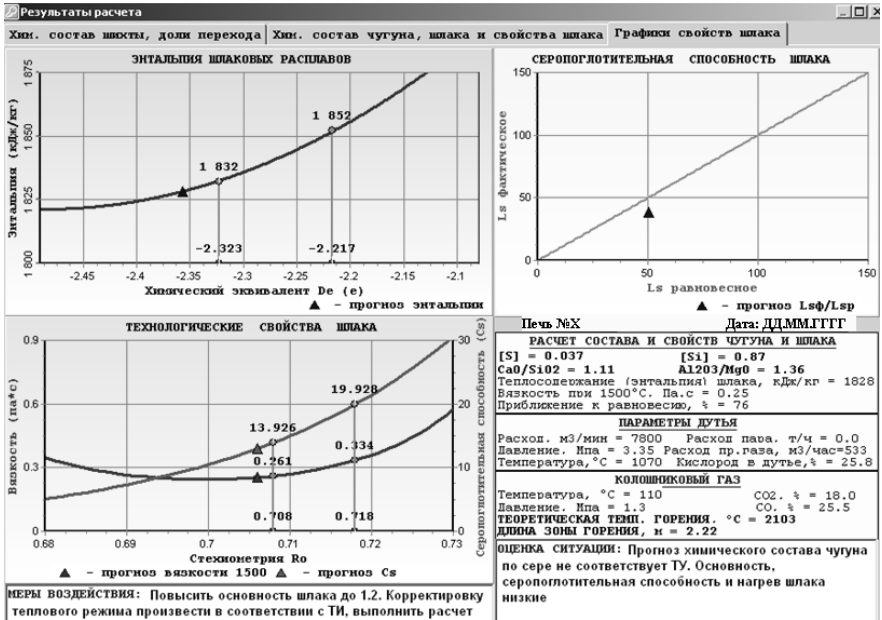


Рис. 5. Оценка технологической ситуации на основе контроля комплекса свойств конечного шлага в системе «Шлаг»

Корректировка загружаемой шихты осуществляется путем задания ограничений на ресурсы управления и показатели плавки на основе оптимизационных расчетов с выдачей конкретных рекомендаций по изменению параметров загружаемой шихты или дутьевого режима (рис. 6, 7).

Оптимизация по шихте		Оптимизация по технологии		Рекомендуемое значение	ОГРАНИЧЕНИЯ НА ПАРАМЕТРЫ			Значен. после оптимиз.		
МАТЕРИАЛЫ		Нижний предел	Верхний предел		Наименование параметра	Нижний предел	Верхний предел		Текущее значение	
<input type="checkbox"/>	КОКС	27	27	27.29	<input type="checkbox"/>	CaO/SiO2	1.1	1.3	1.110	1.18
<input type="checkbox"/>	Z КОКС, %	3.07	3.07	3.11	<input type="checkbox"/>	(CaO+MgO)/SiO2	1.2	1.3	1.253	1.33
<input type="checkbox"/>	АГЛОМЕРАТ ГОК I	93	93	93	<input type="checkbox"/>	Si чугуна	0.7	1.1	0.870	0.91
<input type="checkbox"/>	ОКАТЫШИ СЕВГОК ФОК 1.2	17	17	17	<input type="checkbox"/>	S чугуна	0.02	0.04	0.036	0.028
<input type="checkbox"/>	АНТРАЦИТ	4.3	4.3	4.3	<input checked="" type="checkbox"/>	Физ.-хим. эквивалент шлага	-2.323	-2.217	-2.356	-2,292
<input checked="" type="checkbox"/>	ИЗВЕСТНЯК	0	5	0.45	<input type="checkbox"/>	Вес чугуна	67	68	67.050	67,12
<input type="checkbox"/>	СКРАП ЧУГУННЫЙ	2	2	2	<input checked="" type="checkbox"/>	Стехиометрия шлага	0.712	0.716	0.706	0,712
<input type="checkbox"/>	ШЛАК ОБ. ПЛАТА	5	5	5						

Рис.6. Задание ограничений на параметры управления и результаты оптимизации шлакового режима



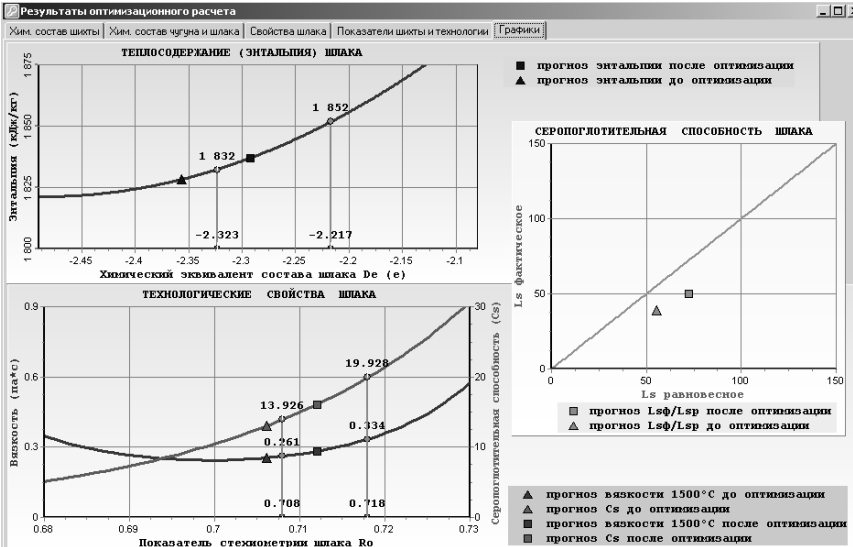


Рис. 7. Прогноз состава чугуна и свойств шлака по скорректированной подаче, установленной в результате оптимизации шлакового режима

Контроль теплового состояния горна осуществляется по комплексу расчетных показателей продуктов плавки и дутьевого режима, таких как, теоретическая температура горения, энтальпия доменного шлака, характеризующая количество тепла, необходимое для нагрева единицы шлака в заданном интервале температур, а также содержание кремния и углерода в чугуне, зависящее от уровня его физического нагрева (рис.8). В качестве критерия оценки степени насыщенности чугуна углеродом используется отношение  $[C]/[C]_{нас}$ , позволяющее контролировать процесс возможного разрушения футеровки за счет «вымывания» из нее углерода.

К настоящему времени автоматизированная система контроля и управления шлаковым режимом доменной плавки внедрена на доменных печах №5, 6, 9 ОАО «АрселорМиттал Кривой Рог», а также в условиях работы ДП №2 ОАО «Запорожсталь» [9–11]. В текущем году система «Шлак» в режиме контроля сдана в промышленную эксплуатацию в составе АСУТП ДП №8 ОАО «АрселорМиттал Кривой Рог».

Внедрение и корректное функционирование системы в режиме оперативного прогноза и управления в конкретных шихтовых и технологических условиях доменной плавки предусматривает этапы адаптации и опытно-промышленной отработки алгоритмических и программных средств с учетом опыта ее предшествующей эксплуатации и информационного обеспечения комбината.

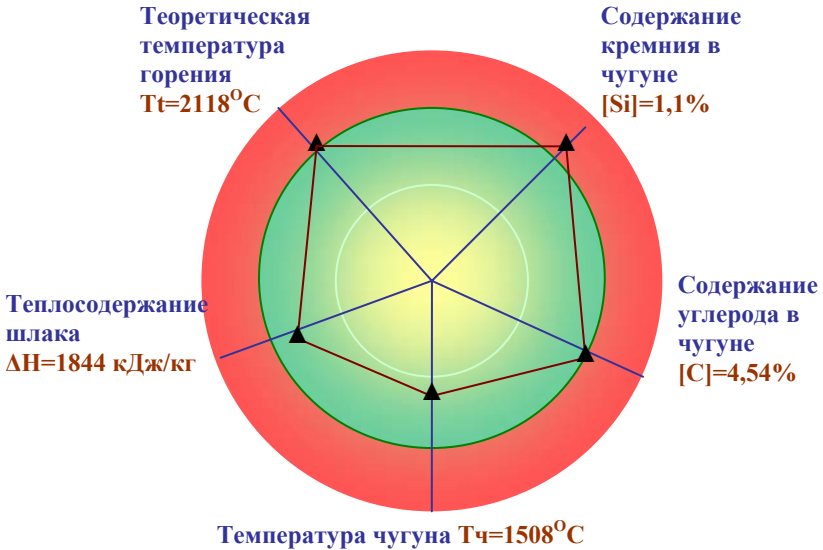


Рис.8. Основные факторы, определяющие тепловое состояние горна доменной печи

На основе эксплуатационных данных работы печи выполняется анализ влияния технологических свойств шлака на содержание серы и кремния в чугуна. В результате проверяется адекватность и уточняются прогнозные модели, диапазоны изменения критериев стабилизации шлакового режима («интервалов качества»), обеспечивающих выплавку чугуна заданного состава, обрабатываются выходные документы и видеокдры, позволяющие осуществлять в системе прогнозные расчеты, оценку технологической ситуации и принимать управляющие решения.

Особое внимание уделяется разработке программных средств в части информационной «привязки» подсистем к источникам получения входных данных, поскольку гарантией точности расчетов в системе является достоверность определения входных контролируемых параметров как шихтовых, так и технологических. Полнота учета и достоверность входной информации наряду с быстродействующими программными средствами доступа к необходимой информации обеспечивает ее своевременную аналитическую обработку и принятие более эффективных решений, направленных на повышение качества выпускаемой продукции.

#### **Перспективы развития системы.**

Опыт использования предложенного подхода к стабилизации шлакового режима в системах АСУТП показал необходимость уточнения прогнозных расчетов определения составов чугуна и шлака, которые в конечном итоге устанавливаются в результате взаимодействия и взаимовлияния

компонентов единой системы «металл–шлак» в горне доменной печи. Существующие на сегодняшний день разработки в большинстве случаев сводятся к описанию процессов взаимодействия расплавов в состоянии равновесия, которое в реальных условиях доменной плавки не достигается. Представленные в ряде работ уравнения для определения содержания серы и кремния в чугуна (и их коэффициентов распределения) для реальных процессов разработаны для узкой области составов без учета характеристик процессов межатомного взаимодействия в расплавах, что ограничивает их применение в современных изменяющихся условиях доменной плавки.

Кроме того, требует своего развития подсистема диагностики, назначением которой является оценка сложившейся ситуации и выработка соответствующих адекватных мер воздействия на основе учета и анализа взаимовлияния различных показателей продуктов плавки и теплового состояния горна в комплексе. Так, например, на рис.9 представлен видеокادر одной из часто повторяющихся ситуаций при выплавке чугуна. Анализируемый выпуск чугуна характеризуется содержанием серы 0,031% и кремния 1,18% с низкими основностью (1,11) и серопоглощительной способностью шлака. При этом параметры шлакового режима  $\rho$  и  $\Delta e$  находятся за пределами «интервалов качества» по вязкости и энтальпии, степень достижения равновесия реализована всего на 35%. В сложившейся ситуации не реализован серопоглощительный потенциал шлака по причине низкой основности загруженной шихты (и соответственно шлака), а также вследствие недостаточного количества тепла, которое принес горн шлак, хотя уровень физического нагрева в горне (содержание кремния 1,18%) в момент выпуска был довольно высок. Анализ нескольких близких к приведенному выпусков показал, что регулирование дутьевого режима с целью изменения теплового состояния в горне для корректировки последствий загрузки шихты с низкой основностью в итоге может изменить физический нагрев чугуна, но не обеспечит эффективные процессы десульфурации вследствие низкой серопоглощительной способности и энтальпии шлака.

### **Заключение.**

Таким образом, развитие системы «Шлак» связано с установлением научно обоснованных зависимостей взаимного влияния компонентов чугуна и шлака в горне доменной печи, разработкой критериев и соотношений, описывающие условия согласования их составов, что позволит точнее прогнозировать и оптимизировать процессы распределения элементов в системе «металл–шлак» в современных условиях выплавки чугуна.

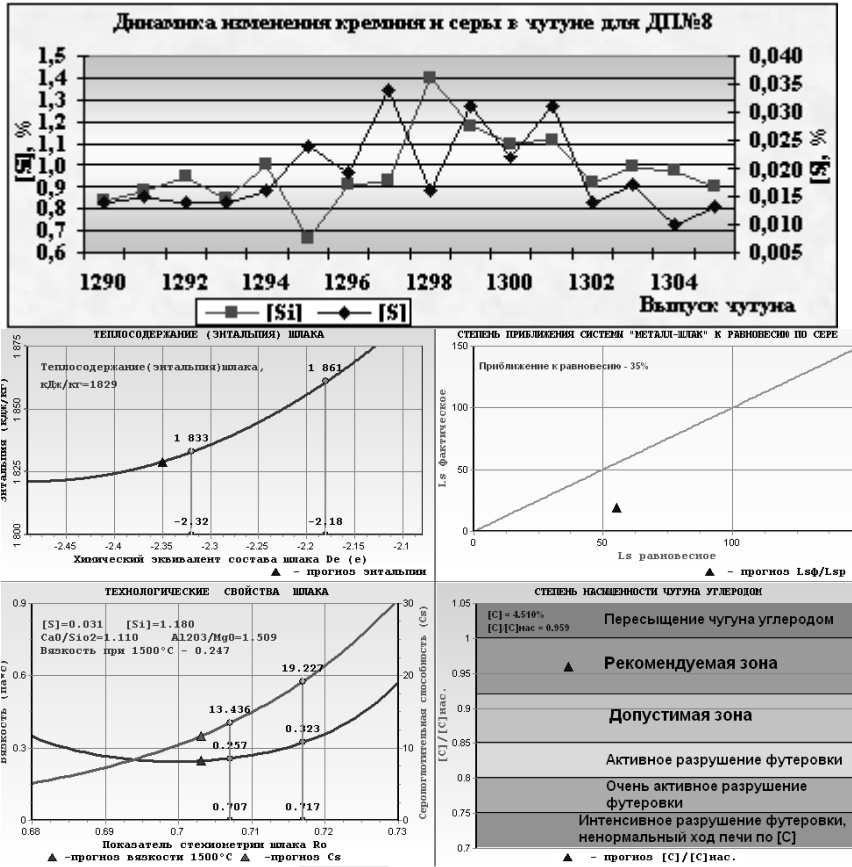


Рис.9. Оценка технологической ситуации в системе контроля шлаковым режимом в условиях работы ДП№8 ОАО «АрселорМиттал Кривой Рог»

1. *Воловик Г.А., Емельянов В.А., Кацман В.Х. и др.* Выбор оптимальной основности доменных шлаков в условиях заводов Украины // *Металлургическая и горнорудная промышленность.* – 1980. – №4. –С.52–53.
2. *Приходько Э.В.* *Металлохимия многокомпонентных систем.* – М.: *Металлургия,* 1995. – 320с.
3. *Пат. 62589* Україна, МКІ С 21 В 5/00. Спосіб ведення доменної плавки: Пат. 62589 Україна, МКІ С 21 В 5/00 А.В.Сокурєнко, В.О.Шерєтєт, А.В.Кєкух, Г.І.Орєл, Г.П.Костєнко, П.І.Отєрвїн, Є.В.Пєрихєдько, Д.М.Тєгобєицька, А.Ф.Хамхєтько, М.М.Мєжарєнко, А.І.Бєльковє (Україна) – № 2003043309; Заявл. 14.04.2003; Опубл. 15.12.2003, Бюл. № 12. – 6с.
4. *Выбор рационального шлакового режима доменных печей на основе метода многокритериальной оптимизации / Д.Н.Тогобицкая, А.Ф.Хамхотько,*

- А.И.Белькова и др. // «Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии». Сб.научн.тр. ИЧМ – Днепропетровск. – 2003. – Вып.6. – С.55–60.
5. *Оценка достоверности и прогнозирование свойств доменных шлаков заводов Украины.* / Д.Н.Тогобицкая, А.Ф.Хамхотько, А.И.Белькова и др. // Теория и практика металлургии. –2004г. – №3–4. – С.9–15.
  6. *Металлургия* чугуна. / Е.Ф.Вегман, Б.Н.Жеребин, А.Н.Похвиснев, Ю.С.Юсфин –М.: Металлургия, 1978. –480 с.
  7. *Пат.* 11142 Україна, МКІ С21В5/00. Спосіб ведення доменної плавки: Пат. 11142 Україна, МКІ С21В5/00. А.В.Сокурєнко, В.О.Шерємет, А.В.Кєкух, Г.І. Орєл, Г.П. Костєнко, В.С. Лєстопадов, П.І. Огорвїн, С.В. Нинь, Д.М. Тогобєцька, Е.В. Приходько, А.Ф. Хамхотько, А.І. Бєлькова, М.М. Можарєнко (Україна) – № u200504989; Заявл. 26.05.2005; Опубл. 15.12.2005, Бюл. № 12.– 10 с.
  8. *Влияние шихтовых и технологических условий на межфазное распределение элементов при выплавке чугуна в условиях КГГМК «Криворожсталь»* / Д.Н.Тогобицкая, А.И.Белькова, А.Ю.Гринько и др. // «Теория и практика производства чугуна», посвященной 70-летию КГГМК «Криворожсталь». Тр. МНТК. – Кривой Рог. – 24–27 мая 2004г. – С.320–324.
  9. *Оптимизация* шлакового режима доменной плавки в условиях комбината «Криворожсталь» / Д.Н.Тогобицкая, А.Ф.Хамхотько, А.И.Белькова и др. // «Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии». Сб. научн. тр. ИЧМ. 2005. – Вып.10. – С.88–95.
  10. *Стабилизация* шлакового режима доменной плавки в условиях работы ДП №9 ОАО «АрселорМиттал Кривой Рог» на многокомпонентной шихте / В.С.Листопадов, Д.Н.Тогобицкая, И.Г.Муравьева и др. //ОАО «Черметинформация». Бюллетень «Черная металлургия». – 2008. –№8. – С.14–19.
  11. *Стабилизация* шлакового режима доменной плавки в условиях ОАО «Запорожсталь» / Н.В.Крутас, А.В.Казьмин, М.Е.Шарапов и др. // Сталь. –№10. – 2008г. – С.14–19.

*Статья рекомендована к печати:*

*заместитель ответственного редактора раздела «Доменное производство»:  
докт.техн.наук, проф. И.Г.Товаровский*

***Д.М.Тогобицкая, А.І.Бєлькова, А.Ф.Хамхотько, Д.О.Степанєнко,  
П.І.Огорвїн, С.В.Нинь***

**Досвід створення і впровадження системи контролю і управління шлаковим режимом доменної плавки в шихтових і технологічних умовах заводів України**

З метою вирішення практичних задач управління шлаковим режимом доменної плавки в Інституті чорної металургії НАНУ створено фізико-хімічні основи прогнозування складу і властивостей продуктів доменної плавки, розроблено автоматизовану систему «Шлак» для контролю і управління шлаковим режимом доменної плавки. Впровадження системи дозволило стабілізувати шлаковий режим у межах, що забезпечують виплавку чавуну необхідної якості. Показано, що розвиток системи «Шлак» є пов'язаним із встановленням науково обґрунтованих залежностей взаємного впливу компонентів чавуну і шлаку в шахті доменної печі, розробкою критеріїв і співвідношень, що описують умови узгодження їх складів.