

УДК 669.162.261.3

А.М.Кузнецов¹, А.Г.Коваленко¹, А.В.Зубенко¹, В.В.Горупах²,
А.С.Нестеров², Н.М.Можаренко², Ю.С.Семенов²

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ЗАДУВОК ДОМЕННЫХ ПЕЧЕЙ ПОСЛЕ ОСТАНОВОК РАЗЛИЧНОЙ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ

¹ ПАО «Енакиевский металлургический завод»

² Институт черной металлургии им. З.И. Некрасова НАН Украины

Представлены особенности задувок доменных печей после остановок различной продолжительности и различным характере стоянки. Сформулированы основные положения регламента задувок. Обобщен опыт задувок доменных печей ПАО «Енакиевский металлургический завод» после длительной остановки без выпуска козлового чугуна. Показана возможность сохранения огнеупорной футеровки, конструкций и оборудования доменной печи после длительной остановки.

Ключевые слова: доменная печь, длительная остановка, задувка печи, футеровка

Современное состояние вопроса. Остановка доменных печей (ДП) ответственное и неэкономичное мероприятие, которого, по возможности, стараются избегать. Остановки печей осуществляют преимущественно для проведения капитальных ремонтов, которые по объему выполняемых работ делятся на ремонты I, II и III-го 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 доменной печи).

В соответствии с видом стоянки выбираются режимы загрузки и задувки доменных печей, регламентируемые технологическими инструкциями. Задувки после капитального строительства можно отнести к задувкам после холодной стоянки с рядом особенностей. Задувка доменных печей после стоянок в течении 5–10 суток хорошо изучена и не представляет сложностей для персонала доменного цеха, так же отработано большое количество способов таких задувок позволяющих выводить доменные печи на нормальный режим работы уже через 36–48 часов при форсированной раздувке [1-3]. Затруднения вновь построенных печей и выдутых на консервацию или капитальный ремонт

1-го разряда связаны с настройкой и пуском механизмов, проведения промышленных испытаний и наладкой нового оборудования.

При задувке доменных печей после холодной или горячей стоянки придерживаются основных технологических положений:

1. Обеспечение на начальном этапе прогрева горновыми газами нижней и центральной части доменной печи 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 нагрева-плавления в горн доменной печи, для исключения «закозления» и обеспечения умеренного прогрева футеровки по высоте ДП во избежание «теплового удара».

3. Увеличение порозности шихты по высоте доменной печи 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 доменных печей после холодной или горячей стоянки с полной выдувкой шихты задувочные шихты располагают по следующему принципу: 0 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» метало-шлаковые составляющие шихты с постепенным увеличением рудной нагрузки к колошнику доменной печи, обеспечивающие прогрев чугуна с содержанием в нем кремния 2,5–3,0 % 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 часов должны обеспечивать теоретическую температуру горения на уровне 1800–

2000°C, что создает условия для ускоренной аккумуляции тепла в нижней (горн) и средней (запечники, распар) областях по высоте печи. При условии достижения устойчивого схода шихтовых материалов и нормальной работы фурм, через них через 8 часов с момента задувки печи, производится подача природного газа, при этом теоретическая температура горения снижается до уровня 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 часов. После первого или второго выпуска и при условии устойчивого температурно-теплого 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

Основные исходные данные для расчета задувочной шихты и выбора дутьевого режима для «традиционной» задувки приведены в табл. 1.

Пуск доменных печей после «условно горячей» стоянки порядка 30 суток или после торкретирования шахты печи с большим процентом отскока без выгребки материалов из горна и выпуска козлового чугуна представляет большую сложность и требует обследования 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, 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 доменных печей, устранение которых приводит к увеличению времени вывода печи на нормальный технологический режим, потерям производства и снижению дальнейшей эксплуатационной надежности доменных печей. В настоящее время общепринятыми требованиями при задувке печей после продолжительной условно-горячей стоянки и ремонта с торкретированием шахты являются – секторная задувка на уменьшенном количестве воздушных фурм и пониженный темп наращивания газодутьевых параметров.

Таблица 1 – Исходные данные для выбора задувочной шихты и дутьевого режима при задувке доменный печей [4].

п/п №	Параметр	Рекомендации для расчета задувочной шихты и выбора дутьевого режима
1.	Шихтовые материалы	Кокс, агломерат задувочный и текущего производства, железная руда, конвертерный шлак, шлаковый щебень, известняк
2.	Рудная нагрузка на весь объем задувочной шихты, т/т	0,60–0,75
3.	Рудная нагрузка в верхней железорудной шихте, т/т	2,2–2,8
4.	Состав чугуна, %: [Si]; [S]; [Mn], [P]	3,0–3,5 до 0,05 не задаются*)
5.	Основность шлака I (CaO/SiO ₂)	0,95–1,10
6.	Количество шлака, кг/т чугуна	750–1000
7.	Подготовка горна	На лещади формируют защитный слой, в условиях Украины чаще всего загружают щебенку или шлакопемзу слоем 350–400 мм или оставляют часть материала на лещади при неполной выгребке материалов; в условиях наличия в регионе дешевого леса или железнодорожных шпал, защиту лещади, горна и фурм выкладывают этими материалами; в летки устанавливают трубы с перфорацией диаметром 80–120 мм и держат их открытыми до появления жидкого расплава.
8.	Воздушные фурмы	Печь обычно задувают на все воздушные фурмы рабочего диаметра. При медленном темпе раздувки с расходом дутья 0,4–0,5 ед. объема печи в минуту ее останавливают через 12 часов на закрытие 15–25 % фурм. При более интенсивном темпе раздувки, в зависимости от принятой степени форсировки, печь останавливают на закрытие воздушных фурм через сутки
9.	Скорость истечения дутья, м/с	Не менее 150, необходимо принять все меры для достижения скорости истечения дутья 175 м/с и более
10.	Температура дутья, °С	При задувке 700–750°С, после зажигания кокса снизить до 450–550°С, затем медленно повышается согласно принятому графику раздувки.

п/п №	Параметр	Рекомендации для расчета задувочной шихты и выбора дутьевого режима
11.	Расход дутья, ед. объема печи в минуту	Начальный расход дутья 0,5–0,6. К концу первых суток раздувки печи расход дутья должен достигать 0,9–1,0. Расход дутья необходимо увеличивать с опережением в сравнении с температурой дутья
12.	Подача природного газа	Для условий Украины не ранее чем через 12 часов после задувки. Обычно подача природного газа осуществляется после первого выпуска
13.	Теоретическая температура горения, °С	До первого выпуска 1800–2000 °С. Регулируется параметрами комбинированного дутья

^{*)} – современные положения задувок регламентируют содержание [Мп] в чугуна

Нормативными документами и технологическими инструкциями предприятий допускается остановка с частичной выдувкой на срок не более 45 суток при удовлетворительном техническом состоянии печи. В случае остановки на срок более 45 суток печь должна быть полностью выдута с выпуском верхнего «козлового» чугуна и выгребкой шихты [4]. В редких случаях, под влиянием форс-мажорных факторов, проводят аварийную остановку и консервацию доменных печей, длительность которой может превысить нормативно допустимую. При значительной продолжительности стоянки доменной печи (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 [5]. Большинство известных случаев сохранения чугуна «мертвого слоя» в жидком текучем состоянии относятся к доменным печам малого объема начала-середины прошлого столетия, в которых применялся отличающийся коренным образом от современных печей концептуальный подход к системам охлаждения и футеровке. Современные доменные печи 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 доменных печей, 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 создания значительного внутреннего давления, в том числе и на стенки горна, и может привести к нарушению сплошности ограждения доменной печи. На процесс термического расширения «козлового» чугуна влияют многие факторы – распределение температур

по его высоте и радиусу, изменение химического состава чугуна и его механических свойств (модуля упругости), фазовые превращения – α - γ переход 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 доменной печи. Исходя из этого необходимо создать условия для максимального подвода тепла к периферийной части одного сектора по окружности [6], который, при переходе в нем чугуна в вязко-пластичное 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 наибольший разгар горна и скопление продуктов плавки располагается 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 количеством 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.

Изложение основных материалов исследований. Возникшие форс-мажорные обстоятельства, повлекшие за собой практически полное прекращение поставок сырья и энергоресурсов в июле-августе 2014 г. на ПАО «Енакиевский металлургический завод» (ЕМЗ), привели к экстренной незапланированной остановке доменных печей цеха. В итоге, длительность стоянки доменных печей значительно превысила нормативно допустимую продолжительность в 45 суток практически в два раза. Последующий положительный опыт задувки доменных печей специалистами доменного цеха, технического управления ПАО «ЕМЗ» при участии специалистов ИЧМ позволил обобщить эти результаты и на их основе сформулировать основные технологические положения задувки после стоянок превышающих 45 суток без выпуска козлового чугуна и выгребки материалов. Практическое использование этих технологических положений при задувке печей после вынужденных продолжительных стоянок позволило избежать критических уровней распирающих напряжений. Измеряемые в процессе задувок печей напряжения в кожухе, возникающие при термическом расширении остывших материалов не превысили критических значений приводящих к разрыву брони.

Доменная печь №5 была остановлена на длительную стоянку в режиме горячей консервации с выдувкой ее до уровня заплечиков без

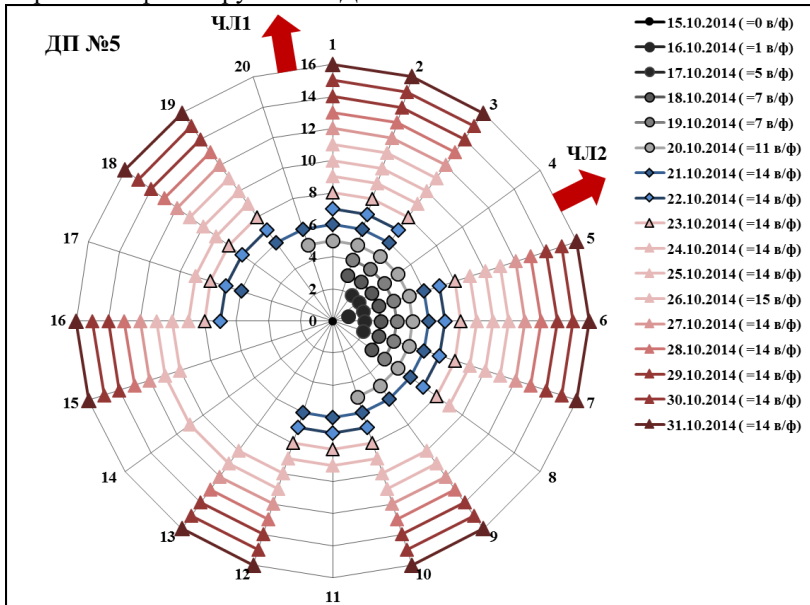
выдачи «козлового чугуна» и выгребки материалов из горна в первой смене 28.07.2014 г., а в третьей смене 15.08.2014 г. была выдута на горячую консервацию ДП №3. В октябре–ноябре 2014 г. после улучшения сложившейся ситуации с поставками сырья было принято решение о задувке доменных печей цеха, 16.10.2014 г. началась задувка ДП №5 после стоянки **80** полных суток, 10.11.2014 г. задули ДП №3 после стоянки **87** суток.

Выбор шихтовых материалов задувочной шихты. Для формирования задувочной шихты были использованы традиционные для задувки компоненты шихты ПАО «ЕМЗ»: кокс (преимущественно АКХЗ), 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, а именно низкой, в сравнении с 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. Так же, на подготовительном и начальном этапе задувки печей, 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.

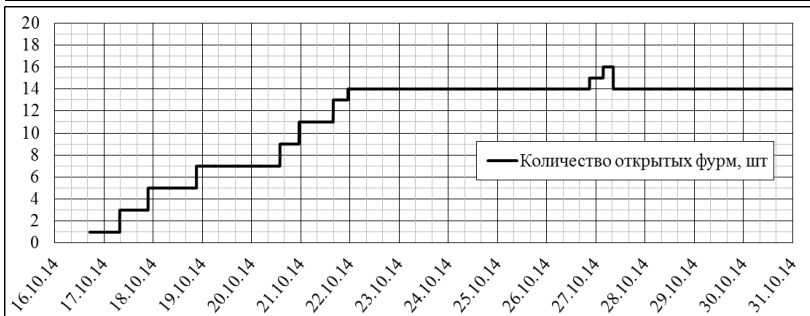
Рациональная загрузка шихты в рабочее пространство доменной печи. Программы загрузки в задувочный и раздувочный периоды выбирались с целью уменьшить рудную нагрузку на периферии доменных печей при разгруженном центре. Такой подход был выбран ввиду необходимости поддержания постоянного схода шихты для 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 использовалась традиционная для конусных загрузочных устройств система загрузки. На ДП №3 при загрузке задувочной шихты и на протяжении всего раздувочного периода использовались, рекомендованные ИЧМ программы загрузки, на начальном этапе раздувки использовалась программа загрузки, характеризующаяся уменьшенной рудной нагрузкой в периферийной зоне доменной печи для обеспечения умеренно развитого периферийного газораспределения.

Динамика открытия воздушных фурм по окружности доменных печей. Задувка ДП №5 началась 16.10.2014 г. в третьей смене на одну

воздушную фурму (в/ф) №5, 17.10.2014 г. в 07:10 и в 21:00 по две соседние фурмы, через сутки еще 2 шт., таким образом во вторые сутки от начала задувки было открыто 5 в/ф (25 %). Через сутки работы открыли еще две в/ф и продолжали задувку на 7 фурмах (30 %) на протяжении 1,5 суток (рис. 1) При достижении стабильного появления значительных масс чугуна на летках в течение следующих трех суток увеличили динамику открытия воздушных фурм (до достижения 70 % от общего количества) и перезакрытие их для перехода от секторной задувки к равномерному открытию в/ф по окружности ДП №5.



а)



б)

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

Задувка ДП №3 началась с открытыми в/ф 19-20, расположенными в секторе чугунной летки №2 (рис.2). Работа с малым количеством

открытых воздушных фурм длилась 5 суток, затем динамика открытия в/ф составила порядка 2 шт. в 12 часов. Открытие фурм проводилось равномерно относительно оси чугунной летки №2 в раздувочном секторе, затем, по истечению 7 суток от начала задувки, с небольшим смещением в сторону чугунной летки №1 (рис. 2а). После достижения 75 % открытых воздушных фурм, на 10-е сутки от начала задувки было проведено их перезакрытие и переход к более равномерному расположению отрытых и закрытых в/ф по окружности доменной печи, количество открытых фурм, при этом, было уменьшено до 16 шт.

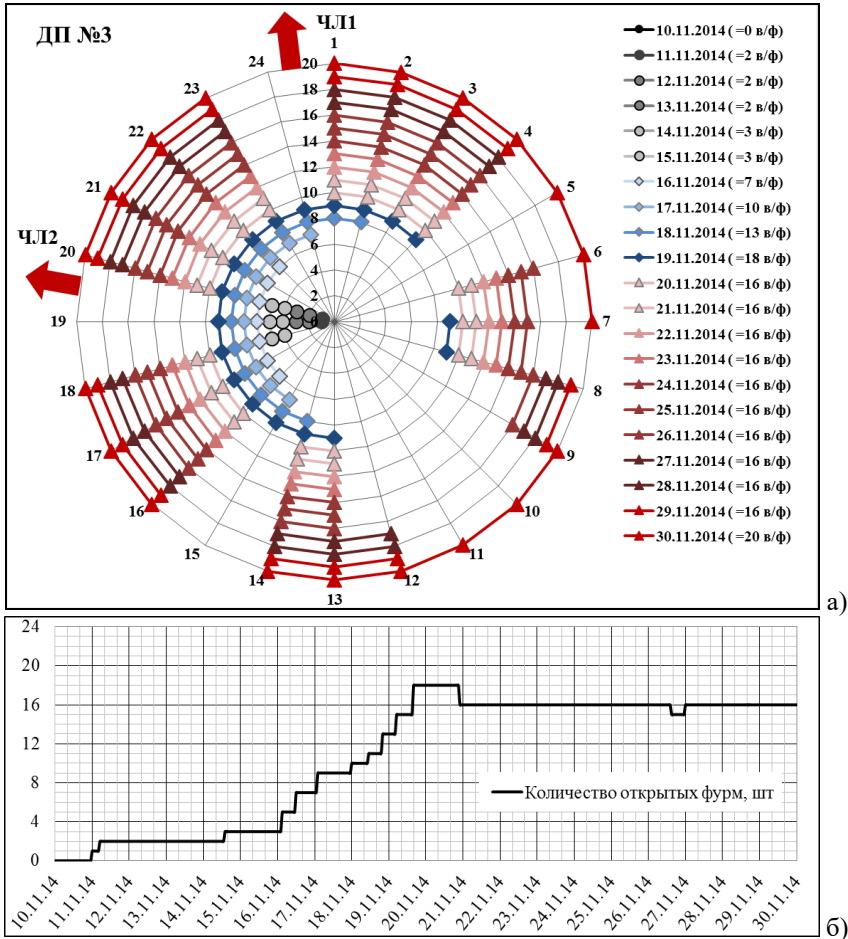


Рис.2. Схема расположения (а) и динамики открытия воздушных фурм (б) по окружности печи в период задувки и раздувки ДП №3.

Как видно из представленных схем, динамика открытия воздушных фурм на ДП №5 была интенсивнее, чем на ДП №3. Это было связано прежде всего с ограничениями поставок доменного сырья в период раздувок и невозможностью обеспечения бесперебойной работы всех доменных печей цеха. Такая ситуация негативно сказалась на продолжительности дальнейшего периода раздувки и выводе печей на рабочие параметры работы.

Газо-дутьевые параметры в период задувки и раздувки доменных печей. Практикой установлено, что превышение критических значений внутреннего напряжения металлических конструкций и разрывы брони при задувке «замороженных» доменных печей происходят, в основном, на 10–15 сутки от начала задувки. При этом рост термических напряжений в системах ограждения начинается значительно раньше. Поэтому выбранный регламент работы в начале задувочного периода предусматривал сдержанный темп наращивания газо-дутьевых и теплоэнергетических параметров, для ослабления влияния термических расширений и их деконцентрации в нижней зоне доменной печи. Для предотвращения ухудшенного дренажа из-за уменьшения скорости прогрева в нижней части печи и возможного прихода недостаточно нагретых продуктов плавки (в основном золы кокса, в отсутствии 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 воздушных фурм до начала задувки. Это было достигнуто путем установки в чугунную летку труб, через которые подавался природный газ и воздух для его горения.

Как было сказано ранее, ограничения поставок сырья ограничили необходимый уровень рабочих параметров после задувочного периода на ДП №5 и увеличили продолжительность вывода ДП №3 на рабочие параметры. Динамика изменения основных газодинамических параметров представлена на рис.3а и 3б.

Раздувка на малом количестве открытых воздушных фурм на ДП №5 и ДП №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 (рис.3а), началось постепенное наращивание расхода дутья и соответственного открытия в/ф. 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 суток. 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 в 2000 °С на ДП №5 в первые сутки работы (рис.4). В процессе раздувки ДП №3 теоретическая температура горения плавно увеличивалась до

1900 °С в первые двое суток, затем ее рост замедлился до ~50 °С/сутки и достигла значения 2000 °С после пяти суток от начала задувки печи. Дальнейшее ее увеличение при начале форсирования задувки печи компенсировалось подачей природного газа на воздушные фурмы (рис.4 и 5).

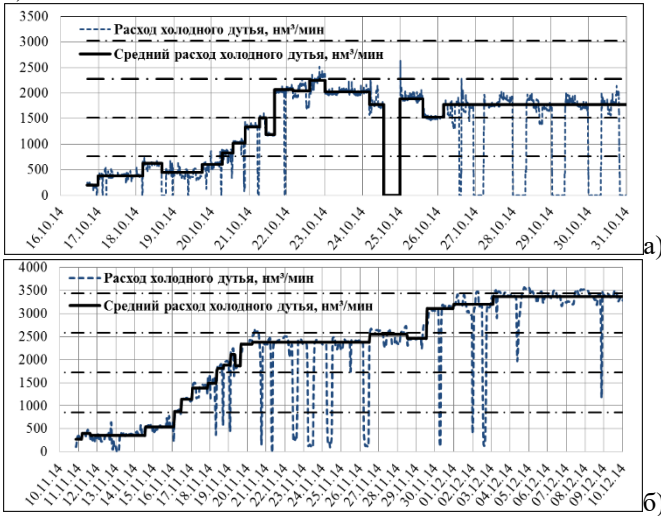


Рис.3а. Расход холодного дутья в период задувки и раздувки после длительной стоянки ДП №5 (а) и ДП №3 (б).

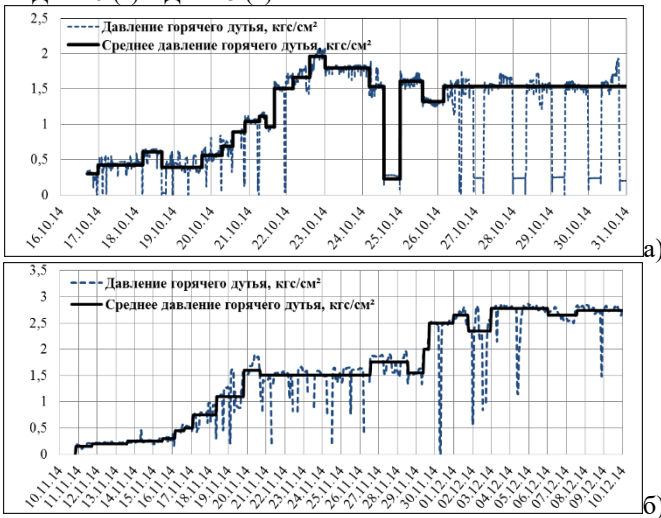


Рис.3б. Давление горячего дутья в период задувки и раздувки после длительной стоянки ДП №5 (а) и ДП №3 (б).

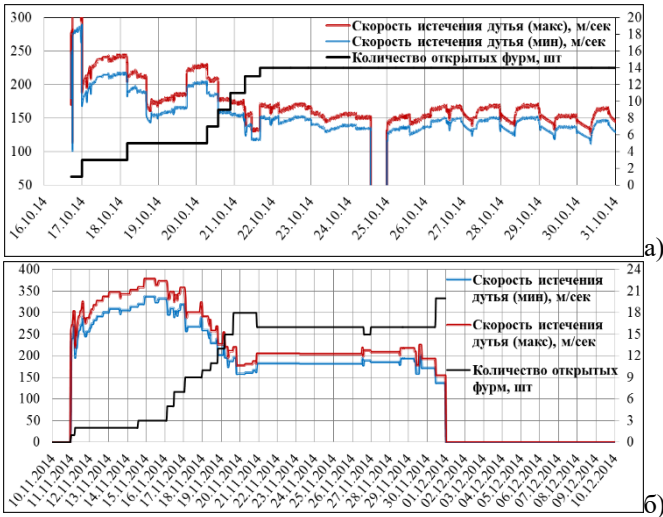


Рис.4а. Скорость истечения дутья из воздушных фурм в период задувки и раздувки после длительной стоянки ДП №5 (а) и ДП №3 (б).

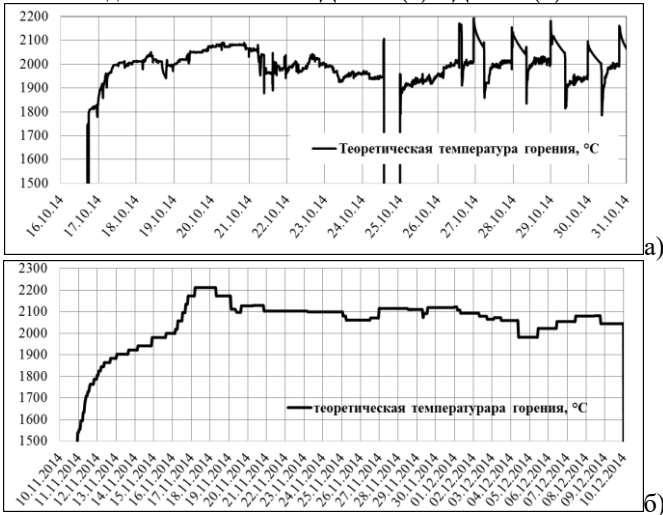


Рис.4б. Теоретическая температура горения в период задувки и раздувки после длительной стоянки ДП №5 (а) и ДП №3 (б).

Скорость истечения дутья из в/ф в начале задувки доменных печей обеспечивалась за счет малого количества открытых фурм в сочетании с пониженным расходом холодного дутья. На ДП №5 в начальном периоде скорость истечения дутья составляла ≈ 200 м/с и по мере открытия в/ф уменьшилась до 150 м/с (рис.4а и 4б). На ДП №3 скорость истечения

дутья на начальном этапе увеличивалась от 250 до 350 м/с, затем по мере открытия в/ф и форсирования задувки уменьшилась до ~200 м/с.

Совместно с началом увеличения расхода дутья, доменные печи были подключены к заводским системам доменного газа в третьи и седьмые сутки от начала задувки для ДП №5 и ДП №3, соответственно, еще через сутки на фурмы был подан природный газ. На данном этапе начало формироваться газораспределение в столбе шихты и соответствующий общий и частные перепады давлений на доменных печах (рис.5а–в). Верхний перепад давлений на ДП №3 начал формироваться на четвертые сутки от начала задувки печи и к седьмым суткам достиг ~0,17–0,19 кгс/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 кгс/см².

Скорость увеличения температуры колошникового газа в период раздувки печей 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 (рис.6а, бб и 7). Малая скорость истечения дутья из в/ф при подаче через них природного газа, наряду с общим увеличением сопротивления 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 (рис. 6а и бб).

После начала схода шихты при загрузке ДП №5 в раздувочный период, в качестве железорудной шихты применялся агломерат местной аглофабрики с пониженной, относительно обычной, основностью, а в качестве флюсующего и шлакообразующего материала – гранулированный шлак. После первой недели раздувки, в ЖРЧ шихты начали вводить окатыши в количестве до 20 % и шлак конвертерного производства в качестве флюса. На ДП №5 использовалась традиционная в таких случаях система загрузки $KPPK \downarrow 3,5 \rightarrow \downarrow 1,7$ м. Материалы задувочной шихты и загружаемые в течение первых 7-ми дней обеспечили выход шлака более 1 т/т чугуна. Как видно из рис. 7а ДП №5 уже на вторые сутки начала брать до 20 подач в смену при рудной нагрузке ~ 1,2 т/т. После повышения давления дутья под колошником сход шихты в третьи-четвертые сутки немного замедлился, после чего интенсивность подач начала расти на ~ 12 подач/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 ≈ 3,2–3,4 т/т.

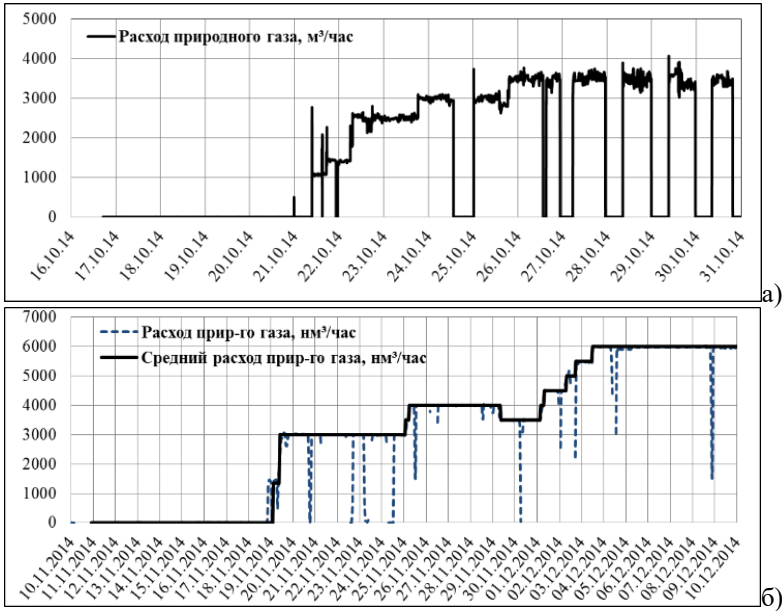


Рис. 5а. Расход природного газа в период задувки ДП №5 (а) и ДП №3 (б).

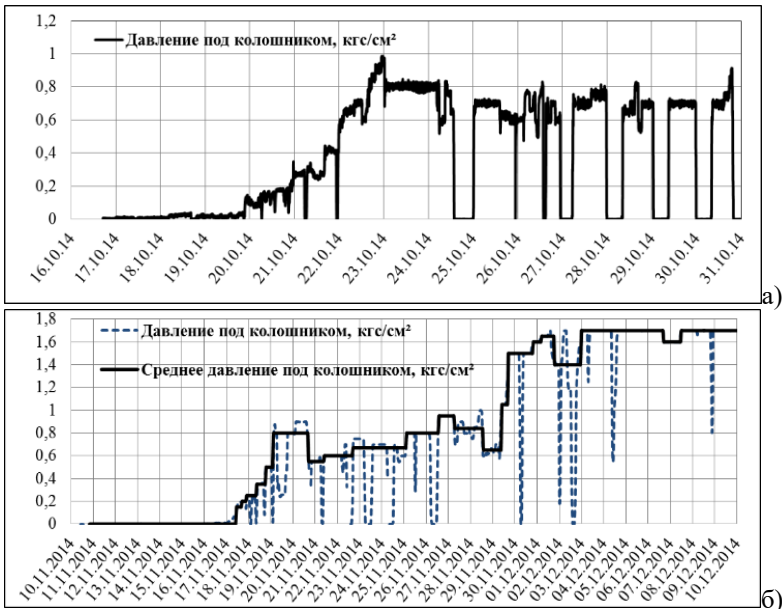


Рис. 5б. Давление под колошником в период задувки ДП №5 (а) и ДП №3 (б).

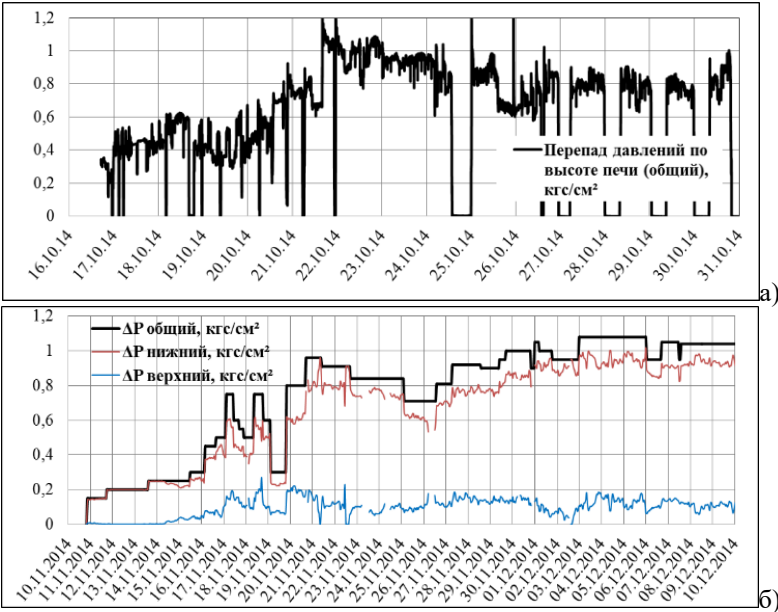


Рис.5в. Перепады давлений в период задувки ДП №5 (а) и ДП №3 (б).

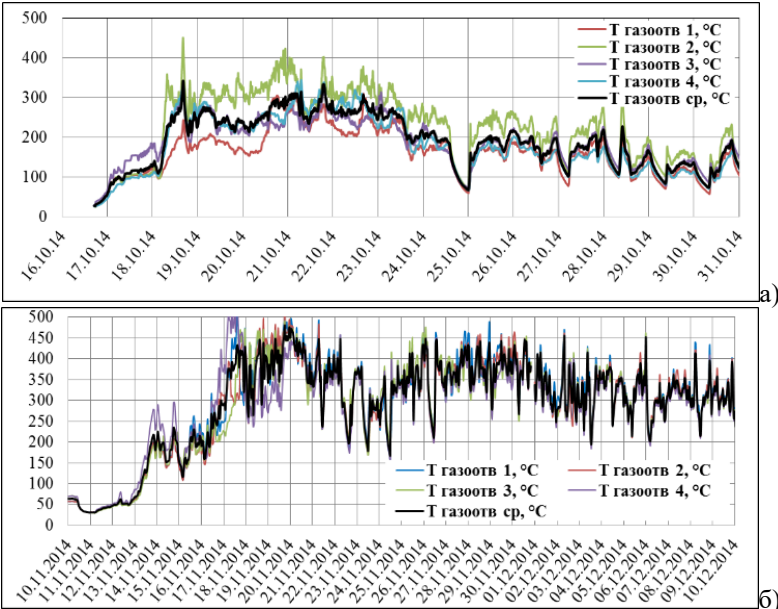


Рис.6а. Изменение температуры колошникового газа (в газотоудах) в период задувки и раздувки после длительной стоянки ДП №5 (а) и ДП №3 (б).

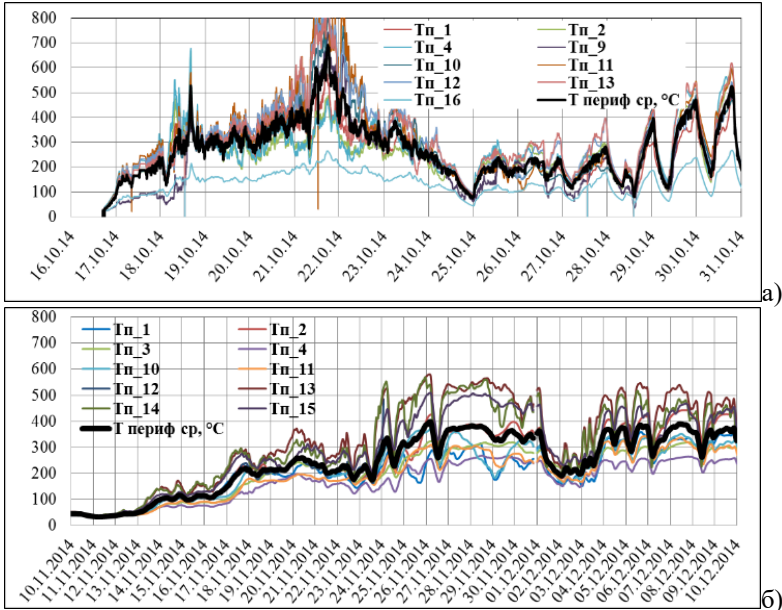


Рис.66. Изменение температуры периферийных газов в период задувки и раздувки после длительной стоянки ДП №5 (а) и ДП №3 (б).

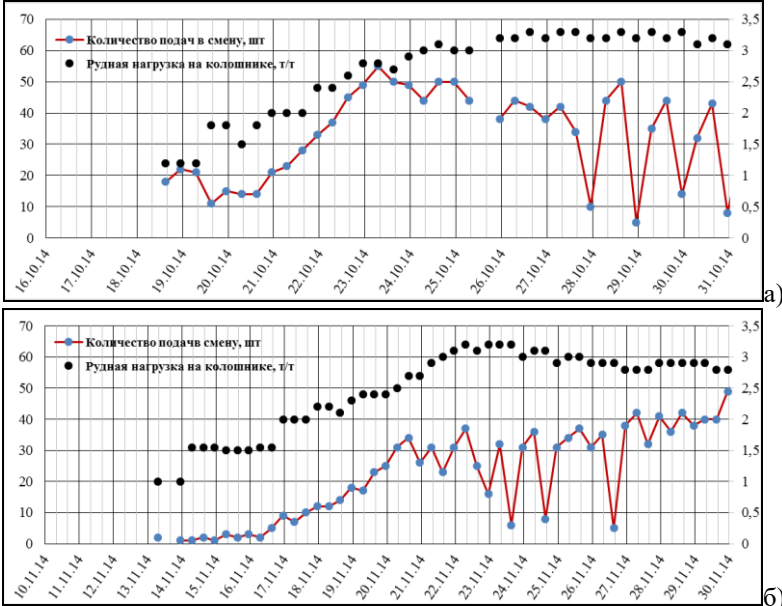


Рис.7 – Изменение рудной нагрузки и количества подач в смену в период раздувки ДП №5 (а) и ДП №3 (б) после длительной стоянки.

В начальном периоде раздувки ДП №3 ЖРЧ шихты составляли окатыши СевГОКа и агломерат местного производства основностью 1,11–1,33 ед в соотношении 50/50÷70/30 %. В качестве флюса и шлакообразующей составляющей использовался гранулированный доменный шлак в небольшом количестве, в последующем – шлак конвертерного производства. На протяжении начального этапа раздувочного периода использовалась предложенная ИЧМ программа загрузки, характеризующаяся уменьшенной, по сравнению с базовой программой, рудной нагрузкой в периферийной зоне доменной печи для обеспечения умеренно развитого периферийного газораспределения. В конце ноября 2014 г. в составе шихты использовалось более 50% окатышей в смеси с агломератом, для минимизации концентрации окатышей в пристеночной и центральной зонах печи была использована, рекомендованная ИЧМ программа загрузки. Распределение рудных нагрузок по радиусу печи для 3-х используемых вариантов программы загрузки раздувочного периода представлено на рис.8. Для сопоставимости трех используемых вариантов программы загрузки, на рис.8 принята одинаковая средняя рудная нагрузка.

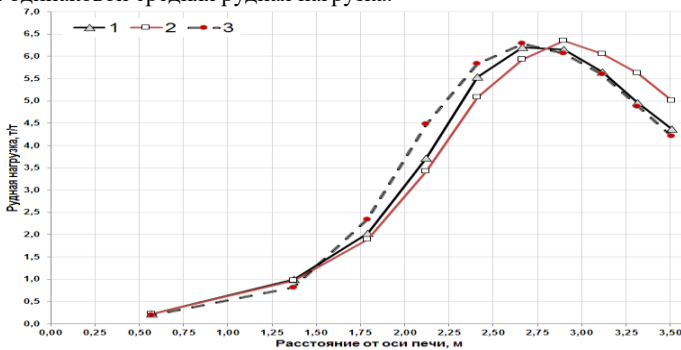


Рис.8 – Распределение рудных нагрузок для 3-х вариантов используемых программ загрузки: 1 – с «разгруженной» периферией, 2 – рабочей (базовой) и 3 – с увеличенной долей окатышей.

Ввиду пониженной интенсивности задувки, наращивание газодутьевых параметров загрузка в первую неделю от начала задувки осуществлялось по мере опускания шихты, интенсивность плавки составляла 2–3 подачи в смену (рис. 76). В последующие 5 суток, по мере интенсификации процессов, прирост составлял порядка 9 подач в смену и на протяжении 10–15 суток от начала задувки достиг в среднем 35 подач/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 ~ 3,2 т/т на 12-е сутки от задувки печи, прирост рудной нагрузки составил $\approx 0,25$ т/т в сутки (рис. 76).

Состав продуктов плавки в период задувки доменных печей. На ДП №5 18.10.2014 г. (через ~30 часов от начала задувки) выдали первые выпуска шлака, три в первой смене и три в последующие две смены 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, хим. состав первого чугуна следующий: [Si]=3,01 %, [Mn]=0,33 %, [S]=0,3 % [C]=2,53 %, [Ti]=0,12 %. 20.10.2014 г. был слит первый чугун в чугуновозный ковш. Среднесуточные данные хим. анализов продуктов плавки приведены в табл. 2.

Таблица 2 – Среднесуточный состав продуктов плавки на ДП №5 ПАО «ЕМЗ» в период задувки после длительной стоянки

Дата	[C]	[Si]	[Mn]	[S]	[P]	Выход чугуна, т/сут	Выход шлака, т/сут	Выход шлака, кг/т
16–17.10.2014	–	–	–	–	–	0	0	–
18.10.2014	–	–	–	–	–	1-канавка	202	–
19.10.2014	3,35	5,18	0,42	0,18	0,27	2-канавка	251	–
20.10.2014	3,07	5,77	0,72	0,104	0,212	3-канавка +30 т	203	2256
21.10.2014	3,38	5,23	0,60	0,112	0,166	211	247	1173
22.10.2014	3,69	4,58	0,60	0,059	0,140	799	459	784
23.10.2014	4,10	2,50	0,83	0,069	0,134	1097	538	1185
24.10.2014	4,24	1,83	0,74	0,045	0,129	1576	582	490
25.10.2014	4,27	1,56	0,63	0,046	0,087	831	256	308
26.10.2014	4,06	0,91	0,59	0,046	0,154	1768	644	364
27.10.2014	4,37	1,23	0,69	0,026	0,086	1000	246	246
28.10.2014	4,36	1,26	0,67	0,030	0,084	1270	361	284
29.10.2014	4,31	1,16	0,57	0,034	0,086	1081	311	288
30.10.2014	4,31	1,44	0,43	0,033	0,059	1034	362	350
31.10.2014	4,43	1,29	0,56	0,030	0,096	804	294	365
01.11.2014	4,27	1,27	0,86	0,032	0,078	940	320	340
02.11.2014	4,27	1,27	0,86	0,032	0,078	940	320	340
03.11.2014	3,73	1,19	0,55	0,106	0,094	1052	425	404
04.11.2014	3,84	0,66	0,69	0,076	0,131	1120	411	367
05.11.2014	3,95	1,20	0,63	0,061	0,094	1710	496	290

Ввиду неясной обстановки и перебоев с поставками сырья, во избежание неподготовленных остановок, доменные печи 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 часов от начала задувки) в третьей смене 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 хим. составы продуктов плавки в последующем периоде близки к ДП №5.

На ДП №3 в раздувочном периоде первый чугун был химически достаточно прогрет, содержание [Si] в первые трое суток на обеих печах

выдерживалось более 5 %, затем 2–3 суток содержание кремния составляло свыше 2 %. В дальнейшем для поддержания повышенного теплового состояния доменных печей содержание кремния в чугуне выдерживали на уровне 1,0–1,25 %.

С начала декабря ситуация с поставками сырья и отгрузкой продукции на ПАО «ЕМЗ» стабилизировалась и печи начали увеличивать производство, содержание кремния при этом на доменных печах снизилось до ~ 0,65 %.

Таким образом, на основании положительного опыта задувки доменных печей ПАО «ЕМЗ» после длительной сверх нормативной 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 не высокой основности (например, доменный шлак 50–100 %, плавиковый шпат в первых шихтах), в том числе, предусмотреть возможность подачи легкоплавких материалов через воздушные фурмы.

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

4. Невысокий темп наращивания газодутьевых параметров (расход 1 м³ дутья/м³ объема на 5–7 сутки и достижении 1,6–1,8 м³ дутья/м³ объема на протяжении последующих двух недель).

5. Невысокий темп 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 (1,0–1,5–2,0 т/т, обеспечивающая содержание [Si]~5,0 % в первые трое суток, переход на литейный чугун в следующие 2–4 суток).

Закключение. Мероприятия, выполненные перед и в процессе задувок доменных печей ПАО «Енакиевский металлургический завод» 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 могут быть внесены дополнением в технологическую инструкцию по доменному производству.

1. *Г.Г. Васюра* Регулирование теплового состояния доменной печи в период раздувки. // *Металлург*, 2002. – №5. – С. 40-42.
2. *Охлаждение* и нагрев коксовых насадок при выдувках и задувках доменных печей / Н.С.Иноземцев, Г.В.Коршиков, В.В.Капорулин и др. // *Современная металлургия начала нового тысячелетия*. Сб. науч. трудов. Часть 1. – Липецк: ЛГТУ, 2005 – С. 56–60.
3. *Раздувка* доменной печи с применением азота / А.С. Янковский, М.Ф. Марьясов, А. В. Польщиков и др. // *Металлург*, 1988. – № 11. – С. 29.
4. *Разработка* показателей надежности и технологических основ выбора решений по управлению, обеспечивающих безопасность и технологическую устойчивость доменных печей. – Днепропетровск: Отчет НИР ТО.066.09 – 2009 г.
5. *Типовая* технологическая инструкция «По длительной внеплановой остановке и консервации доменных печей». – Днепропетровск. – 1993 г.
6. *Особенности* задувки доменной печи после длительной остановки без выпуска козлового чугуна и заливки печи водой / Б.Ф.Чернобриец, М.А.Альтер, В.Л.Емельянов, В.В.Капорулин. // *Металлург*, 1995. – № 10. – С.20-21.
7. *Эван Стейн Калленфельс* Новый надежный метод восстановления «замороженной» доменной печи. // *Сталь*, 2005. – № 10. – С. 28-31.

*Статья рекомендована к печати
канд.техн.наук Л.Г.Тубольцевым*