

**Большаков В.И. /д.т.н./, Семенов Ю.С. /к.т.н./,  
Шумельчик Е.И., Горупаха В.В. <sup>\*)</sup>,  
Институт черной металлургии им. З.И. Некрасова НАН Украины (ИЧМ);  
Кузнецов А.М. /к.т.н./, Зубенко А.В.  
ПАО «Енакиевский металлургический завод» (ЕМЗ)**

**Освоение режимов загрузки доменной печи, оборудованной БЗУ, в  
условиях нестабильного качества шихтовых материалов.**

*Приведены основные результаты освоения программ загрузки на современной доменной печи №3 ПАО «Енакиевский металлургический завод», оборудованной современным бесконусным загрузочным устройством в условиях нестабильного качества шихтовых материалов. Ил. 5. Библиогр.: 6 назв.*

**Ключевые слова:** доменная печь, шихтовые материалы, загрузка, бесконусное загрузочное устройство, распределение шихты, термобалки

В октябре 2011 года после реконструкции была введена в эксплуатацию современная доменная печь (ДП) №3 ПАО «Енакиевский металлургический завод» (ЕМЗ) объемом 1719 м<sup>3</sup>, оборудованная бесконусным загрузочным устройством (БЗУ) фирмы «Paul Wurth». Выполненные сотрудниками ИЧМ совместно с представителями ПАО «ЕМЗ» предпусковые исследования позволили определить и после задувки печи реализовать режимы работы механизмов БЗУ, необходимые для эффективного применения используемых программ загрузки ДП [1].

Основной особенностью шихтовых условий 2012 года был переход во втором полугодии на высокоосновный горячий агломерат при практически одновременном ухудшении качества кокса. Первое полугодие ДП №3 работала на агломерате основностью по  $\text{CaO/SiO}_2=1,16-1,21$  ед. и с 24% окатышей в железорудной части шихты. Во втором полугодии было принято решение перейти на агломерат собственного производства основностью 1,81–2,22 ед. и температурой 300 °С, содержание окатышей в железорудной части шихты при этом составило 54%.

В 2012 г. на ДП №3 использовался кокс различного качества, оцениваемого по показателям горячей прочности (CSR) и реакционной способности (CRI). При этом, в первом полугодии использовался кокс двух видов, отличающихся значениями показателей CSR и CRI, а во втором полугодии – трех видов (табл. 1). Во втором полугодии качество кокса значительно ухудшилось – средневзвешенное значение показателя CSR уменьшилось, по сравнению с первым полугодием, от 51 % до 43 %, а средневзвешенное значение показателя CRI – увеличилось от 31 % до 39 % (табл. 1).

<sup>\*)</sup>В работе также принимали участие: от ИЧМ Наследов А. В.,  
от ПАО «ЕМЗ» Сапрыкин Н. М., Хайбулаев А. С.

Таблица 1 – Качество кокса, используемого на ДП №3 в 2012 г.

| январь-июнь 2012 г. |                   | июль-декабрь 2012 г. |                   |
|---------------------|-------------------|----------------------|-------------------|
| Содержание кокса, % | $\frac{CSR}{CRI}$ | Содержание кокса, %  | $\frac{CSR}{CRI}$ |
| 58                  | $\frac{55}{28}$   | 10                   | $\frac{52}{33}$   |
| 42                  | $\frac{46}{35}$   | 74                   | $\frac{43}{39}$   |
|                     |                   | 16                   | $\frac{38}{42}$   |

В 2012 году в условиях изменяющегося качества шихтовых материалов на ДП №3 было реализовано шесть основных вариантов программ загрузки, направленных на увеличение степени использования восстановительной способности газов. Распределения расчетных рудных нагрузок (РН) по радиусу колошника для используемых программ загрузки представлены на рис. 1. РН получены с помощью, разработанной в ИЧМ и адаптированной к условиям ДП №3 ПАО «ЕМЗ», модельной системы для поддержки принятия решений по выбору и корректировке программ загрузки [2].

В первом квартале 2012 года на ДП №3 по рекомендации ИЧМ использовались две программы загрузки. Первый вариант установленной программы загрузки, направленный на «раскрытие» периферийной зоны, был реализован на ДП 21.01.2012 г. «Раскрытие» периферийной зоны было обусловлено нестабильной работой воздуходувной машины в пуско-наладочном периоде – периодическими ее остановками, что сопровождалось оползаниями гарнисажа. После установки указанной программы загрузки температура периферийных газов увеличилась от 300 °С до 400 °С, в то же время, ход печи сопровождался более ровным сходом шихты.

В связи с отсутствием на ДП №3 автоматизированного отбора проб газов по радиусу печи качественным показателем распределения шихтовых материалов является температура колошникового газа по показаниям термобалок. Анализ показаний термобалок при использовании на печи программы загрузки, установленной 21.01.2012, показал, что ход печи в рассматриваемом периоде характеризовался развитым осевым газораспределением с незначительным увеличением температуры колошникового газа в пристеночной зоне. Распределение температур колошникового газа по показаниям двух стационарных термобалок представлено на рис. 2.

Необходимость дальнейшей корректировки программы загрузки, которая заключалась в увеличении массы железосодержащих материалов, выгружаемых из 10-го углового положения лотка (в периферийную зону печи), была обусловлена повышенной температурой периферийных газов, достигавшей за период 21.01–01.03.2012 446 °С, в среднем. Степень использования восстановительной способности газов ( $\eta_{CO}$ ) при этом составляла 45,4%, 15.03.2012 после изменения программы загрузки температура периферии уменьшилась до 356 °С ( $\eta_{CO}=45,9\%$ ).

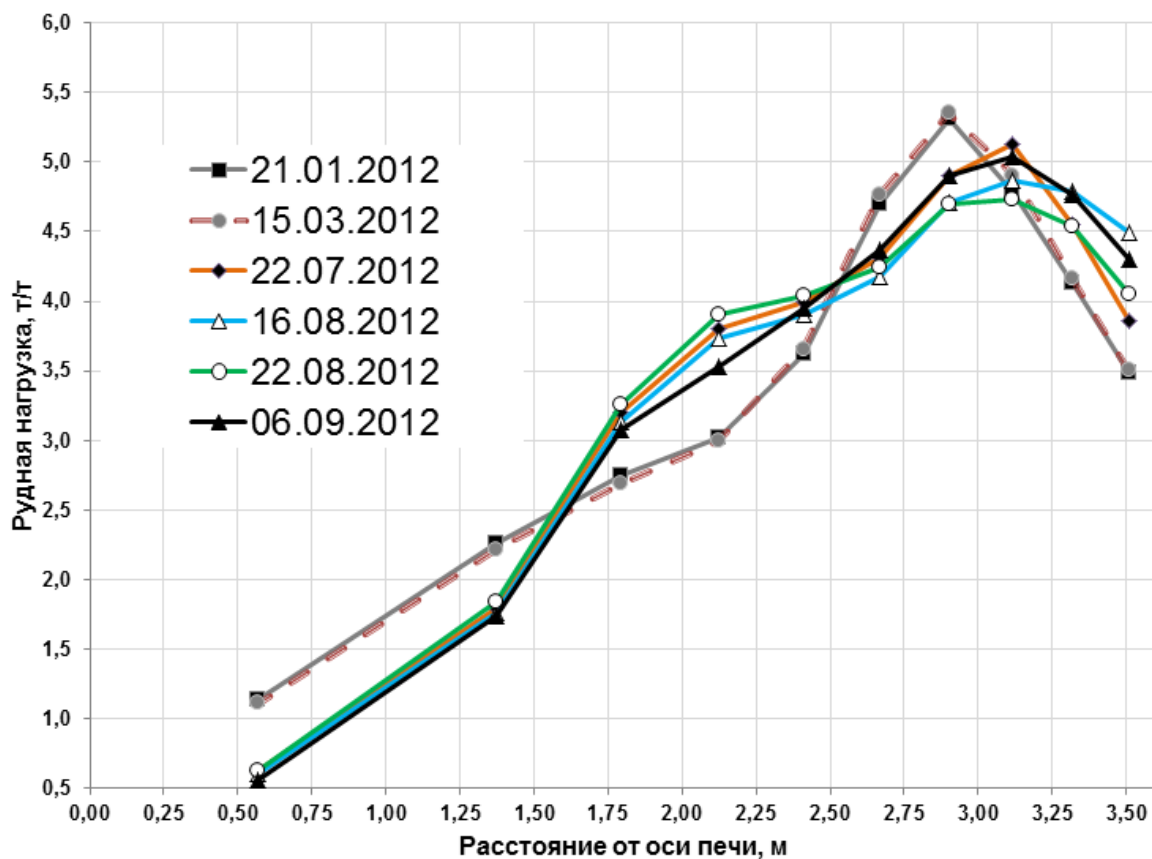
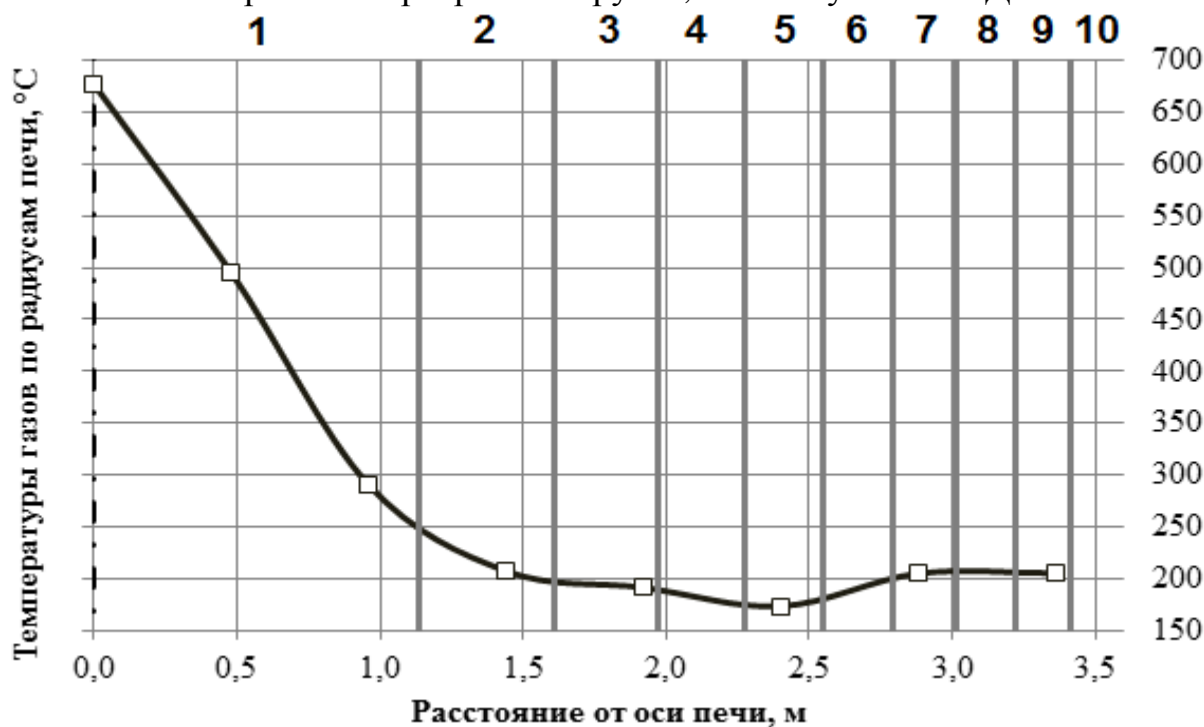


Рис. 1 – Расчетные распределения рудных нагрузок по радиусу колошника для шести вариантов программ загрузки, используемых на ДП №3 в 2012 г.



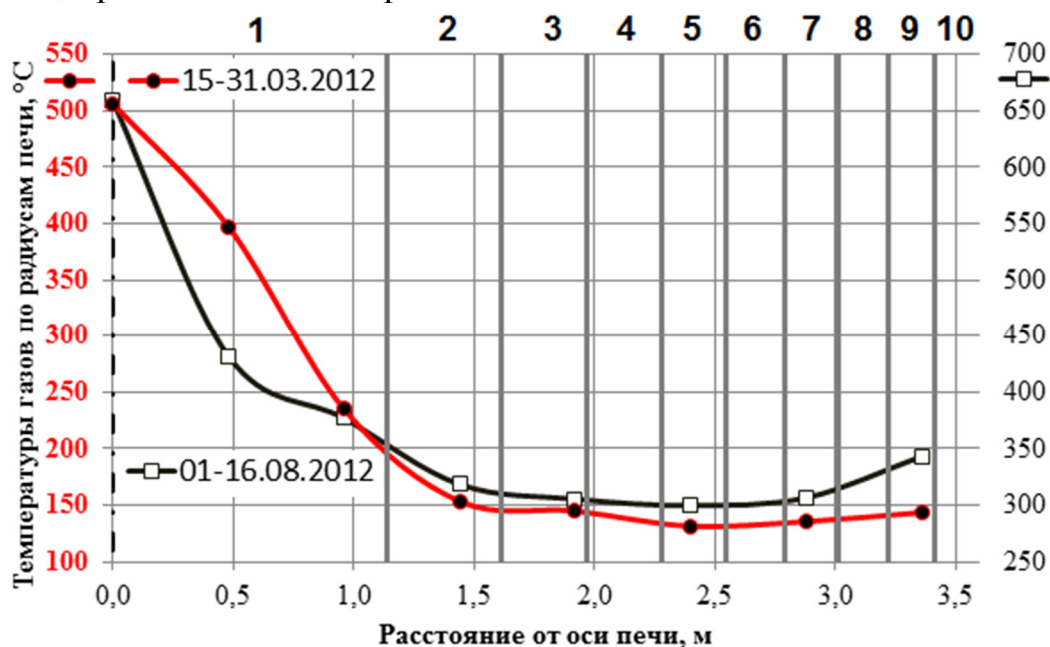
1...10 – равные по площади зоны колошника

Рис. 2 – Распределение температур колошниковога газа по радиусам колошника.

Для достижения высокой степени использования восстановительной способности газов распределение РН по радиусу колошника должно характеризоваться близкими их значениями в промежуточной зоне колошника (№3–№6 равные по площади зоны колошника) и превышать на 5–10% среднюю

РН в цикле загрузки [3, 4]. В условиях работы ДП с нестабильным качеством железорудных материалов, ухудшенным качеством кокса и с низкой интенсивностью плавки при расходе дутья меньше проектного, без обогащения кислородом, с таким распределением РН по радиусу колошника не всегда удается достичь высокой степени использования восстановительной способности газов.

Необходимость корректировки программы загрузки в конце июля 2012 г. была обусловлена полной заменой с 01.07.2012 привозного агломерата горячим высокоосновным агломератом местного производства и увеличением содержания в шихте окатышей, что привело к увеличению температуры периферийных газов от 490 °С до 600 °С и уменьшению степени использования восстановительной способности газов от 45 % до 42 %. Программа загрузки, реализованная 22.07.2012, была направлена на увеличение РН в периферийной зоне для уменьшения температуры периферийных газов путем уменьшения массы кокса, выгружаемого из 9-го углового положения в порциях №3, №7 и №11, а также на увеличение газопроницаемости осевой зоны путем дополнительной загрузки в нее кокса (порции №5 и №9). Этот вариант программы загрузки позволил за счет вывода из программы загрузки дополнительной 13-ой порции осевого кокса увеличить толщину слоев кокса при неизменной его массе в подаче. Установленная с 22.07.2012 программа загрузки направлена на обеспечение более узкой, по сравнению с ранее используемой программой загрузки, осевой зоны (рис. 1). Об этом свидетельствует распределение температур колошниковога газа после установки на ДП №3 программы загрузки с 15.03.2012 и после установки программы загрузки с 22.07.2012, представленное на рис. 3.



1...10 – равные по площади зоны колошника

Рис. 3 – Распределение температур колошниковога газа по радиусам колошника.

В связи с ухудшением качества кокса с 01.08.2012, характеризующимся уменьшением показателя CSR по всем поставщикам, увеличение температуры периферийных газов продолжилось и достигло величины 635 °С. Это послужило причиной последующей корректировки программы загрузки 16.08.2012 с

увеличением РН в периферийной зоне колошника (в 10-й и 9-й кольцевых зонах) от 4,63 т/т до 5,07 т/т, в среднем, путем увеличения количества железосодержащих материалов, выгружаемых из 10-го углового положения в каждой железорудной порции цикла загрузки. Реализованные изменения программы загрузки позволили уменьшить температуру периферийных газов до 488 °С.

Неудовлетворительное качество кокса и значительное содержание фракции «–5 мм» в скиповом агломерате (в отдельные периоды до 22%) приводили к частым «верхним подвисаниям», которые сопровождались увеличением верхнего перепада давления, что приводило к вынужденным осадкам печи. Помимо этого, неудовлетворительная работа низа печи по причине загромождения горна в условиях отсутствия промывочных материалов приводила к «нижним подвисаниям», сопровождающимся увеличением нижнего перепада давления. Указанные особенности послужили причиной «разгрузки» периферийной зоны печи 22.08.2012 путем уменьшения железосодержащих материалов, выгружаемых из 10-го углового положения на 7 % – от 19 % до 12 %, что привело к уменьшению РН в периферийной зоне от 5,07 т/т до 4,69 т/т в 10-й и 9-й кольцевых зонах колошника, в среднем.

В начале сентября 2012 г. качество агломерата несколько улучшилось – среднеквадратичное отклонение основности, по сравнению с предыдущими двумя месяцами, уменьшилось от  $\sigma(\text{CaO/SiO}_2)=0,32$  ед. до  $\sigma(\text{CaO/SiO}_2)=0,22$ . При этом, средняя основность составила 2,20 ед., по сравнению с 1,96 ед. в июле-августе, что привело к улучшению прочностных характеристик агломерата и, как следствие, к уменьшению количества фракции «–5 мм» в скиповом агломерате до 12 %. Улучшение качества агломерата способствовало стабилизации работы верхней зоны печи – отсутствию «верхних подвисаний», что позволило внести изменения в программу загрузки, направленные на дальнейшее уменьшение температуры периферийных газов. 06.09.2012 были реализованы следующие изменения программы загрузки: увеличено количество железосодержащих материалов, выгружаемых из 10-го углового положения в двух порциях цикла загрузки (№ 4 и № 10) на 2 % – с 17 % до 19 %, а также увеличено количество кокса, выгружаемого из 1-го и 2-го угловых положений с 50 % до 62 % в сумме. Помимо этого, в порциях кокса, выгружаемого из угловых положений лотка 9-4, на 2 % уменьшено количество кокса, выгружаемого из 9-го углового положения.

Как известно, одним из основных управляющих воздействий, направленных на регулирование распределения шихты по радиусу на печах, оборудованных конусными загрузочными устройствами, является изменение уровня засыпи. На доменных печах с современными АСУ, оборудованных БЗУ, это неактуально, поскольку при изменении уровня засыпи происходит изменение углов наклона лотка БЗУ в автоматическом режиме с соблюдением условия попадания центра потока шихты в центр, соответствующей угловому положению лотка, кольцевой зоны колошника [3]. Управление распределением шихтовых материалов по радиусу доменной печи, оборудованной БЗУ, должно осуществляться исключительно изменением программы загрузки. Результаты выполненных замеров перед пуском ДП №3 параметров движения потоков кокса и железосодержащих материалов позволили уточнить расчетные траектории

движения шихтовых материалов в рабочем пространстве печи и определить углы наклона лотка, обеспечивающие требуемый диапазон регулирования распределения шихтовых материалов на колошнике [1]. Расчетные значения углов наклона лотка, определенные на основании экспериментальных данных для различных значений уровня засыпи с шагом 0,1 м, были введены в соответствующие матрицы системы управления БЗУ ДП №3 и используются в настоящее время в автоматическом режиме [1].

Однако, следует обратить внимание на негативные особенности, свойственные распределению шихты БЗУ по радиусу печи при изменении уровня засыпи, которые заключается в следующем:

- увеличение ширины потока шихтовых материалов при понижении уровня засыпи нарушает направленную выгрузку в заданные кольцевые зоны колошника, так, для условий ДП №3 по результатам предпусковых исследований было определено, что при понижении уровня засыпи на 0,5 м ширина потока увеличивается, в среднем, на 7,4 %;

- искажение радиального распределения шихтовых материалов на уровнях засыпи ниже цилиндрической части колошника, связанное с особенностями перераспределения материалов по радиусу в шахте доменной печи;

- искажение потока шихты при его контакте с термобалками, что особенно актуально для условий ДП №3, где термобалки имеют прямоугольное поперечное сечение с шириной контактной стороны, составляющей 200 мм.

В настоящее время основным средством контроля уровня засыпи в ДП №3 является один электромеханический зонд. По достижении заданного уровня засыпи на печи зондом, поступает сигнал на БЗУ, разрешающий выгрузку шихтовых материалов, при этом для выбора заданных углов наклона лотка БЗУ принимается уровень засыпи, который измерен электромеханическим зондом перед его подъемом. Во время проведения предпусковых исследований на ДП №3 установлено, что при работе на низких уровнях засыпи (от 2,5 м и ниже) искажение потока шихтовых материалов термобалками приводит к образованию окружной неравномерности, характеризующейся участками поверхности с углублениями до 0,5 м [1]. По опыту освоения доменных печей, оборудованных БЗУ, в ИЧМ установлено ранее, что неравномерность окружного распределения шихты, составляющая 0,5 м и более искажает радиальное распределение материалов и показатели его оценки, что затрудняет организацию рационального взаимодействия шихты и газов [2]. На ДП №3 сектор печи, в котором осуществляется контроль уровня засыпи электромеханическим зондом, расположен в зоне влияния стационарных термобалок на поток шихтовых материалов и, следовательно, при использовании информации об уровне засыпи в образующемся углублении происходит искажение заданного радиального распределения шихты. Следовательно, актуальными мероприятиями в перспективе являются поддержание рабочего уровня засыпи в диапазоне 1,5–2,0 м и использование для управления загрузкой надежных радиолокационных уровнемеров, определяющих уровень засыпи шихты в периферийной зоне печи.

В сложившихся технологических и шихтовых условиях доменного цеха ПАО «ЕМЗ» в 2012 г. использование на ДП №3 бесконусного загрузочного устройства при опробовании программ загрузки в совокупности с

реализованными рекомендациями ИЧМ по формированию порций, распределению компонентов шихтовых материалов по радиусу печи, обеспечивающих стойкость футеровки, способствовало экономии кокса и повышению стабильности работы печи. Фактический расход кокса на ДП №3 за 2012 г. составил, в среднем, 470,4 кг/т.чуг., что на 13,0 кг/т.чуг. меньше по сравнению с ДП №5. При этом, следует отметить, что до ухудшения качества шихтовых материалов (январь-июнь 2012 г.) разница в фактическом расходе кокса между ДП №3 и ДП №5 составляла 17,5 кг/т.чуг., однако, в указанном периоде ДП №3 работала в несколько лучших условиях. Для приведения ДП №3 и ДП №5 к одинаковым условиям был выполнен расчет влияния технологических факторов на удельный расход кокса [5], который показал, что на ДП №3 приведенный расход кокса в первом полугодии 2012 г. составил на 14,7 кг/т.чуг. меньше, чем на ДП №5. При работе доменного цеха с шихтовыми материалами ухудшенного качества (июль-ноябрь 2012 г) ДП №3 и ДП №5 работали практически в одинаковых условиях, при этом фактический расход кокса во втором полугодии 2012 г. на ДП №3 составил на 7,5 кг/т.чуг. меньше, чем на ДП №5. Приведенные результаты сравнительной характеристики технико-экономических показателей ДП №3 и ДП №5 свидетельствуют об эффективности использования на ДП №3 бесконусного загрузочного устройства.

Работа ДП №3 в начале 2013 г. характеризовалась интенсивным горением фурм и увеличенным, по сравнению с 2012 г., расходом кокса по причине нестабильного низкого его качества. Сложившаяся ситуация обусловила необходимость изменения программы загрузки.

Особенностью предложенной для реализации на ДП №3 в 2013 г. программы загрузки является уменьшение количества рабочих угловых положений лотка БЗУ при выгрузке порций с шести – восьми до пяти. Это позволит увеличить толщину слоев шихтовых материалов на загружаемых участках радиуса печи, что особенно актуально при работе на малых подачах. Также в предложенной программе загрузки каждая последующая порция цикла загрузки смещает условный «гребень» шихтовых материалов относительно условного «гребня», сформированного выгрузкой предыдущей порции, что направлено на изменение направления движения газового потока и увеличения времени пребывания газов в печи. Кроме того, использование при выгрузке порции меньшего количества угловых положений лотка БЗУ увеличивает точность позиционирования лотка и дозирования шихтовых материалов в заданном угловом положении, что особенно актуально при характерной для ДП №3 работе на малых подачах.

В настоящее время предложенная для реализации программа загрузки проходит опытное опробование. Однако уже можно выделить основные положительные моменты после ее изменения. Так, распределение по радиусу печи температур поверхности засыпи шихты по показаниям стационарных термобалок характеризуется постепенным преобладанием центрального газораспределения. Температура в центральной зоне печи увеличилась на 78 °С на расстоянии 0,48 м от оси печи и на 51 °С на расстоянии 0,96 м от оси печи (рис. 4). В трех рассматриваемых периодах – в первом 01-11.02.2013 до изменения программы загрузки, и в двух – после ее изменения 12-28.02.2013 и

01-15.03.2013 (рис. 4а, 4б и 4в), работа ДП №3 характеризовалась близкими дутьевыми параметрами, постепенным увеличением температуры колошникового газа и уменьшением температуры периферийных газов (табл. 2). Увеличение температур поверхности шихты по радиусу печи в промежуточной и в периферийной зонах в третьем периоде (рис. 4в), по сравнению с первым и вторым, вызвано, в первую очередь, увеличением доли горячего агломерата от 69 до 82%, а также незначительным увеличением содержания окатышей в железорудной части шихты от 31 до 36%

Таблица 2 – Технологические параметры работы ДП №3 в рассматриваемых периодах

| Параметр                                   | 01-<br>11.02.2013 | 12-<br>28.02.2013 | 01-<br>15.03.2013 |
|--------------------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Расход горячего дутья, м <sup>3</sup> /мин | 3370              | 3338              | 3296              |
| Верхний перепад давления, ати              | 0,13              | 0,16              | 0,18              |
| Нижний перепад давления, ати               | 0,94              | 0,93              | 0,90              |
| Общий перепад давления, ати                | 1,07              | 1,09              | 1,08              |
| Температура колошникового газа, °С         | 309               | 312               | 324               |
| Температура периферийных газов, °С         | 667               | 639               | 633               |
| Уровень засыпи, м                          | 2,3–2,5           | 1,8–2,0           | 1,8               |

После изменения программы загрузки прекратилось горение фурм, в результате чего тихий ход ДП №3 составил 0,31% от номинального времени работы печи по сравнению с 5,01% в январе, простои – 1,58% по сравнению с 1,90% в январе 2013 г. За счет этого приведенный расход кокса за февраль 2013 г. составил 496,7 кг/т.чуг., что на 10,38 кг/т.чуг. меньше, по сравнению с его расходом в январе 2013 г. После переходного периода и обновления коксовой насадки стала возможной работа с уровнем засыпи 1,8 м, которая сопровождалась относительно стабильным верхним перепадом давления, составлявшим до 0,18 ати. В то же время использование на ДП №3 кокса низкого нестабильного качества различных поставщиков приводит к нестабильности центрального газораспределения (рис. 5). Это требует осуществления дальнейших мероприятий, направленных на стабилизацию центрального газораспределения и увеличение степени использования восстановительной способности газов путем внесения корректирующих воздействий в программу загрузки печи.

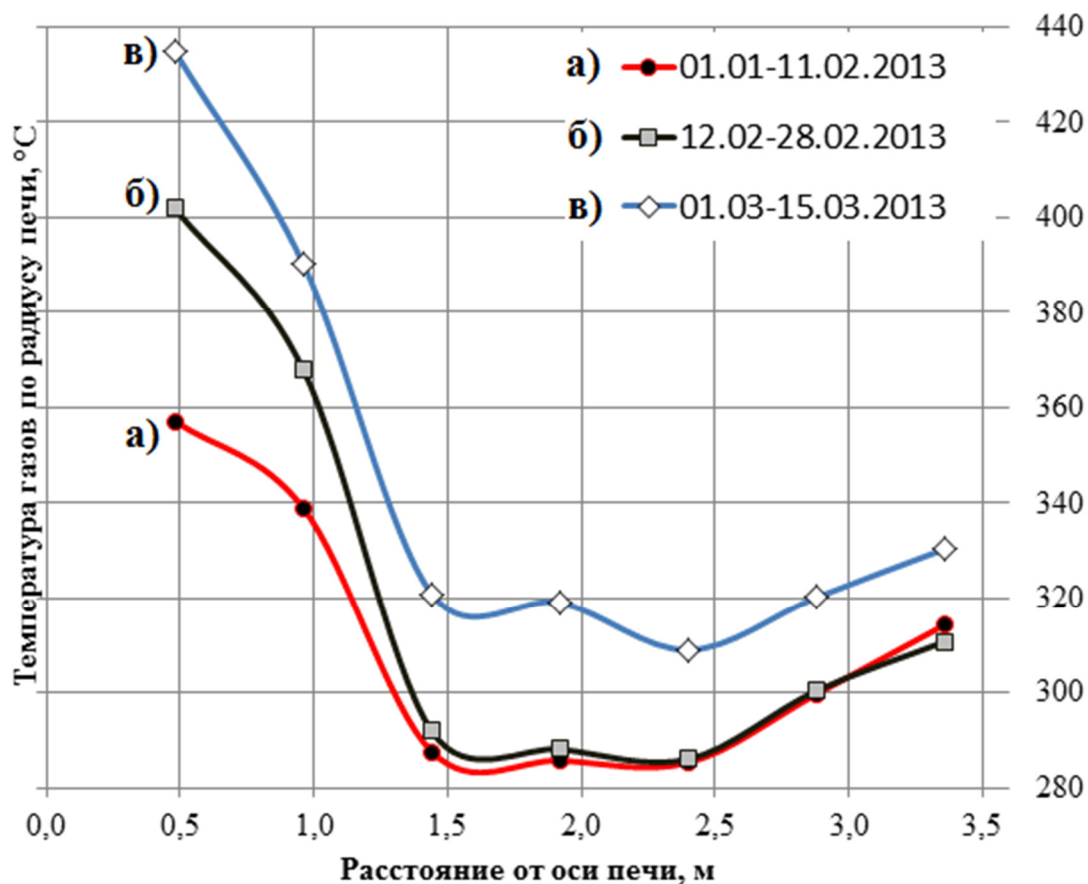


Рис. 4 – Распределение температур над поверхностью засыпи по радиусу печи до и после изменения программы загрузки

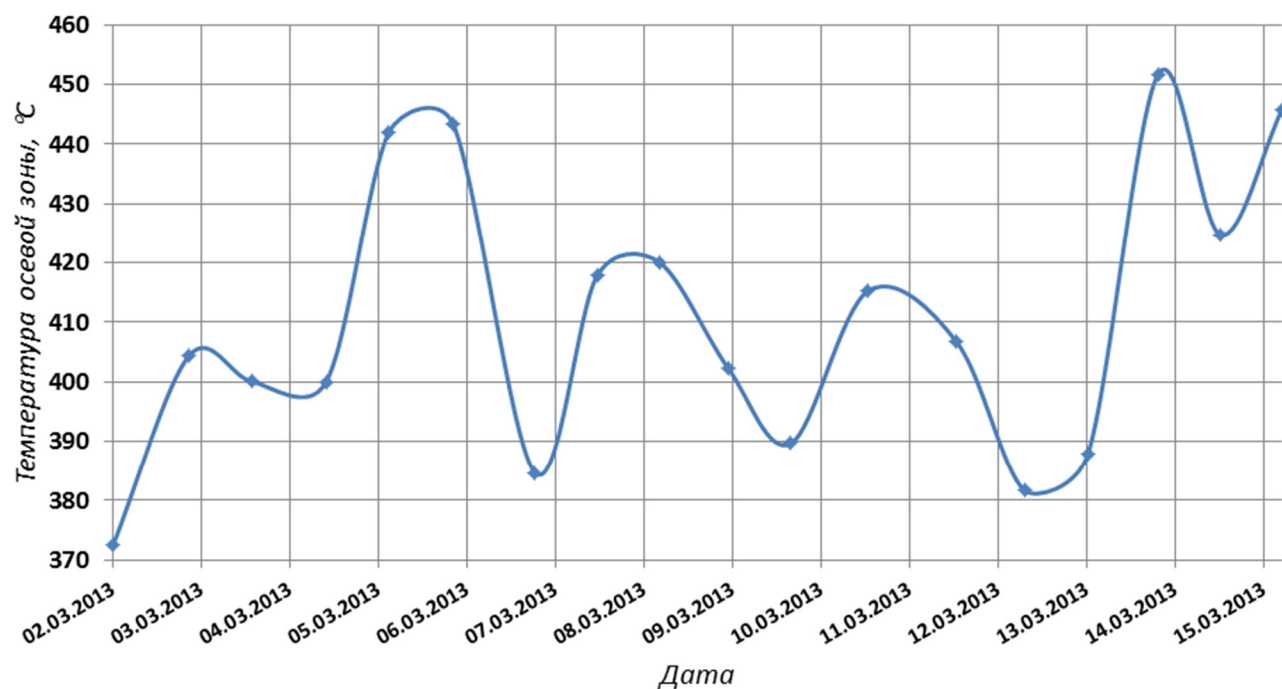


Рис. 5 – Изменение температуры поверхности шихты в центральной зоне печи

Опыт освоения на ДП №3 бесконусного загрузочного устройства в 2012–2013 гг. показал, что для обоснованного выбора программ загрузки, особенно в условиях низкого качества кокса, необходимыми мероприятиями являются:

- оборудование ДП №3 современной системой автоматизированного отбора проб газа по радиусу печи;
- управление загрузкой печи на основе информации радиолокационных уровнемеров, которые необходимо установить по техническому заданию ИЧМ;
- поддержание рабочего уровня засыпи в диапазоне 1,5–1,8 м;
- обеспечение стабильной работы газоанализатора колошникового газа.

## **Выводы**

Освоение в 2012–2013 гг. на ДП №3 программ загрузки в условиях изменяющегося качества шихтовых материалов позволило обеспечить приемлемые технико-экономические показатели плавки, несмотря на сложности, вызванные отсутствием полной и достоверной информации средств контроля, установленных на печи. Для обоснованного выбора и эффективности реализуемых в дальнейшем на ДП №3 рациональных программ загрузки, в условиях низкого качества кокса, необходимо осуществить комплекс мероприятий, сформулированных в настоящей статье.

## **Библиографический список**

1. Исследования параметров потока шихтовых материалов и их распределения на колошнике современной доменной печи / [Большаков В. И., Семенов Ю. С., Иванча Н. Г., Вишняков В. И., Шумельчик Е. И., Подкорытов А. Л., Семион И. Ю., Кузнецов А. М., Зубенко А. В.] – Металлургическая и горнорудная промышленность, 2012. – № 3. – С. 87–92.
2. Модельная система выбора и корректировки программ загрузки доменной печи, оборудованной БЗУ / [Семенов Ю. С. Шумельчик Е. И., Вишняков В. И., Наследов А. В., Семион И. Ю., Зубенко А. В.] – Metallurg, 2012. – №. 9 – С. 36–40.
3. Большаков В. И. Технология высокоэффективной энергосберегающей доменной плавки / Большаков В. И. – К.: Наук. думка, 2007. – 412 с.
4. Большаков В. И. Теория и практика загрузки доменных печей / Большаков В. И. – М.: Metallurgiya, 1990. – 256 с.
5. Волков Ю. П., Шпарбер Л. Я., Гусаров А. К. Технолог-доменщик. – М.: Metallurgiya, – 1986 г., 263 с.