

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И АВТОМАТИЗАЦИЯ В ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

УДК 669.162.263

ЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАСПОЗНАВАНИЯ ВИДА ОТКЛОНЕНИЯ ДОМЕННОЙ ПЛАВКИ ОТ НОРМАЛЬНОГО РЕЖИМА*

Онорин О.П.¹, к.т.н., доцент

Спирин Н.А.², д.т.н., профессор (n.a.spirin@ustu.ru)

Павлов А.В.³, зам. главного металлурга

Лавров В.В.², к.т.н., доцент

Истомин А.С.², аспирант

Бурыкин А.А.², к.т.н., доцент

Щипанов К.А.², к.т.н., доцент

¹ ОАО «Уральский институт металлов»
(620062, Россия, г. Екатеринбург, ул. Гагарина, 14, офис 326)

² Уральский федеральный университет
(620002, Россия, г. Екатеринбург ул. Мира, 19)

³ ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат»
(455002, Россия, Челябинская область, г. Магнитогорск, ул. Кирова, 93)

Аннотация. Разработаны логические основы оценки нормального хода доменной плавки и распознавания видов отклонений от нормального режима ее работы: периферийного, центрального (осевого) газового потока, горячего и холодного хода, тугого хода печи, верхнего и нижнего подвисяния шихты в доменной печи. Для оценки нормального хода доменной плавки и видов отклонений от нормального режима обобщен опыт работы специалистов доменного цеха ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» (ММК). Предложенную методику целесообразно использовать в компьютерных системах поддержки принятия решений при управлении доменной плавкой в режиме реального времени.

Ключевые слова: доменное производство, технология доменной плавки, нарушения работы доменной печи, устойчивость газового потока, тепловый режим доменной плавки, подвисяние доменной шихты.

Несмотря на многовековую историю процесс доменной плавки изучен еще не во всех деталях [1, 2]. Проблемой всех существующих математических моделей является их недостаточная точность значений входящих в них параметров. Вместе с тем ведущими специалистами-металлургами накоплен громадный запас знаний и опыт ведения процесса, диагностики агрегатов, что позволяет им вести технологический процесс при отсутствии объективной информации. Этот запас знаний реализуется в экспертных системах. Технологические основы экспертных систем доменной плавки представлены в работах [3 – 8]. Развитие таких систем возможно при использовании детерминированных знаний о процессе и обобщении практического опыта специалистов в предметной области. Для выявления вида отклонения процесса плавки от нормального режима обобщен опыт работы специалистов доменного цеха ОАО «ММК».

Признаки нормальной работы доменной печи

Признаками ровного хода плавки являются [9 – 11]:

1 – ровный с постоянной скоростью сход шихтовых материалов;

2 – постоянство расхода и давления дутья, подаваемого в печь;

3 – постоянство температуры подаваемого в печь горячего дутья;

4 – постоянство общего и частных перепадов давления газа по высоте шихты;

5 – постоянство интенсивности горения кокса в фурменных очагах;

6 – стабильность распределения газового потока в печи, что характеризуется кривой содержания диоксида углерода по сечению печи;

7 – равномерный нагрев по фурмам;

8 – постоянство выноса колошниковой пыли из печи;

9 – стабильный по абсолютному значению и умеренный диапазон колебаний температуры газа на периферии и на колошнике;

* Работа выполнена при финансовой поддержке УрФУ в рамках реализации Программы развития УрФУ для победителей конкурса «Молодые ученые УрФУ».

10 – устойчивое тепловое состояние печи, обеспечивающее получение чугуна и шлака заданного состава;

11 – однородный состав чугуна по леткам.

Для выявления вида отклонения плавки от нормального режима сравниваются между собой два периода – базовый, в котором осуществляется сбор информации о работе печи за 2 ч до текущего времени с последующим усреднением полученных данных, и прогнозный, в котором производится сбор информации за 2 ч после базового периода. Перечень параметров и условий, используемых для распознавания нормального режима работы доменной печи, представлен ниже:

Признак	Выражение для определения признака (ΔX_i)	$\Delta X_i^{\text{доп}}$	R_i
P ₁	$\Delta X_1 = V_{\text{д}}^{\text{н}} - V_{\text{д}}^{\text{б}} $	50	0,9
P ₂	$\Delta X_2 = P_{\text{д}}^{\text{н}} - P_{\text{д}}^{\text{б}} $	50	0,7
P ₃	$\Delta X_3 = t_{\text{д}}^{\text{н}} - t_{\text{д}}^{\text{б}} $	20	0,6
P ₄	$\Delta X_4 = \Delta P_{\text{общ}}^{\text{н}} - \Delta P_{\text{общ}}^{\text{б}} $	50	0,9
P ₅	$\Delta X_5 = \Delta P_{\text{н}}^{\text{н}} - \Delta P_{\text{н}}^{\text{б}} $	35	0,9
P ₆	$\Delta X_6 = \Delta P_{\text{в}}^{\text{н}} - \Delta P_{\text{в}}^{\text{б}} $	15	0,6
P ₇	$\Delta X_7 = (t_{\text{пер, max}}^{\text{н}} - t_{\text{пер, min}}^{\text{н}})^{\text{н}} - (t_{\text{пер, max}}^{\text{б}} - t_{\text{пер, min}}^{\text{б}})^{\text{б}} $	150	0,6
P ₈	$\Delta X_8 = t_{\text{к.г, max}}^{\text{н}} - t_{\text{к.г, min}}^{\text{б}} $	100	0,9
P ₉	$\Delta X_9 = t_{\text{к.г, ср}}^{\text{н}} - t_{\text{к.г, ср}}^{\text{б}} $	100	0,8
P ₁₀	$\Delta X_{10} = [\text{Si}]^{\text{н}} - [\text{Si}]^{\text{б}} $	0,05	1,0
P ₁₁	$\Delta X_{11} = \text{CO}_{2, \text{к.г}}^{\text{н}} - \text{CO}_{2, \text{к.г}}^{\text{б}} $	0,5	0,9
P ₁₂	$\Delta X_{12} = t_{\text{чуг}}^{\text{н}} - t_{\text{чуг}}^{\text{б}} $	50	0,7
P ₁₃	$\Delta X_{12} = B^{\text{н}} - B^{\text{б}} $	0,05	0,8

Примечание.

- P₁ – отклонение расхода дутья, м³/мин;
P₂ – отклонение давления дутья, кПа;
P₃ – отклонение температуры дутья, °С;
P₄ – отклонение общего перепада давления, кПа;
P₅ – отклонение нижнего перепада давления, кПа;
P₆ – отклонение верхнего перепада давления, кПа;
P₇ – окружная неравномерность температуры газа, °С;
P₈ – распределение температуры колошниково-го газа, °С;
P₉ – отклонение усредненной температуры колошниково-го газа, °С;
P₁₀ – отклонение содержания Si в чугуне, %;
P₁₁ – отклонение содержания CO₂ колошниково-го газа, %;
P₁₂ – отклонение температуры чугуна, °С;
P₁₃ – отклонение основности шлака (CaO + MgO)/SiO₂, доли.

При нормальном режиме работы отклонение по модулю i признака ΔX_i , характеризующего работу печи в базовом $X_i^{\text{б}}$ и проектном $X_i^{\text{п}}$ периодах, не должно превышать допустимого значения $\Delta X_i^{\text{доп}}$, которое является настройкой модели, т.е.

$$\Delta X_i = |X_i^{\text{б}} - X_i^{\text{п}}| \leq \Delta X_i^{\text{доп}}. \quad (1)$$

Если условие (1) выполняется («Истина»), то значению i -го идентификатора признака P_i присваивается значение «1», в противном случае («Ложь») – значение «0». При этом все признаки ранжируются. Каждому из них присваивается значение его ранга R_i , изменяющегося в диапазоне от нуля до единицы, определяемого методом экспертного оценивания.

Вероятность нормальной работы доменной печи $B_{\text{н}}$ рассчитывается по следующему соотношению:

$$B_{\text{н}} = \left(\sum_{i=1}^n P_i \frac{R_i}{\sum_{i=1}^{n=13} R_i} \right) 100 = \left(\sum_{i=1}^{n=13} (P_i \alpha_i) \right) 100, \quad (2)$$

где α_i – весовой коэффициент i -го идентификатора признака, изменяющийся в диапазоне $0 \div 1$; n – число признаков.

Если вероятность $B_{\text{н}}$ более 90 %, то доменная плавка имеет ровный ход без существенных отклонений от заданного режима. В ином случае присутствует неровный ход печи и необходимо его корректировать для ликвидации отклонений процесса плавки от нормального режима.

Аналогичным образом оцениваются вероятности и других режимов работы доменных печей. В последующем прогнозный период принимается за базовый для непрерывного отслеживания работы печи.

Следует отметить, что на доменных печах скорость движения материалов в печи непосредственно не фиксируется. Поэтому для характеристики допустимого отклонения в скорости движения шихты от нормальных значений используется расход дутья, определяющий эту скорость в базовом и прогнозном периодах.

Имеющимися техническими средствами, как правило, невозможно распознавать отклонение от нормального режима по излому пробы чугуна, по искрению его на выпусках, цвету и виду шлака, по виду шомпольных диаграмм и ряду других признаков. Однако перечисленные параметры опосредованно учитывают и эти визуальные признаки.

Отклонения от нормального режима доменной плавки

Все отклонения от такого режима можно объединить в три группы.

- нарушение устойчивости газового потока (периферийный, центральный и канальный газовые потоки);
- нарушение теплового режима плавки (горячий и холодный ход плавки);
- нарушение ровного схода шихты в печи (подвисание шихты и тугой ход).

При наличии отклонения от нормального режима доменной плавки разность значений i признака ΔX_i , характеризующего работу печи в базовом $X_i^{\text{б}}$ и проектном $X_i^{\text{п}}$ периодах, превышает допустимое значения $\Delta X_i^{\text{доп}}$:

$$\Delta X_i = (X_i^6 - X_i^n) \geq \Delta X_i^{\text{доп}}. \quad (3)$$

Распознавание периферийного газового потока

Перечень признаков и условий, используемых для распознавания периферийного газового потока доменной плавки, приведен ниже:

Признак	Выражение для определения признака (ΔX_i)	$\Delta X_i^{\text{доп}}$	R_i
P ₁₄	$\Delta X_{14} = t_{\text{к.г. max}} - t_{\text{к.г. min}}$	150	0,9
P ₁₅	$\Delta X_{15} = t_{\text{к.г. ср}}^n - t_{\text{к.г. ср}}^6$	150	0,8
P ₁₆	$\Delta X_{16} = t_{\text{пер. ср}}^n - t_{\text{пер. ср}}^6$	200	0,9
P ₁₇	$\Delta X_{17} = P_{\text{д}}^6 - P_{\text{д}}^n$	150	0,9
P ₁₈	$\Delta X_{18} = V_{\text{д}}^n - V_{\text{д}}^6$	100	0,9
P ₁₉	$\Delta X_{19} = \text{CO}_{2, \text{к.г.}}^6 - \text{CO}_{2, \text{к.г.}}^n$	0,5	0,9
P ₂₀	$\Delta X_{20} = t_{\text{чуг}}^6 - t_{\text{чуг}}^n$	20	0,8
P ₂₁	$\Delta X_{21} = (t_{\text{т.б. 1}}^{\text{т.б. 1}})^n - (t_{\text{т.б. 1}}^{\text{т.б. 1}})^6$	100	1,0
P ₂₂	$\Delta X_{22} = (t_{\text{т.б. 6}}^{\text{т.б. 6}})^6 - (t_{\text{т.б. 6}}^{\text{т.б. 6}})^n$	100	0,9

Примечание.

P₁₄ – повышение неравномерности распределения температуры колошниковога газа в отдельных газоотводах, °С;

P₁₅ – увеличение отклонения усредненной температуры колошниковога газа, °С;

P₁₆ – повышение средней окружной неравномерности температуры газа на периферии, °С;

P₁₇ – снижение давления дутья, кПа;

P₁₈ – повышение расхода дутья, м³/мин;

P₁₉ – снижение содержания CO₂ колошниковога газа, %;

P₂₀ – снижение температуры чугуна, °С;

P₂₁ – повышение температуры газа по радиусу колошника (периферия), °С;

P₂₂ – снижение температуры газа по радиусу колошника (ось печи), °С.

Распознавание центрального (осевого) газового потока

Возникновение осевого газового потока (т.е. преимущественного движения газа в центральных участках столба шихты) характеризуется следующими признаками:

Признак	Выражение для определения признака (ΔX_i)	$\Delta X_i^{\text{доп}}$	R_i
P ₂₃	$\Delta X_{23} = (t_{\text{к.г. max}} - t_{\text{к.г. min}})^6 - (t_{\text{к.г. max}} - t_{\text{к.г. min}})^n$	50	0,8
P ₂₄	$\Delta X_{24} = t_{\text{пер. ср}}^6 - t_{\text{пер. ср}}^n$	50	0,9
P ₂₅	$\Delta X_{25} = (t_{\text{пер. max}} - t_{\text{пер. min}})^n - (t_{\text{пер. max}} - t_{\text{пер. min}})^6$	150	0,8
P ₂₆	$\Delta X_{26} = P_{\text{д}}^n - P_{\text{д}}^6$	100	0,9
P ₂₇	$\Delta X_{27} = \Delta P_{\text{общ}}^n - \Delta P_{\text{общ}}^6$	50	0,9
P ₂₈	$\Delta X_{28} = V_{\text{д}}^6 - V_{\text{д}}^n$	100	0,9

P ₂₉	$\Delta X_{29} = (t_{\text{т.б. 1}}^{\text{т.б. 1}})^6 - (t_{\text{т.б. 1}}^{\text{т.б. 1}})^n$	100	0,9
P ₃₀	$\Delta X_{30} = (t_{\text{т.б. 6}}^{\text{т.б. 6}})^n - (t_{\text{т.б. 6}}^{\text{т.б. 6}})^6$	100	1,0

Примечание.

P₂₃ – снижение неравномерности распределения температуры колошниковога газа по газоотводам, °С;

P₂₄ – снижение средней температуры газа на периферии, °С;

P₂₅ – повышение окружной неравномерности температуры газа, °С;

P₂₆ – повышение давления дутья, кПа;

P₂₇ – увеличение общего перепада давления, кПа;

P₂₈ – снижение расхода дутья, м³/мин;

P₂₉ – снижение температуры колошниковога газа около стенки печи, °С;

P₃₀ – увеличение температуры колошниковога газа в центральной части печи, °С.

Распознавание горячего хода доменной плавки

Перегрев печи обычно является следствием малой рудной нагрузки, иногда – неконтролируемым улучшением качества железорудного сырья. Признаки горячего хода плавки следующие:

Признак	Выражение для определения признака (ΔX_i)	$\Delta X_i^{\text{доп}}$	R_i
P ₃₁	$\Delta X_{31} = P_{\text{д}}^n - P_{\text{д}}^6$	120	0,9
P ₃₂	$\Delta X_{32} = t_{\text{к.г. ср}}^n - t_{\text{к.г. ср}}^6$	100	0,7
P ₃₃	$\Delta X_{33} = (t_{\text{к.г. max}} - t_{\text{к.г. min}})^6 - (t_{\text{к.г. max}} - t_{\text{к.г. min}})^n$	50	0,8
P ₃₄	$\Delta X_{34} = t_{\text{пер. ср}}^n - t_{\text{пер. ср}}^6$	50	0,8
P ₃₅	$\Delta X_{35} = (t_{\text{пер. max}} - t_{\text{пер. min}})^6 - (t_{\text{пер. max}} - t_{\text{пер. min}})^n$	100	0,8
P ₃₆	$\Delta X_{36} = t_{\text{чуг}}^n - t_{\text{чуг}}^6$	30	0,8
P ₃₇	$\Delta X_{37} = [\text{Si}]^n - [\text{Si}]^6$	0,15	1,0
P ₃₈	$\Delta X_{38} = \left(\frac{\text{CaO} + \text{MgO}}{\text{SiO}_2} \right)^n - \left(\frac{\text{CaO} + \text{MgO}}{\text{SiO}_2} \right)^6$	0,07	0,9

Примечание.

P₃₁ – повышение давления дутья, кПа;

P₃₂ – увеличение отклонения усредненной температуры колошниковога газа, °С;

P₃₃ – снижение неравномерности распределения температуры колошниковога газа по газоотводам, °С;

P₃₄ – увеличение средней температуры газа на периферии, °С;

P₃₅ – снижение окружной неравномерности температуры газа, °С;

P₃₆ – повышение температуры чугуна, °С;

P₃₇ – повышение содержания Si в чугуне, %;

P₃₈ – увеличение основности шлака (CaO + MgO)/SiO₂, доли.

Горячий ход доменной плавки характеризуется еще несколькими признаками, которые, как правило, не измеряются имеющимися техническими средствами. К таким признакам относятся, в частности, следующие:

- при разогреве печи сход шихты характеризуется подстоями и обрывами, а также неустойчивым положением уровня засыпи;
- на диаграмме давления колошниковога газа появляются резкие пики, направленные в сторону повышения давления;
- разогрев печи сопровождается более ярким свечением воздушных фурм.

Распознавание холодного хода доменной плавки

Перечень признаков и условий, используемых для распознавания холодного хода доменной плавки, представлен ниже:

Признак	Выражение для определения признака (ΔX_i)	$\Delta X_i^{\text{доп}}$	R_i
P_{39}	$\Delta X_{39} = P_{\text{д}}^{\text{б}} - P_{\text{д}}^{\text{н}}$	100	0,9
P_{40}	$\Delta X_{40} = N^{\text{н}} - N^{\text{б}}$	2	0,9
P_{41}	$\Delta X_{41} = \Delta P_{\text{н}}^{\text{б}} - \Delta P_{\text{н}}^{\text{н}}$	30	0,9
P_{42}	$\Delta X_{42} = \Delta P_{\text{общ}}^{\text{б}} - \Delta P_{\text{общ}}^{\text{н}}$	50	0,9
P_{43}	$\Delta X_{43} = V_{\text{д}}^{\text{н}} - V_{\text{д}}^{\text{б}}$	50	0,9
P_{44}	$\Delta X_{44} = t_{\text{чуг}}^{\text{б}} - t_{\text{чуг}}^{\text{н}}$	20	0,8
P_{45}	$\Delta X_{45} = [\text{Si}]^{\text{б}} - [\text{Si}]^{\text{н}}$	0,15	1,0
P_{46}	$\Delta X_{46} = \left(\frac{\text{CaO}}{\text{SiO}_2} \right)^{\text{б}} - \left(\frac{\text{CaO}}{\text{SiO}_2} \right)^{\text{н}}$	0,07	0,9

П р и м е ч а н и е.

- P_{39} – снижение давления дутья, кПа;
- P_{40} – увеличение числа срабатываемых подач;
- P_{41} – уменьшение нижнего перепада давления, кПа;
- P_{42} – уменьшение общего перепада давления, кПа;
- P_{43} – увеличение расхода дутья, м³/мин;
- P_{44} – снижение температуры чугуна, °С;
- P_{45} – уменьшение содержания Si в чугуне, %;
- P_{46} – снижение основности шлака (CaO/SiO₂), доли.

К числу признаков, которые не могут быть зафиксированы техническими средствами, относятся следующие:

- при похолодании печи фурмы работают интенсивно, но «холодно», на них периодически появляются шлак и неподготовленный материал;
- понижается выход пара в системе испарительного охлаждения (или температура холодильников и огнеупорной кладки при проточной системе охлаждения печи).

Распознавание нарушений в сходе шихтовых материалов

Нарушение в сходе шихты в доменной печи – это наиболее распространенный вид нарушения нормаль-

ного хода плавки. К этим видам нарушения относятся тугой ход и подвисания шихты. По своему характеру подвисания шихты различаются на верхние и нижние. В зависимости от нагрева печи подвисания бывают на горячем и холодном ходу.

Распознавание тугого хода печи. Такой вид нарушения плавки чаще всего связан с чрезмерным сокращением периферийного газового потока при недостаточной газопроницаемости центральной зоны печи. Это в свою очередь является результатом работы печи с пониженным уровнем засыпи, с работой печи на увеличенной подаче, с увеличением доли мелкой фракции в загружаемой шихте, при работе печи на шлаках повышенной основности. Перечень признаков и условий, используемых для распознавания тугого хода доменной печи, следующий:

Признак	Выражение для определения признака (ΔX_i)	$\Delta X_i^{\text{доп}}$	R_i
P_{47}	$\Delta X_{47} = [\text{Si}]^{\text{н}} - [\text{Si}]^{\text{б}}$	0,15	0,9
P_{48}	$\Delta X_{48} = t_{\text{чуг}}^{\text{н}} - t_{\text{чуг}}^{\text{б}}$	20	0,8
P_{49}	$\Delta X_{49} = P_{\text{д}}^{\text{н}} - P_{\text{д}}^{\text{б}}$	120	0,9
P_{50}	$\Delta X_{50} = V_{\text{д}}^{\text{б}} - V_{\text{д}}^{\text{н}}$	50	0,9
P_{51}	$\Delta X_{51} = \Delta P_{\text{общ}}^{\text{н}} - \Delta P_{\text{общ}}^{\text{б}}$	50	0,9
P_{52}	$\Delta X_{52} = (t_{\text{к.г. max}} - t_{\text{к.г. min}})^{\text{б}} - (t_{\text{к.г. max}} - t_{\text{к.г. min}})^{\text{н}}$	50	0,8

П р и м е ч а н и е.

- P_{47} – увеличение содержания Si в чугуне, %;
- P_{48} – увеличение температуры чугуна, °С;
- P_{49} – увеличение давления дутья, кПа;
- P_{50} – снижение расхода дутья, м³/мин;
- P_{51} – увеличение общего перепада давления, кПа;
- P_{52} – снижение неравномерности распределения температуры колошниковога газа по газоотводам, °С.

К числу признаков, характеризующий тугой ход печи, которые невозможно отобразить на компьютере, относятся:

- при тугом ходе печи давление колошниковога газа становится неустойчивым – на диаграмме появляются пики повышенного давления;
- выход колошниковога газа становится неустойчивым;
- из-за отсутствия на печах ОАО «ММК» устройств для фиксации содержания CO₂ по радиусу колошника отсутствует признак повышения его концентрации на периферии при тугом ходе печи.

Таким образом, для распознавания тугого хода печи имеются шесть признаков. Если из числа этих признаков удовлетворяется пять, то с большой долей вероятности можно судить о том, что печь выходит на «тугой ход».

Распознавание верхнего подвисания шихты в доменной печи. Верхнее подвисание шихты связано с ко-

никать при любом нагреве печи. Такой вид подвисания возникает, как правило, с ухудшением качества шихтовых материалов (низкая механическая прочность кокса, большое содержание мелочи в железорудном сырье). Возникновение верхнего подвисания может быть следствием несоответствия качества шихтовых материалов дутьевому режиму. Перечень признаков и условий, используемых для распознавания верхнего подвисания шихты в доменной печи, приведен ниже:

Признак	Выражение для определения признака (ΔX_i)	$\Delta X_i^{\text{доп}}$	R_i
P_{53}	$\Delta X_{53} = \Delta P_{\text{в}}^{\text{n}} - \Delta P_{\text{в}}^{\text{б}}$	15	0,9
P_{54}	$\Delta X_{54} = \Delta P_{\text{общ}}^{\text{n}} - \Delta P_{\text{общ}}^{\text{б}}$	50	0,9
P_{55}	$\Delta X_{55} = P_{\text{д}}^{\text{n}} - P_{\text{д}}^{\text{б}}$	30	0,9
P_{56}	$\Delta X_{56} = \text{CO}_{2, \text{к.г.}}^{\text{n}} - \text{CO}_{2, \text{к.г.}}^{\text{б}}$	0,5	0,8
P_{57}	$\Delta X_{57} = t_{\text{пер, ср}}^{\text{n}} - t_{\text{пер, ср}}^{\text{б}}$	100	0,8
P_{58}	$\Delta X_{58} = (t_{\text{пер, max}} - t_{\text{пер, min}})^{\text{б}} - (t_{\text{пер, max}} - t_{\text{пер, min}})^{\text{n}}$	50	0,8

П р и м е ч а н и е.

- P_{53} – увеличение верхнего перепада давления, кПа;
 P_{54} – увеличение общего перепада давления, кПа;
 P_{55} – увеличение давления дутья, кПа;
 P_{56} – увеличение содержания CO_2 в колошниковом газе, %;
 P_{57} – повышение средней температуры периферийных газов, °С;
 P_{58} – снижение окружной неравномерности температуры газа на периферии, °С.

К числу признаков, которые не могут быть отражены в удобном для компьютера виде при распознавании верхнего подвисания, следует отнести:

- верхнее подвисание сопровождается интенсивной и в большинстве случаев равномерной работой воздушных фурм;
- температура газа в газоотводах печи первоначально понижается, а затем медленно растет;
- сход шихтовых материалов печи по показаниям приборов прекращается после нескольких обрывов шихты;
- одним из главных признаков подвисания шихты является, безусловно, факт прекращения схода шихты в печи, о чем должны свидетельствовать показания уровнемеров или других систем, регистрирующих движение материалов в доменных печах.

Распознавание нижнего подвисания шихты в доменной печи. Нижнее подвисание, как правило, вызывается нарушениями теплового и шлакового режимов плавки, в результате которых происходит перераспределение газового потока в печи, охлаждение полурасплавленных шлаковых расплавов с потерей их текучести, а иногда и со снижением фильтрующей способности коксовой насадки. Причиной нижнего подвисания шихты может быть и переполнение горна

печи жидкими продуктами плавки. Признаки нижнего подвисания шихты следующие:

Признак	Выражение для определения признака (ΔX_i)	$\Delta X_i^{\text{доп}}$	R_i
P_{59}	$\Delta X_{59} = \Delta P_{\text{н}}^{\text{n}} - \Delta P_{\text{н}}^{\text{б}}$	30	1,0
P_{60}	$\Delta X_{60} = P_{\text{д}}^{\text{n}} - P_{\text{д}}^{\text{б}}$	120	0,9
P_{61}	$\Delta X_{61} = (t_{\text{к.г. max}} - t_{\text{к.г. min}})^{\text{б}} - (t_{\text{к.г. max}} - t_{\text{к.г. min}})^{\text{n}}$	70	0,8

П р и м е ч а н и е.

- P_{59} – увеличение нижнего перепада давления, кПа;
 P_{60} – повышение давления дутья, кПа;
 P_{61} – снижение неравномерности распределения температуры колошниковых газов по газоотводам, °С.

К числу признаков, характеризующих наступление нижнего подвисания, которые невозможно (или проблематично) оценить компьютерными методами, относят:

- сход шихты по показаниям шихтомеров характеризуется многочисленными провалами и подстоями шихтовых материалов;
- необходимо какими-то способами подчеркнуть «зигзагообразный вид» ленты показаний температуры газа в газоотводах печи при наступлении нижнего подвисания.

Выводы. Разработаны логические основы оценки нормального хода доменной плавки и распознавания видов отклонений от нормального режима ее работы: периферийного, центрального (осевого) газового потока, горячего и холодного хода, тугого хода печи, верхнего и нижнего подвисаний шихты в доменной печи. Предложенную методику целесообразно использовать в компьютерных системах поддержки принятия решений при управлении доменной плавкой в режиме реального времени.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Металлургия чугуна / Под ред. Ю.С. Юсфина. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2004. – 774 с.
2. Blast furnace Phenomena and modelling / Ed. By Yasuo Omori. Elsevier applied science. – London and New York, 1987. – 631 p.
3. Соловьев В.И., Краснобаев В.А., Сарапулов Ю.А., Павлов Е.А. – В кн.: Международная научно-техническая конференция «Теория и практика производства чугуна», 24 – 27 мая 2004 г., Украина. – Кривой Рог: изд. Криворожского технич. ун-та, 2004. С. 484 – 487.
4. Принципы построения экспертных систем в металлургии на примере экспертной системы «Советчик мастера доменной печи» / В.Г. Лисиенко, В.П. Чистов, А.Е. Пареньков и др. – Екатеринбург: изд. УГТУ, 1996. – 45 с.
5. Lida O., Taniyochi S., Hetani T. // Kawasaki Steel Techn Dept. 1992. № 26. P. 30 – 37.
6. Power D.J. Web-based and model-driven decision support systems: concepts and issues. Americas Conference on Information Systems, Long Beach. California. 2000.
7. 5-th European Congress on Coke and Ironmaking Held. Proceedings. Stockholm. Sweden. June, 12 – 15, 2005.

8. 6-th European Coke and Ironmaking Congress. Dusseldorf. Germany, 27 June – 1 July. 2011.
9. Френкель М.М., Федулов Ю.В., Белова О.А., Краснобаев В.А. // Сталь. 1992. № 7. С. 15 – 18.
10. Информационные системы в металлургии / Н.А. Спирин, Ю.В. Ипатов, В.И. Лобанов и др. – Екатеринбург: изд. УГТУ–УПИ, 2001. – 617 с.
11. Модельные системы поддержки принятия решений в АСУ ТП доменной плавки металлургии / Н.А. Спирин, В.В. Лавров, В.Ю. Рыболовлев и др. – Екатеринбург: изд. УрФУ, 2011. – 462 с.

© 2014 г. О.П. Онорин, Н.А. Спирин,
А.В. Павлов, В.В. Лавров, А.С. Истомин,
А.А. Бурыкин, К.А. Щипанов
Поступила 12 декабря 2013 г.

IZVESTIYA VUZOV. CHERNAYA METALLURGIYA = IZVESTIYA – FERROUS METALLURGY. 2014. No. 8. Vol. 57, pp. 42–47.

LOGICAL BASIS OF RECOGNITION OF DEVIATIONS FOR BTAST-FURNACE PRODUCTION FROM NORMAL

Onorin O.P.¹, *Cand. Sci. (Eng.), assist. Professor*
Spirin N.A.², *Dr. Sci. (Eng.), Professor* (n.a.spirin@ustu.ru)
Pavlov A.V.³, *Deputy Chief Engineer*
Lavrov V.V.², *Cand. Sci. (Eng.), assist. Professor*
Istomin A.S.², *Postgraduate*
Buriykin A.A.², *Cand. Sci. (Eng.), assist. Professor*
Shchipanov K.A.², *Cand. Sci. (Eng.), assist. Professor*

¹ JSC “Ural Institute of metals” (14, room 326, Gagarina str., Ekaterinburg, 620062, Russia)

² Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin (19, Mira str., Ekaterinburg, 620002, Russia)

³ JSC “Magnitogorsk Metallurgical Plant” (93, Kirova str., Magnitogorsk, Chelyabinsk Region, 455002, Russia)

Abstract. Developed logical basis for assessing the normal course of the blast furnace and the recognition types of deviations from the normal mode of operation: peripheral, central (axial) of the gas flow, hot and cold running, tight travel furnace top and bottom of suspension in a blast furnace charge. To assess the normal course of the blast furnace and the types of deviations from normal generalized experience of specialists blast furnace plant JSC “Magnitogorsk Iron and Steel Works”. Using the proposed method should be used in computer systems to support decision-making in the management of the blast furnace in real time.

Keywords: blast furnace, blast furnace technology, disturbances of the blast furnace, gas flow resistance, thermal regime blast furnace, suspension in a blast furnace charge.

REFERENCES

1. *Metallurgiya chuguna* [Metallurgy of Iron]. Yusfin Yu.S. ed. Moscow: IKC “Akadem-kniga”, 2004. 774 p. (In Russ.).
 2. *Blast furnace Phenomena and modeling*. Ed. By Yasuo Omori. Elsevier applied science. London and New York, 1987. 631 p.
 3. Solov'ev V.I., Krasnobaev V.A., Sarapulov Yu.A., Pavlov E.A. *Mezhdunarodnaya nauchno-tehnicheskaya konferentsiya «Teoriya i praktika proizvodstva chuguna» 24–27.05.2004* [International Scientific Conference “Theory and Practice of ironmaking” May 24–27, 2004]. Ukraine – Krivoy Rog: izd. Krivorozhskogo tekhnich. un-ta, 2004, pp. 484–487.
 4. Lisienko V.G., Chistov V.P., Paren'kov A.E. etc. *Printsipy postroeniya ekspertnykh sistem v metallurgii na primere ekspertnoi sistemy «Sovetchik mastera domennoi pechi»* [Principles of construction of expert systems in the steel industry as an example of an expert system “Advisor for blast furnace master”]. Ekaterinburg: izd. UGTU, 1996. 45 p. (In Russ.).
 5. Lida O., Taniyochi S., Hetani T. Kawasaki *Steel Techn Dept.* 1992, no. 26, pp. 30–37.
 6. Power D.J. *Web-based and model-driven decision support systems: concepts and issues. Americas Conference on Information Systems*, Long Beach. California. 2000.
 7. *5-th European Congress on Coke and Ironmaking Held. Proceedings*. Stockholm. Sweden. June, 12–15, 2005.
 8. 6-th European Coke and Ironmaking Congress. Dusseldorf. Germany, 27 June–1 July, 2011.
 9. Frenkel' M.M., Fedulov Yu.V., Belova O.A., Krasnobaev V.A. Export system for furnace control. *Stal'*. 1992, no. 7, pp. 15–18. (In Russ.).
 10. Spirin N.A., Ipatov Yu.V., Lobanov V.I. etc. *Informatsionnye sistemy v metallurgii* [Information systems in metallurgy]. Ekaterinburg: izd. UGTU–UPI, 2001. 617 p. (In Russ.).
 11. Spirin N.A., Lavrov V.V., Rybolovlev V.Yu. etc. *Model'nye sistemy podderzhki prinyatiya reshenii v ASU TP domennoi plavki metallurgii* [Model of decision support system in the APCS of blast furnace metallurgy]. Ekaterinburg: izd. UrFU, 2011. 462 p. (In Russ.).
- Acknowledgements.** This work was financially supported by Ural Federal University (UrFU) in framework of the development program for the winners of the contest “Young scientists of UrFU”.

Received December 12, 2013