

УДК 669.162.261.3

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ЗАДУВКИ ДОМЕННОЙ ПЕЧИ ПОСЛЕ ОСТАНОВКИ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬЮ БОЛЕЕ 80 СУТОК БЕЗ ВЫПУСКА КОЗЛОВОГО ЧУГУНА

Ю. С. СЕМЕНОВ, В. В. ГОРУПАХА, Е. И. ШУМЕЛЬЧИК*

Представлены особенности задувок доменных печей после остановок различной продолжительности при различном характере стоянки. Приведены основные положения задувок с учетом подготовительных мероприятий и технологических особенностей. Обобщен опыт задувок доменных печей ООО «Метинвест Холдинг» (Украина) после длительной, не регламентированной технологической инструкцией остановки без предварительного выпуска козлового чугуна. Разработан регламент задувок доменных печей после длительных остановок. В соответствии с регламентом, необходимо выполнение следующих технологических операций: соблюдение уменьшенной по сравнению с традиционной рудной нагрузки на объем задувочной шихты; использование в шихте первого объема и первых рабочих шихт легкоплавких материалов невысокой основности, в том числе предусмотреть возможность подачи легкоплавких материалов через воздушные фурмы; использование секторной задувки со стороны расположения чугунной летки на малом числе воздушных фурм; обеспечение до начала задувки уверенного прогрева по высоте «летка – воздушная фурма» путем установки в чугунную летку труб, через которые подается природный газ и воздух для его горения; соблюдение малой интенсивности наращивания газодутьевых параметров и открытия воздушных фурм в одном секторе; поддержание уменьшенной по сравнению с принятой рудной нагрузки первых рабочих шихт при пониженном содержании железа в шихте.

Ключевые слова: доменная печь, задувка доменной печи, стоянка доменной печи, выдувка доменной печи, форсирование хода доменной печи, газодутьевой режим, газодинамический режим.

Остановка доменных печей (ДП) — это ответственное и неэкономичное мероприятие, которого по возможности стараются избегать. Остановки осуществляют преимущественно для проведения капитальных ремонтов, которые по объему выполняемых работ делятся на ремонты I, II и III разрядов. Реже под влиянием экономических и организационно-технических факторов проводят вынужденную остановку печей на консервацию. В зависимости от продолжительности и проводимых мероприятий стоянки можно условно разделить на три вида:

- холодная (без козлового чугуна в горне);
- горячая (непродолжительные стоянки с частичной или полной выдувкой шихты);
- условно горячая, или теплая (продолжительная стоянка без выпуска или с частичным выпуском козлового чугуна и выгребкой материалов из горна ДП).

* *Институт черной металлургии им. З. И. Некрасова НАН Украины (ИЧМ), г. Днепр, Украина; ООО «Научно-техническое предприятие ДЧМ», г. Днепр, Украина;*

канд. техн. наук Ю. С. Семенов, старший научный сотрудник ИЧМ, директор ДЧМ; В. В. Горупаха, научный сотрудник; канд. техн. наук Е. И. Шумельчик, старший научный сотрудник;

эл. почта: yuriy.semenov.isi@gmail.com

© СЕМЕНОВ Ю. С., ГОРУПАХА В. В., ШУМЕЛЬЧИК Е. И., 2017

В соответствии с видом стоянки выбирают режимы загрузки и задувки ДП, регламентируемые технологическими инструкциями. Задувки после капитального строительства можно отнести к задувкам после холодной стоянки с рядом особенностей. Задувка ДП после стоянок в течение 5–10 сут хорошо изучена и не представляет сложностей для персонала доменного цеха, также отработано множество способов таких задувок, позволяющих выводить ДП на нормальный режим работы уже через 36–48 ч при форсированной раздувке [1–4]. Затруднения вновь построенных печей и выдутых на консервацию или капитальный ремонт I разряда связаны с настройкой и пуском механизмов, проведением промышленных испытаний и наладкой нового оборудования.

При задувке ДП после холодной или горячей стоянки придерживаются основных технологических положений.

1. Обеспечение на начальном этапе прогрева горновыми газами нижней и центральной части ДП по высоте. Создание и поддержание температурно-теплового уровня, обеспечивающего фильтрацию шлаковых расплавов из первых шихт, накопление и выпуск жидких продуктов плавки.

2. Прогрев вышележащих шихтовых материалов, обеспечение поступления необходимого тепла на теплоаккумуляцию и плавление. Продукты плавки,

поступающие из первых шихт, должны обеспечить необходимую степень офлюсования золы кокса и перенести достаточное количество тепла из зоны «нагрев — плавление» в горн ДП [5, 6] для исключения «закозления» и обеспечения умеренного прогрева футеровки по высоте ДП во избежание «теплового удара».

3. Увеличение порозности шихты по высоте ДП за счет горения кокса на фурмах и подпора, создаваемого дутьем, формирование устойчивых фурменных очагов, обеспечивающих ровный сход шихты.

4. Формирование чугуна и шлака в соответствии с заданием раздувочного периода, обеспечение их дренажа, накопления и удаления из печи.

5. Формирование газодутьевого и газодинамического режимов работы печи, удовлетворяющих заданному уровню производства, расходным показателям, и обеспечение устойчивого технологического состояния в ходе раздувки.

При традиционной задувке ДП после холодной или горячей стоянки с полной выдувкой шихты задувочные шихты располагают по следующему принципу: 0-е и 1-е шихты предполагают наличие только кокса и заполняют нижний объем печи по высоте, включая заплечики и распар; 2-я шихта располагается по высоте печи выше уровня распара — низа шахты (не менее 8 м от оси воздушных фурм) и включает в себя кокс и флюсующие материалы с низкой рудной нагрузкой 0,55–0,70; 3-я и последующие шихты уже содержат, кроме кокса и флюсов, также «рабочие» металло-шлаковые составляющие шихты с постепенным увеличением рудной нагрузки к колошнику ДП, обеспечивающие прогрев чугуна с содержанием в нем 2,5–3 % кремния и выход шлака около 1 т/т чугуна. При этом общая рудная нагрузка задувочной шихты в печи может значительно отличаться на различных комбинатах в зависимости от технологии раздувки и применяемых материалов в качестве задувочных шихт и обычно изменяется в пределах 0,6–0,9 ед.

Дутьевые параметры при задувке печи в первые 8 ч должны обеспечивать теоретическую температуру горения 1800–2000 °С, что создает условия для ускоренной аккумуляции тепла в нижней (горн) и средней (заплечики, распар) областях по высоте печи. При условии достижения устойчивого схода шихтовых материалов и нормальной работы фурм через 8 ч с момента задувки печи производится подача через фурмы топливных добавок — тепловых компенсаторов, при этом теоретическая температура горения снижается до 1650–1750 °С. Это будет способствовать перемещению области высоких температур в верхнюю часть печи, где расположена основная масса железорудных материалов, и ускоренному их прогреву. Расход природного газа увеличивается каждые 4–6 ч. После первого или

второго выпуска и при условии устойчивого температурно-теплового состояния печи (главным образом температуры и состава продуктов плавки, устойчивого схода шихты, нормальной работы тракта шихтоподачи и загрузочного устройства) следует начинать форсировку хода печи с увеличением расхода дутья до 1,35–1,45 м³/м³ объема печи при закрытии дополнительно 15–25 % воздушных фурм, доведением температуры дутья до 950–1000 °С и теоретической температуры горения до 2000–2050 °С.

Пуск ДП после условно горячей стоянки порядка 30 сут или после шоткретирования шахты ДП с большим процентом отскока без выгребки материалов из горна и выпуска козлового чугуна представляет большую сложность и требует обсуждения и обобщения опыта задувок в таких условиях. В первом случае в горне остается частично или полностью застывший чугун, причем уровень чугуна в горне подходит к уровню леток, а коксовая насадка в горне может быть заполнена вязкими или затвердевшими шлаками, а во втором — плотный тугоплавкий слой на поверхности шихты, твердеющий при нагреве и препятствующий прохождению печных газов и опусканию материалов с верхних горизонтов. В таких условиях интенсификация газодутьевых и шихтовых условий в раздувочный период может привести к негативным последствиям: значительным обрывам шихты, «закозлению» металлоприемника и, как следствие, нарушению сплошности футеровки, разрывам брони и системы охлаждения ДП, устранение которых приводит к увеличению времени вывода печи на нормальный технологический режим, потерям производства и снижению дальнейшей эксплуатационной надежности ДП. В настоящее время общепринятыми требованиями при задувке печей после продолжительной условно горячей стоянки и ремонта с шоткретированием шахты являются секторная задувка на уменьшенном количестве воздушных фурм и пониженный темп наращивания газодутьевых параметров.

Нормативными документами и технологическими инструкциями предприятий допускается остановка с частичной выдувкой на срок не более 45 сут при удовлетворительном техническом состоянии печи. В случае остановки на срок более 45 сут печь должна быть полностью выдута с выпуском верхнего «козлового» чугуна и выгребкой шихты [7]. В редких случаях под влиянием форсмажорных факторов проводят аварийную остановку и консервацию ДП, длительность которой может превысить нормативно-допустимую [8]. При значительной продолжительности стоянки ДП (сверх регламентированной) без выпуска козлового чугуна шихтовые материалы в нижней части печи, в

обычных условиях выполняющие роль теплоизоляционного и теплоаккумуляционного слоя, не обеспечивают сохранность минимально необходимого температурно-теплового резерва. Большинство известных случаев сохранения чугуна «мертвого слоя» в жидкотекучем состоянии относятся к ДП малого объема начала и середины XX в., в которых применялся отличающийся коренным образом от современных печей концептуальный подход к системам охлаждения и футеровке. Современные ДП оснащаются водяным подлещадным охлаждением и более интенсивным охлаждением холодильных плит, которые при наличии футеровки низа печи, обладающей хорошей теплопроводностью, обеспечивают более низкие температуры по толщине блоков и на их внутренней рабочей поверхности. Поэтому, несмотря на эволюционное увеличение объема «мертвого слоя» современных ДП, создаются условия затвердевания расплавленных масс в металлоприемнике и «закозления» печей в случае длительной стоянки. При разогреве печи в процессе задувки происходит термическое расширение оставшегося в печи затвердевшего чугуна и создание значительного внутреннего давления, в том числе и на стенки горна, что может привести к разрушению сплошности ограждения ДП. На процесс термического расширения «козлового» чугуна влияют многие факторы — распределение температур по его высоте и радиусу, изменение химического состава чугуна и др.

При достаточном подводе тепла к застывшим «козловым» массам проплавленными продуктами плавки к верхней поверхности «козла» наибольший разогрев их будет происходить в центрально-промежуточной зоне, наименьший — в периферийной. Таким образом, максимальные силы за счет термического расширения чугуна при нагреве будут сосредоточены на периферии в направлении стенок горна ДП. Исходя из этого, необходимо создать условия для максимального подвода тепла к периферийной части одного сектора по окружности [9], который, при переходе в нем чугуна в вязкопластичное состояние, будет выступать компенсатором термических напряжений «периферийного» кольца. Затем необходимо обеспечить постепенное увеличение разогретой части сегмента кольца в большей мере, чем прогрев центральной части. Учитывая, что наибольшие разгар горна и скопление продуктов плавки располагаются в секторах чугунных леток, а также необходимость создания и поддержания дренажа между фурмами и леткой, задувку печи необходимо производить в секторе чугунной летки с большей продолжительностью и малым числом открытых воздушных фурм, сосредоточить в этой зоне накопление продуктов плавки и их удаление. Продукты плавки на этом этапе

должны обладать повышенной легкотекучестью для большего гидравлического (размывающего) воздействия на застывшие массы в этой зоне.

Возникшие форс-мажорные обстоятельства на Донбассе, повлекшие за собой практически полное прекращение поставок сырья и энергоресурсов в 2014 г. на одном из металлургических предприятий ООО «Метинвест Холдинг» (Украина), привели к экстренной незапланированной остановке ДП цеха [10]. В итоге длительность стоянки ДП значительно превысила нормативно-допустимую продолжительность в 45 сут практически в два раза. Последующий положительный опыт задувки ДП специалистами доменного цеха и технического управления предприятия при участии авторов данной статьи позволил обобщить эти результаты и на их основе сформулировать основные технологические положения задувки после стоянок более 45 сут без выпуска козлового чугуна и выгребки материалов. Практическое использование этих технологических положений при задувке печей после вынужденных продолжительных стоянок позволило избежать возникновения чрезмерного термического расширения остывших материалов и, как следствие, прорыва брони ДП.

ДП № 5 была остановлена на длительную стоянку в режиме горячей консервации с выдувкой ее до уровня заплечиков без выдачи козлового чугуна и выгребки материалов из горна 28.07.2014 г., а 15.08.2014 г. была выдута на горячую консервацию ДП № 3. В октябре — ноябре 2014 г. после улучшения сложившейся ситуации с поставками сырья было принято решение о задувке ДП цеха, 16.10.2014 г. началась задувка ДП № 5 после стоянки 80 сут, а 10.11.2014 г. задули ДП № 3 после стоянки 87 сут.

Выбор шихтовых материалов задувочной шихты. Для формирования задувочной шихты были использованы традиционные для задувки компоненты шихты: кокс (преимущественно ПАО «Авдеевский коксохимический завод»); конвертерный шлак, располагаемый преимущественно в последних задувочных шихтах, и гранулированный шлак доменного производства. В целом задувочная шихта обеспечила рудную нагрузку на весь объем 0,10–0,15 ед. Выбор в пользу доменного шлака был обусловлен его свойствами: низкой в сравнении со шлаком конвертерного производства температурой и теплотой плавления. Малый выход продуктов плавки из задувочной шихты позволил значительно увеличить продолжительность прогрева печи горновыми газами, сход шихты обеспечивался в основном за счет горения кокса на фурмах, оставшиеся в металлоприемнике после выдувки продукты плавки позволили частично офлюсовать золу кокса и защитить горн. На подготовительном и

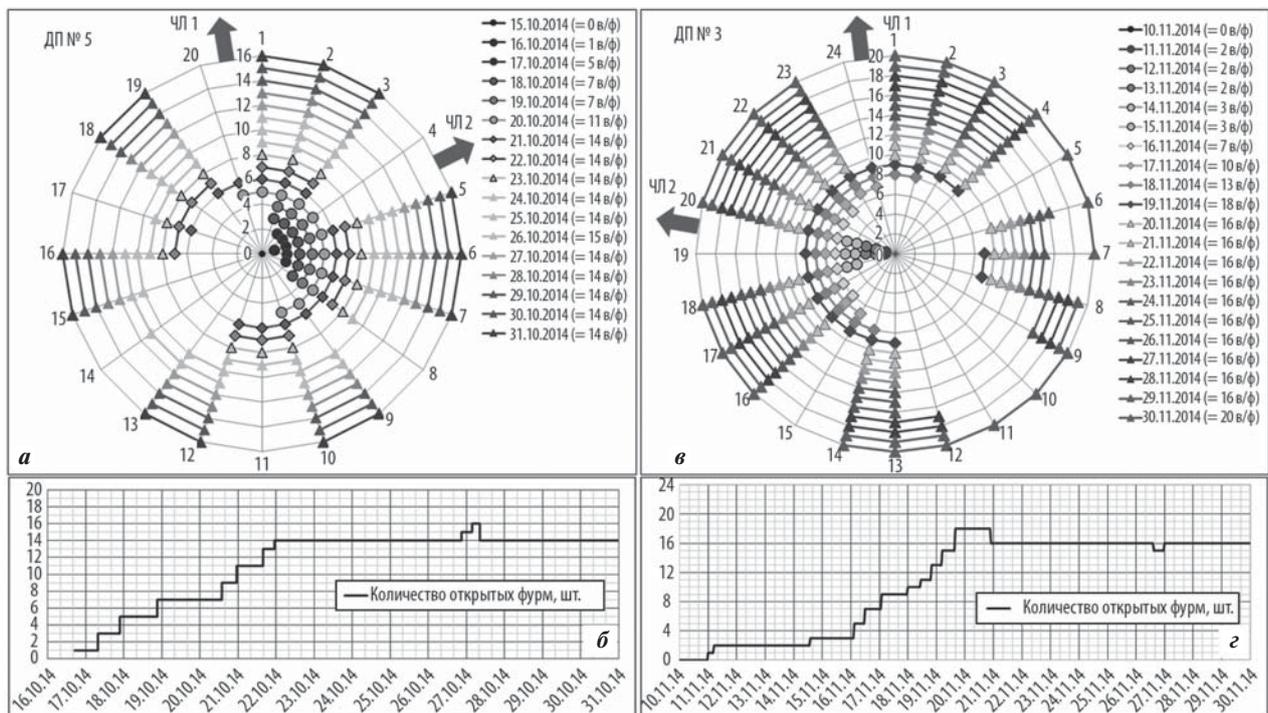


Рис. 1. Схема расположения (а, в) и динамика открытия воздушных фурм (б, г) по окружности печи в период задувки и раздувки ДП № 5 (а, б) и ДП № 3 (в, г)

начальном этапе задувки печей также проводилась вспомогательная загрузка плавикового шпата непосредственно через воздушные фурмы, который, имея низкую температуру плавления и высокую подвижность при низких температурах, обеспечил дополнительное размывающее воздействие на материалы между воздушными фурмами и леткой, улучшив таким образом фильтрацию продуктов плавки.

Рациональная загрузка шихты в рабочее пространство ДП. Программы загрузки в задувочный и раздувочный периоды выбирали с целью снижения рудной нагрузки на периферии ДП при разгруженном центре. Такой подход был выбран ввиду необходимости поддержания постоянного схода шихты для накопления большего количества продуктов плавки в периферийной зоне в районе открытых воздушных фурм при низкой интенсивности хода раздувки и прогрева низа печи. На ДП № 5 использовали традиционную для конусных загрузочных устройств систему загрузки. На ДП № 3 при загрузке задувочной шихты и на протяжении всего раздувочного периода использовали рекомендованные ИЧМ программы загрузки [11]; на начальном этапе раздувки использовали программу загрузки, характеризующуюся уменьшенной рудной нагрузкой в периферийной зоне ДП для обеспечения умеренно развитого периферийного газораспределения.

Динамика открытия воздушных фурм по окружности ДП. Задувка ДП № 5 началась 16.10.2014 г. на

одну воздушную фурму (ВФ) № 5, а 17.10.2014 г. в 07:10 и в 21:00 было открыто по две соседние фурмы, через сутки еще две, т. е. во вторые сутки от начала задувки было открыто 5 ВФ (25 %). Через сутки работы открыли еще две ВФ и продолжали задувку на 7 фурмах (30 %) на протяжении 1,5 сут (рис. 1, а, б). При достижении стабильного появления значительных масс чугуна на летках в течение следующих трех суток увеличили динамику открытия ВФ (до достижения 70 % общего числа) и перезакрытие их для перехода от секторной задувки к равномерному открытию ВФ по окружности ДП № 5.

Задувка ДП № 3 началась с открытыми ВФ 19 и 20, расположенными в секторе чугунной летки № 2 (см. рис. 1, в, г). Работа с малым числом открытых ВФ длилась 5 сут, затем ВФ открывали по 2 ед. в 12 часов. Воздушные фурмы открывали равномерно относительно оси чугунной летки № 2 в раздувочном секторе, затем через 7 сут от начала задувки с небольшим смещением в сторону чугунной летки № 1 (см. рис. 1, в). После достижения 75 % открытых ВФ на 10-е сутки от начала задувки были проведены их перезакрытие и переход к более равномерному расположению открытых и закрытых ВФ по окружности ДП; количество открытых ВФ при этом было уменьшено до 16 ед.

Как видно из представленных схем, динамика открытия ВФ на ДП № 5 была интенсивнее, чем на ДП № 3. Это было связано прежде всего с ограничениями поставок доменного сырья в период

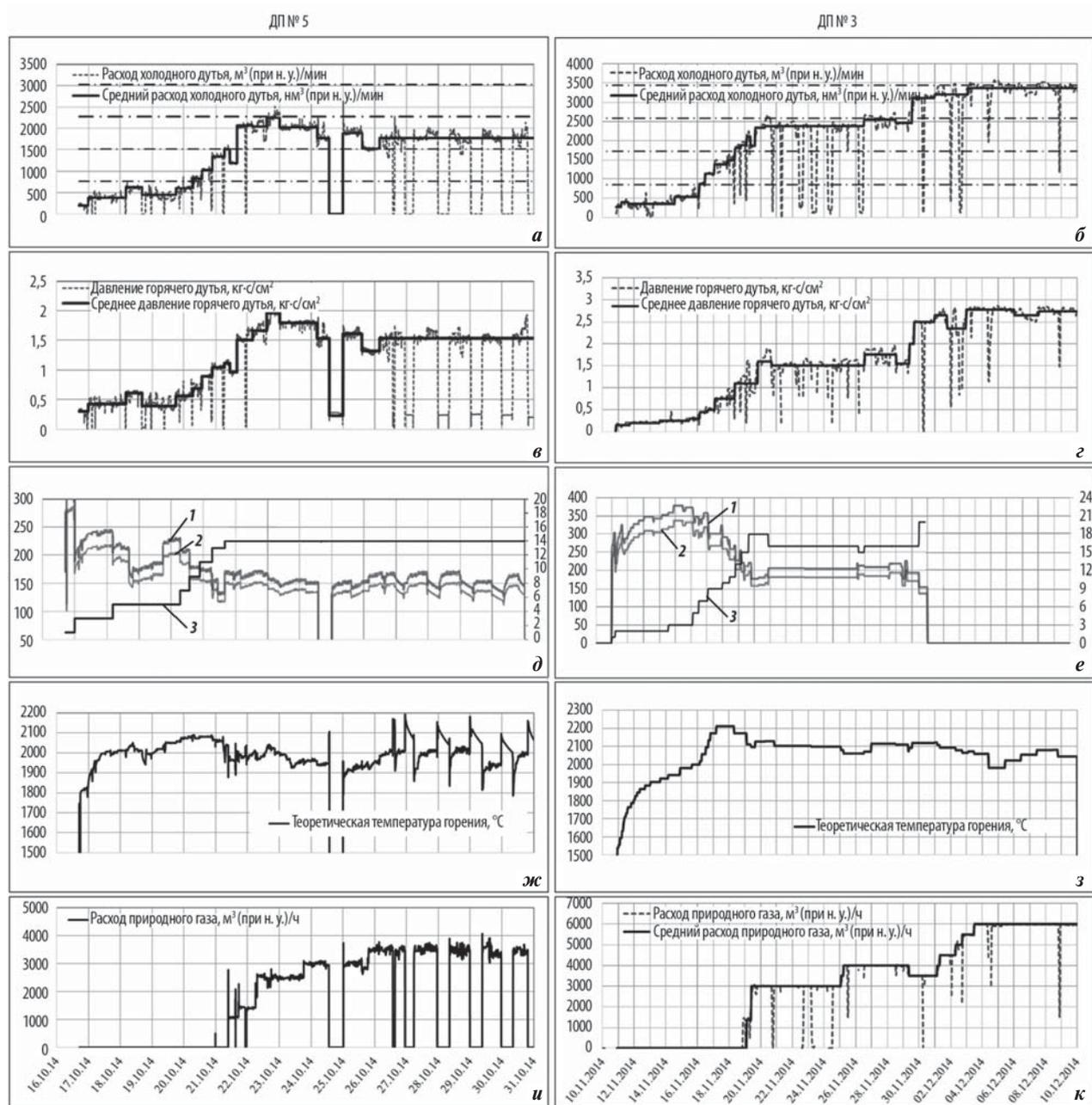


Рис. 2. Расход холодного дутья (а, б), давление горячего дутья (в, г), скорость истечения дутья из воздушных фурм (д, е), теоретическая температура горения (ж, з) и расход природного газа (и, к) в период задувки и раздувки после длительной стоянки ДП № 5 и 3:

1, 2 — скорость истечения дутья (макс., мин, соответственно), м/с; 3 — число открытых фурм, шт.

раздувок и невозможностью обеспечения бесперебойной работы всех ДП цеха. Такая ситуация негативно сказалась на продолжительности дальнейшего периода раздувки и выводе печей на рабочие параметры.

Газодутьевые параметры в период задувки и раздувки ДП. Практикой установлено, что превышение критических значений внутреннего напряжения металлических конструкций и разрывы брони при задувке «замороженных» ДП происходят в основном на 10–15-е сут от начала задувки [12].

При этом рост термических напряжений в системах ограждения начинается значительно раньше. Поэтому выбранный регламент работы в начале задувочного периода предусматривал сдержанный темп наращивания газодутьевых и теплоэнергетических параметров для ослабления влияния термических расширений и их деконцентрации в нижней зоне ДП. Для предотвращения ухудшенного дренажа из-за уменьшения скорости прогрева в нижней части ДП и возможного прихода недостаточно нагретых продуктов плавки (в основном золы кокса

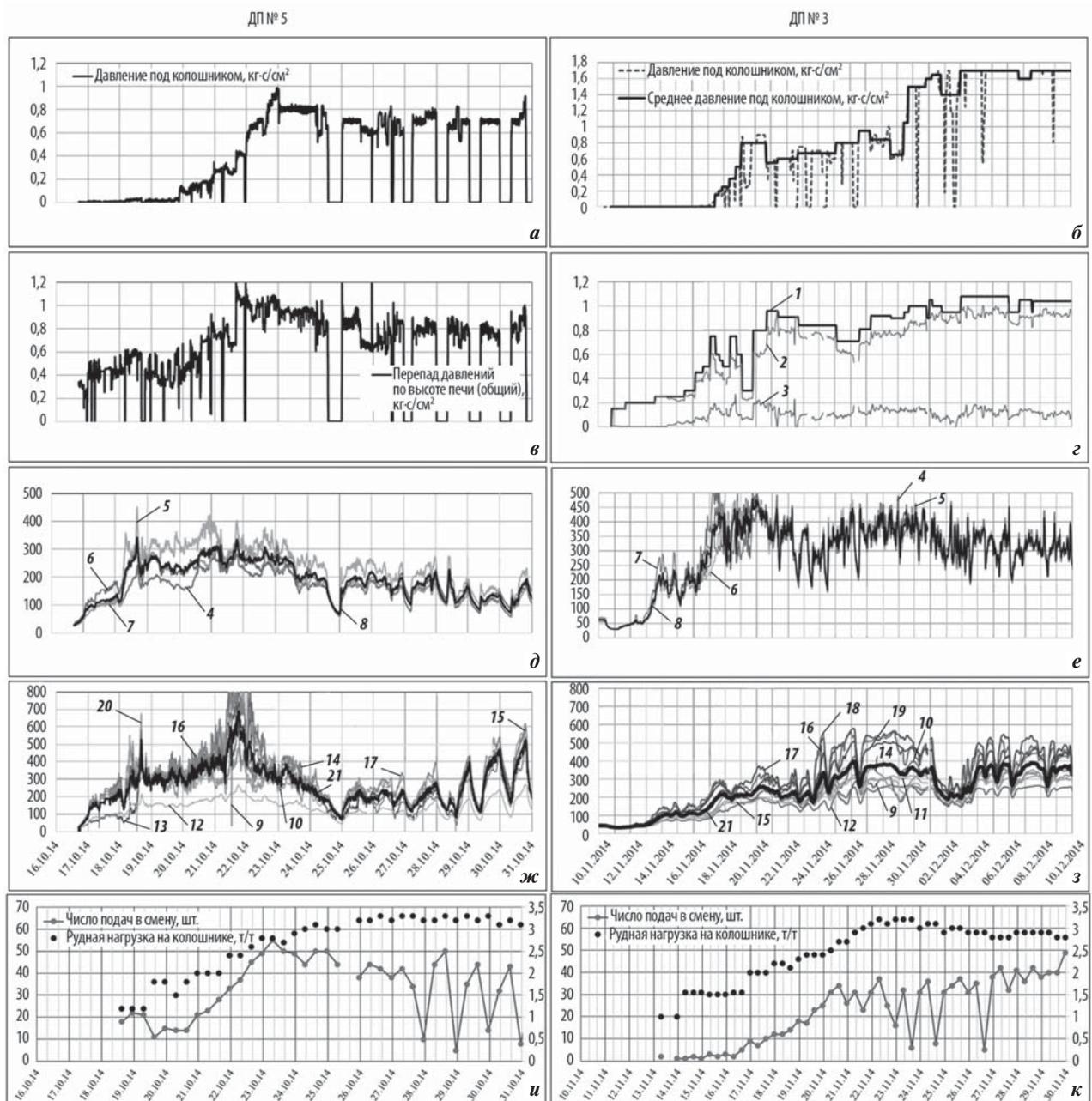


Рис. 3. Давление под колошником (а, б), перепады давлений (в, г), температура колошникового газа (в газоотводах) (д, е), температура периферийных газов (ж, з), рудная нагрузка и число подач в смену (и, к) в период задувки и раздувки после длительной стоянки ДП № 5 и 3:

1 — $\Delta P_{\text{общ}}$, кг·с/см²; 2 — $\Delta P_{\text{ниж}}$, кг·с/см²; 3 — $\Delta P_{\text{верх}}$, кг·с/см²; 4 — $T_{\text{газоотв.1}}$, °C; 5 — $T_{\text{газоотв.2}}$, °C; 6 — $T_{\text{газоотв.3}}$, °C; 7 — $T_{\text{газоотв.4}}$, °C; 8 — $T_{\text{газоотв.ср}}$, °C; 9 — $T_{\text{п}_1}$; 10 — $T_{\text{п}_2}$; 11 — $T_{\text{п}_3}$; 12 — $T_{\text{п}_4}$; 13 — $T_{\text{п}_9}$; 14 — $T_{\text{п}_{10}}$; 15 — $T_{\text{п}_{11}}$; 16 — $T_{\text{п}_{12}}$; 17 — $T_{\text{п}_{13}}$; 18 — $T_{\text{п}_{14}}$; 19 — $T_{\text{п}_{15}}$; 20 — $T_{\text{п}_{16}}$; 21 — $T_{\text{периф.ср}}$, °C

в отсутствие в первых задувочных шихтах традиционного в таких случаях конвертерного шлака и малой общей рудной нагрузки) необходимо обеспечить разогрев кокса и материалов в зоне «рабочей» чугунной летки и выше — до уровня ВФ до начала задувки. Это было достигнуто путем установки в чугунную летку труб, через которые подавались природный газ и воздух для его горения. Как было сказано ранее, временная невозможность поставок

сырья ограничила необходимый уровень рабочих параметров после раздувочного периода на ДП № 5 и увеличила продолжительность вывода ДП № 3 на рабочие параметры. Динамика изменения основных газодинамических параметров представлена на рис. 2 и 3.

Раздувка на малом числе открытых ВФ на ДП № 5 и 3 обеспечила уменьшенный расход холодного дутья на протяжении первых трех и пяти

суток соответственно, затем после прогрева сектора чугунной летки и начала опускания первых облегченных подач в печь началось постепенное наращивание расхода дутья и соответственного открытия ВФ (см. рис. 2). Температура горячего дутья в задувочном периоде плавно увеличивалась от 400–500 °С в первые сутки работы печей до 600–750 °С в последующие 4–5 сут. Пониженная температура дутья 750–850 °С сохранялась до начала увеличения интенсивности схода подач и увеличения рудной нагрузки до 2 ед. и более. Такой режим задувки обеспечил достижение теоретической температуры дутья 2000 °С на ДП № 5 в первые сутки работы (см. рис. 2). В процессе раздувки ДП № 3 теоретическая температура горения плавно увеличивалась до 1900 °С в первые двое суток, затем ее рост замедлился до ~50 °С/сут и она достигла значения 2000 °С после 5 сут от начала задувки печи. Дальнейшее ее увеличение при начале форсирования задувки печи компенсировалось подачей природного газа на ВФ (см. рис. 2).

Скорость истечения дутья из ВФ в начале задувки ДП обеспечивалась за счет малого числа открытых фурм в сочетании с пониженным расходом холодного дутья. На ДП № 5 в начальном периоде скорость истечения дутья составляла около 200 м/с и по мере открытия ВФ уменьшилась до 150 м/с (см. рис. 2). На ДП № 3 скорость истечения дутья на начальном этапе увеличивалась от 250 до 350 м/с, затем по мере открытия ВФ и форсирования задувки уменьшилась до ~200 м/с.

Совместно с началом увеличения расхода дутья ДП № 5 и 3 были подключены к заводским системам доменного газа в третьи и седьмые сутки от начала задувки соответственно, еще через сутки на ВФ был подан природный газ. На данном этапе начали формироваться газораспределение в столбе шихты и соответствующий общий и частные перепады давлений на ДП (см. рис. 3). Верхний перепад давлений на ДП № 3 начал формироваться на четвертые сутки от начала задувки печи и к седьмым суткам достиг ~0,17–0,19 кг·с/см². По мере увеличения количества загружаемых материалов, увеличения рудной нагрузки и формирования устойчивого газораспределения в столбе шихты верхний перепад давления установился на уровне 0,12–0,15 кг·с/см².

Скорость увеличения температуры колошниково-го газа в период раздувки ДП начала значительно повышаться после прогрева всего столба кокса ввиду малого количества рудной составляющей задувочной шихты. Значительное ее увеличение компенсировалось опусканием в печь подач и увеличением рудной нагрузки (см. рис. 3). Малая скорость истечения дутья из ВФ при подаче через них природного газа, наряду с общим увеличением сопро-

тивления шихты при увеличении рудной нагрузки, как и следовало ожидать, вызвала переток печных газов к периферии и увеличение протяженности по высоте высокотемпературной периферийной зоны и повышение температуры периферийных газов на колошнике (см. рис. 3).

После начала схода шихты при загрузке ДП № 5 в раздувочный период в качестве железорудной шихты применяли агломерат с пониженной относительно обычной основностью, а в качестве флюсующего и шлакообразующего материала — гранулированный шлак. После первой недели раздувки в железорудную часть шихты начали вводить окатыши в количестве до 20 % и шлак конвертерного производства в качестве флюса. На ДП № 5 использовали традиционную в таких случаях систему загрузки КРРК $\downarrow 3,5 \rightarrow \downarrow 1,7$ м. Материалы задувочной шихты и загружаемые в течение первых семи дней обеспечили выход шлака более 1 т/т чугуна. Как видно из рис. 3, ДП № 5 уже на вторые сутки начала «брать» до 20 подач в смену (8 ч) при рудной нагрузке около 1,2 т/т. После повышения давления дутья под колошником сход шихты на 3–4-е сут немного замедлился, после чего интенсивность подач начала расти примерно на 12 подач в смену, рудную нагрузку при этом тоже увеличивали до 2,7 т/т. Отсутствие достаточного количества рудного сырья не позволило в дальнейшем увеличивать интенсивность плавки, рудная нагрузка при этом была близка к рабочей и составляла примерно 3,2–3,4 т/т.

На начальном периоде раздувки ДП № 3 железорудная часть шихты состояла из окатышей производства ЧАО «Северный горно-обогатительный комбинат» (ЧАО «СевГОК») и агломерата основностью 1,11–1,33 ед. в соотношении 50/50 ÷ 70/30 %. В качестве флюса и шлакообразующей составляющей применяли гранулированный доменный шлак в небольшом количестве, в последующем — шлак конвертерного производства. На протяжении начального этапа раздувочного периода использовали разработанную авторами статьи программу загрузки, характеризующуюся уменьшенной по сравнению с базовой программой рудной нагрузкой в периферийной зоне ДП для обеспечения умеренно развитого периферийного газораспределения.

Ввиду пониженной интенсивности задувки наращивание газодутьевых параметров в первую неделю от начала задувки осуществлялось по мере опускания шихты, интенсивность плавки составляла 2–3 подачи в смену (см. рис. 3). В последующие 5 сут по мере интенсификации процессов прирост составлял порядка 9 подач в смену и на протяжении 10–15 сут от начала задувки достиг в среднем 35 подач в смену. Рудную нагрузку увеличивали в темпе с остальными параметрами и необходимостью поддержания повышенного нагрева чугуна.

Она увеличивалась от ~1 т/т в первых подачах до примерно 3,2 т/т на 12-е сут от задувки печи; прирост рудной нагрузки составил около 0,25 т/т в сутки (см. рис. 3).

Состав продуктов плавки в период задувки ДП. На ДП № 5 18.10.2014 г. (через ~30 ч от начала задувки) выдали первые выпуски шлака общей массой 202,38 т. Основность первого шлака составляла 0,83 ед., содержание оксидов магния и железа — 3,31 и 9,29 % соответственно. В последующие сутки было проведено пять выпусков, 250,57 т шлака и 2 канавы чугуна. Химический состав первого чугуна следующий, %: 3,01 Si; 0,33 Mn; 0,3 S; 2,53 C; 0,12 Ti. 20.10.2014 г. был слит первый чугун в чугуновозный ковш.

Ввиду неясной обстановки и перебоев с поставками сырья, во избежание неподготовленных остановок ДП в этот период перевели на чугун с содержанием кремния в чугуне около 1,0–1,2 %. Повышенный тепловой резерв горна печи позволил после прогрева и плавления «козловых» масс ускорить гидравлическое обновление в «мертвом слое» и интенсифицировать нагрев футеровки по всей ее толщине.

На ДП № 3 14.11.2014 г. (более 60 ч от начала задувки) выдали первые два выпуска шлака. В последующие сутки до появления чугуна было проведено еще 4 выпуска шлака. 16.11.2014 г. был слит первый чугун в чугуновозный ковш. Среднесуточные химические составы продуктов плавки в последующем периоде близки к показателям ДП № 5. В раздувочном периоде первый чугун был химически достаточно прогрет, содержание кремния в первые 3 сут на обеих печах выдерживалось более 5 %, затем 2–3 сут содержание кремния составляло свыше 2 %. В дальнейшем для поддержания повышенного теплового состояния ДП содержание кремния в чугуне выдерживали на уровне 1,0–1,25 %. С начала декабря ситуация с поставками сырья и отгрузкой продукции на предприятии стабилизировалась, и на ДП начали увеличивать производство, содержание кремния при этом снизилось до 0,65 %.

Таким образом, на основании положительного опыта задувки ДП после длительной сверхнормативной стоянки без выпуска козлового чугуна и выгребки материалов из печи сформулированы следующие основные требования к задувке.

1. Уменьшенная по сравнению с традиционной рудная нагрузка на объем задувочной шихты (~0,10–0,15 т/т).

2. Использование в шихте первого объема и первых рабочих шихт легкоплавких материалов невысокой основности (например, доменный шлак 50–100 %, плавиковый шпат в первых шихтах); предусмотреть возможность подачи легкоплавких материалов через воздушные фурмы.

3. Секторная задувка со стороны расположения чугунной летки на малом числе воздушных фурм (в начале задувки 1–2 фурмы), обеспечение до начала задувки уверенного прогрева по высоте «летка — воздушная фурма» путем установки в чугунную летку труб, через которые подается природный газ и воздух для его горения.

4. Низкая интенсивность наращивания газодуговых параметров (расход 1 м³ дутья/м³ объема на 5–7-е сут при достижении 1,6–1,8 м³ дутья/м³ объема на протяжении последующих двух недель).

5. Низкая интенсивность открытия воздушных фурм в одном секторе (по 1–2 фурмы в сутки до достижения 50 % открытых фурм через две недели).

6. Уменьшенная по сравнению с принятой рудная нагрузка первых рабочих шихт при пониженном содержании железа в шихте (1–1,5–2 т/т, обеспечивающая содержание кремния ~5 % в первые 3 сут, переход на литейный чугун в следующие 2–4-е сут).

Заключение

Мероприятия, выполненные до и в процессе задувок доменных печей ООО «Метинвест Холдинг» после длительной стоянки, способствовали выводу печей на заданные планово-экономические показатели, обеспечили при этом сохранность огнеупорной футеровки, конструкций и оборудования. На основании приведенных основных положений задувок с учетом подготовительных мероприятий и технологических особенностей разработан регламент задувок доменных печей после длительных остановок без предварительного выпуска козлового чугуна, которые внесены дополнением в технологическую инструкцию по доменному производству.

Библиографический список

1. Васюра Г. Г. Регулирование теплового состояния доменной печи в период раздувки // *Металлург*. 2002. № 5. С. 40–42.
2. Иноземцев Н. С., Коршиков Г. В., Капорулин В. В. Охлаждение и нагрев коксовых насадок при выдувках и задувках доменных печей // *Сб. науч. тр. междунар. науч.-техн. конф. «Современная металлургия начала нового тысячелетия»*. — Липецк, 2005. С. 56–60.
3. Yankovskii A. S., Maryasov M. F., Pol'shchikov A. V., Zhembus M. D., Monarshuk A. P., Zuenok G. A., Borodulin A. V. Blow-through of a blast furnace with the use of nitrogen // *Metallurgist*. October 1988. Vol. 32, Iss. 11. P. 347, 348.
4. Shcheglov E. M., Kholodnyi D. P., Grachev S. N., Titov V. N., Burmykin V. B., Ivleva L. S., Inozemtsev N. S., Mikhailov V. G., Dubrovskii S. A. Improving the technology for the blow-in of blast furnaces after class-I and class-II overhauls // *Metallurgist*. 2014. Vol. 57, Iss. 11, 12, P. 1082–1087.
5. Дружков В. Г., Макарова И. В. Влияние характера движения материалов в рабочем пространстве доменных печей на процесс задувки // *Теория и технология металлургического производства*. 2016. № 2. С. 13–17.
6. Дружков В. Г., Макарова И. В., Потапова М. В. Уточнение характера движения материалов и газов в рабочем пространстве доменных печей в процессе задувки // *Бюллетень «Черная металлургия»*. 2017. № 1. С. 35–38.
7. Большаков В. И., Голубых Г. Н., Можаренко Н. М. Опыт задувки до-

- менных печей // Бюллетень «Черная металлургия». 2009. № 7. С. 40–54.
8. ван Оуденаллен Р., Уайз Дж., Грейвмейкер Г.-Я. Задувка доменных печей после длительных остановок // Черные металлы. 2010. № 6. С. 25–29.
 9. Chernobrivets B. F., Al'ter M. A., Emel'yanov V. L., Kaporulin V. V. Blowing-in a blast furnace after a long-term shut-down without discharging saw-iron and filling in water // Metallurgist. 1995. Vol. 39, Iss. 10. P. 176.
 10. Podkorytov A. L., Kuznetsov A. M., Zubenko A. V., Semenov Yu. S., Nesterov A. S., Shumelchik E. I. Introduction of Pulverized-Coal Injec-

- tion at Yenakiiievo Iron and Steel Works // Steel in Translation, 2017. Vol. 47, No. 5. P. 313–319.
11. Большаков В. И., Семенов Ю. С., Шумельчик Е. И., Горупаха В. В., Подкорытов А. Л., Зубенко А. В. Реализация энергосберегающей технологии загрузки современной доменной печи в конъюнктурных топливно-сырьевых и технологических условиях // Металлургическая и горнорудная промышленность. 2014. № 6. С. 6–14.
 12. ван Стейн Калленфельс Э. Новый надежный метод восстановления «замороженной» доменной печи // Сталь. 2005. № 10. С. 28–31.

“CHERNYE METALLY”, 2017, № 11, pp. 28–36

THE BASIC CONDITIONS OF BLOWING OF A BLAST FURNACE AFTER ITS DURABLE STOPPING FOR MORE THAN 80 DAYS WITHOUT TAPPING OF FREEZING IRON

Semenov Yu. S.^{1,2}, Dr. Eng., Senior Researcher
 Horupakha V. V.^{1,2}, Researcher
 Shumelchik E. I.^{1,2}, Dr. Eng., Senior Researcher

¹ Iron and Steel Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine (Dnipro, Ukraine)

² Scientific Technical Company ISD (Dnipro, Ukraine)

E-mail: yuriy.semenov.isi@gmail.com

Abstract: The peculiarities of blowing of blast furnaces after their stopping of different duration and with different stopping patterns are presented. The main blowing regularities are given taking into account the preparing measures and technological features. The experience of blowing of blast furnaces of Metinvest Holding (Ukraine) is summarized after a long stopping that was not regulated by the technological instruction and that was not accompanied by preliminary tapping of freezing iron. The regulating rules for blowing of blast furnaces after long stopping have been developed. In accordance with the regulations, it is necessary to perform the following technological operations: keeping of the reduced (in comparison with the conventional one) ore load on the volume of the charge; use of low-melting materials with low basicity in the burden of the first volume and the first working batches (including possibility of supplying of low-melting materials through air tuyeres); use of sector blowing from the iron tap side with a small number of air tuyeres; ensuring of a stable heating along the height “tap – air tuyere” before blowing start (by installing of pipes into the cast iron tap to supply natural gas and air for its combustion); observance of low intensity of increase of gas blowing parameters and opening of air tuyeres in one sector; maintenance of a reduced ore load (in comparison with the accepted one) of ore load of the first working burden with reduced iron content in the charge.

Key words: blast furnace, blowing of a blast furnace, blast furnace parking, blowing-out of a blast furnace, forcing the progress of a blast furnace, gas-blow mode, gas-dynamic mode.

References:

1. Vasyura G. G. Regulation of blast furnace's thermal state in blowing-up period. *Metallurg*. 2002. No. 5. pp. 40–42.
2. Inozemtsev N. S., Korshikov G. V., Kaporulin V. V. Cooling and heating of coke checkers during the blowing-ins and blowing-outs. *Collection of scientific proceedings of international scientific and technical conference «Modern metallurgy of the beginning of a new millennium»*. Lipetsk, 2005. pp. 56–60.
3. Yankovskii A. S., Maryasov M. F., Polshchikov A. V., Zhembus M. D., Monarshuk A. P., Zuenok G. A., Borodulin A. V. Blow-through of a blast furnace with the use of nitrogen. *Metallurgist*. October 1988. Vol. 32, Iss. 11. pp. 347–348.
4. Shcheglov E. M., Kholodnyi D. P., Grachev S. N., Titov V. N., Burmykin V. B., Ivleva L. S., Inozemtsev N. S., Mikhailov V. G., Dubrovskii S. A. Improving the Technology for the Blow-In of Blast Furnaces After Class-I and Class-II overhauls. *Metallurgist*. March 2014. Vol. 57, Iss. 11–12. pp. 1082–1087.
5. Druzhkov V. G., Makarova I. V. Influence of material movement within the blast furnace working space on the blowing process. *Teoriya i tekhnologiya metallurgicheskogo proizvodstva*. 2016. No. 2. pp. 13–17.
6. Druzhkov V. G., Makarova I. V., Potapova M. V. Specification of nature of materials and gases movement in blast furnace's workspace in blowing-in process. «*Chermetinformatsiya*». *Byulleten «Chernaya metallurgiya»*. 2017. No. 1. pp. 35–38.
7. Bolshakov V. I., Golubykh G. N., Mozharenko N. M. Experience of blowing-in of blast furnace. «*Chermetinformatsiya*». *Byulleten «Chernaya metallurgiya»*. 2009. No. 7. pp. 40–54.
8. van Oudenallen R., Wise J., Gravemaker G.-J. Blow-in of blast furnaces after long stops. *Chernye metally*. 2010. No. 6. pp. 25–29.
9. Chernobrivets B. F., Alter M. A., Emel'yanov V. L., Kaporulin V. V. Blowing-in a blast furnace after a long-term shut-down without discharging saw-iron and filling in water. *Metallurgist*. October 1995. Vol. 39, Iss. 10. pp. 176.
10. Podkorytov A. L., Kuznetsov A. M., Zubenko A. V., Semenov Yu. S., Nesterov A. S., Shumelchik E. I. Introduction of Pulverized-Coal Injection at Yenakiiievo Iron and Steel Works. *Steel in Translation*. 2017. Vol. 47, No. 5. pp. 313–319.
11. Bolshakov V. I., Semenov Yu. S., Shumelchik E. I., Gorupakha V. V., Podkorytov A. L., Zubenko A. V. Realization of energy-saving technology of modern blast-furnace filling in short-term fuel-raw and technological conditions. *Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost*. 2014. No. 6. pp. 6–14.
12. von Stein Kallenfels E. New reliable method of reduction of “frozen” blast furnace. *Stal*. 2005. No. 10. pp. 28–31.