



## Опыт освоения современной доменной печи, оборудованной БЗУ, в условиях изменяющегося 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 изменяющегося качества шихтовых материалов. Ил. 5. Табл.3. Библиогр.: 6 назв.*

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

*The main results of the implementation of rational modes of charging of the modern blast furnace No. 3 of PJSC «Yenakievo Iron and Steel Works», equipped with modern bell-less top charging device, in the conditions of changing quality of the charge materials are given.*

**Keywords:** blast furnace, burden materials, charging, bell-less top charging device, burden distribution

В октябре 2011 г. 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 г. был переход во втором полугодии на высокоосновный горячий агломерат при практически одновременном ухудшении качества кокса. Первое полугодие ДП № 3 работала на агломерате преимущественно по  $\text{CaO/SiO}_2 = 1,16\text{--}1,21$  ед. и с 24 % окатышей в железорудной части шихты. Во втором полугодии было принято решение перейти на агломерат собственного производства преимущественно 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).

\*В работе принимали участие: от ИЧМ Иванча Н.Г., Шумельник Е.И., Наследов А.В., от ПАО «ЕМЗ» Сапрыкин Н.М.

В 2012 г. в условиях изменяющегося качества шихтовых материалов на ДП № 3 было реализовано шесть основных вариантов программ загрузки, направленных на увеличение степени использования восстановительной способности газов. Расчетные распределения рудных нагрузок (РН) по радиусу колошника для используемых программ загрузки представлены на рис. 1.

В первом квартале 2012 г. 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. «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 до 400 °С, в то же время ход печи сопровождался более ровным сходом шихты.

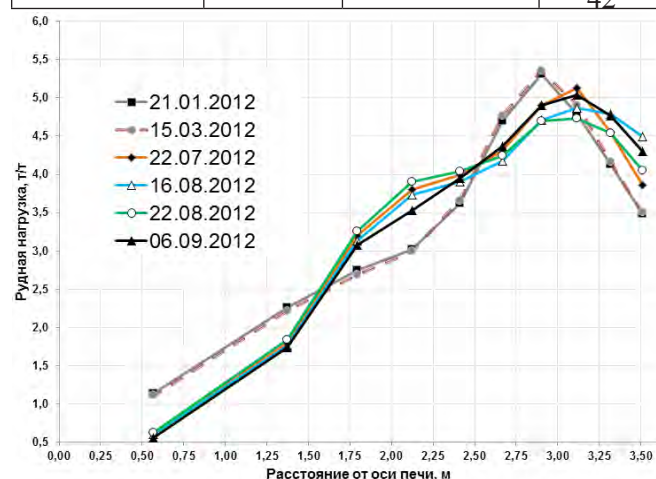
В связи с отсутствием на ДП № 3 автоматизированного отбора проб газов по радиусу печи качественным показателем распределения шихтовых материалов является температура колошникового газа по показаниям термобалок. Анализ показаний термобалок при использовании на печи программы загрузки, установленной 21.01.2012, 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

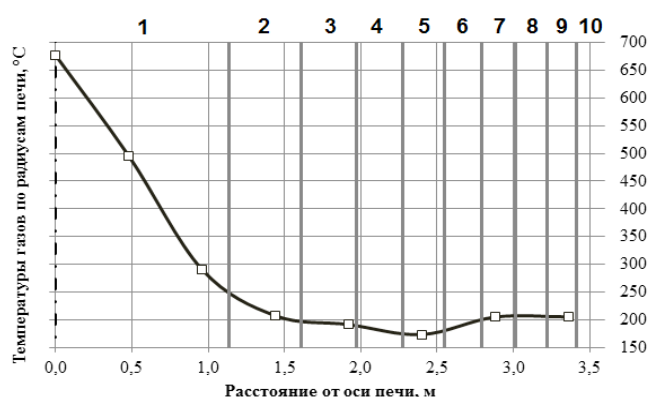
массы железосодержащих материалов, выгружаемых из 10-го углового положения лотка (в периферийную зону печи), была обусловлена повышенной температурой периферийных газов, достигавшей за период 21.01–01.03.2012 446 °С, в среднем. Степень использования восстановительной способности газов ( $\eta_{CO}$ )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

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

январь-июнь 2012 г.		июль-декабрь 2012 г.	
Содержание кокса, %	CSR CRI	Содержание кокса, %	CSR CRI
58	<u>55</u> 28	10	<u>52</u> 33
42	<u>46</u> 35	74	<u>43</u> 39
		16	<u>38</u> 42



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



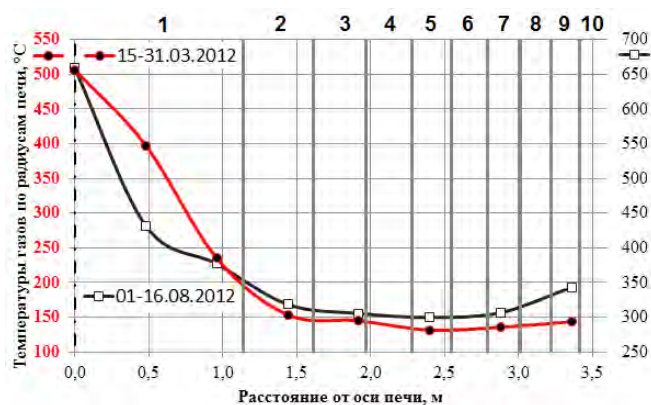
1...10 – равные по площади зоны колошника

**Рис. 2. Распределение температур колошникового 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 [2, 3]. 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 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 используемой с 15.03.2012 программой загрузки, осевой зоны (рис. 1). Об этом свидетельствует распределение температур колошникового 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 колошникового 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 величи-

**Таблица 2. Распределение материалов по угловым положениям лотка БЗУ для двух вариантов программы загрузки**

БАЗОВЫЙ ВАРИАНТ Левый+правый скипы		«РАСЩЕПЛЕННЫЙ» ВАРИАНТ			
		Левый скип		Правый скип	
№ углового положения лотка	% материалов	№ углового положения лотка	% материалов	№ углового положения лотка	% материалов
10	19	10	36		
9	20	9	38		
8	14	8	26		
7	14			7	30
6	12			6	26
5	11			5	23
4	10			4	21

ны 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 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 сопровождалось увеличением верхнего перепада давления, что приводило к вынужденным осадкам печи. Помимо этого, неудовлетворительная работа низа печи по причине загромождения горна в условиях отсутствия промычных 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 их 10-го углового положения на 7 % – от 19 до 12 %, что привело к уменьшению РН в периферийной зоне от 5,07 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  $\sigma(\text{CaO}/\text{SiO}_2) = 0,32$  ед. до  $\sigma(\text{CaO}/\text{SiO}_2) = 0,22$ . 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 показали исследования [1] работа печи с содержанием окатышей в железорудной части шихты, превышающим 50 %, способству-

ет систематическому попаданию их при выгрузке с лотка БЗУ в периферийную зону сечения колошника, несмотря на формирование материалов в скипах, предусматривающее отсутствие окатышей в первом (левом) скипе. Это вызвано особенностями истечения материалов из бункера БЗУ, которые заключаются в выгрузке в первую очередь центральной части столба материалов из бункера и большей, по сравнению с агломератом, «текучестью» окатышей. Увеличенная концентрация окатышей в периферийной зоне колошника может приводить к развитию периферийного хода печи [4, 5] и к верхним «подвисаниям», особенно в условиях ухудшенного качества кокса, и, следовательно, к перерасходу кокса.

Для уменьшения концентрации окатышей в периферийной зоне печи, было рекомендовано один-два раза в цикле загрузки железосодержащую порцию, выгружаемую из угловых положений лотка 10-4, разделить на две, с выгрузкой в печь раздельно каждого скипа – первого (левого), содержащего агломерат или агломерат с добавками, и второго (правого), содержащего преимущественно окатыши. В табл. 2 представлено распределение материалов по угловым положениям лотка БЗУ порции № 4 в базовом и в «расщепленном» (поскиповом) вариантах. Расчетная структура столба шихты на колошнике для «расщепленного» (поскипового) варианта программы загрузки представлена на рис. 4. «Расщепленный» вариант программы загрузки был реализован на ДП №3 15.11.2012 в 11<sup>30</sup>. В табл. 3 представлено изменение температуры периферийных газов после реализации «расщепленного» варианта программы загрузки. Как видно из таблицы, температура периферийных газов через 8 часов после реализации программы загрузки уменьшилась на 54 °С. Указанный прием в дальнейшем целесообразно использовать для уменьшения температуры периферии, в то же время следует обратить внимание на недостаток данного приема, заключающийся в увеличении времени цикла загрузки, в среднем, на 8 минут. Избежать увеличения времени цикла загрузки можно путем организации выгрузки второго скипа в режиме «без меры» (без достижения шихтой заданного уровня засыпи).

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 газового потока шихты 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

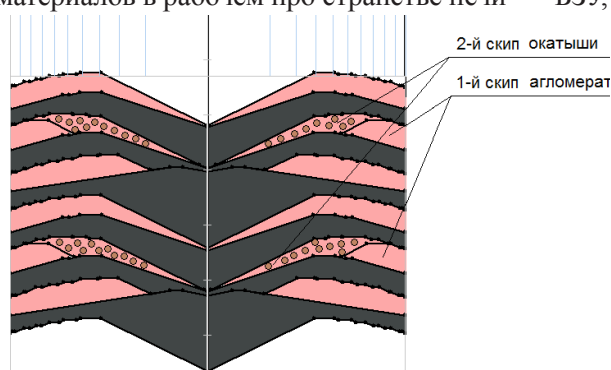


Рис. 4. Расчетная структура столба шихты на колошнике после выгрузки цикла загрузки, в котором порции № 4 и № 10 выгружаются поскипово

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 заключаются 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 по-

перечное 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] Т. По опыту освоения доменных печей, оборудованных БЗУ, в ИЧМ установлено ранее, что неравномерность

Таблица 3. Динамика изменения температуры периферийных газов ( $T_{пф}$ ) после реализации «расщепленного» варианта программы загрузки

Дата и время	$T_{пф}, ^\circ\text{C}$
15.11.2012 15 <sup>15</sup>	709
15.11.2012 17 <sup>00</sup>	714
15.11.2012 19 <sup>00</sup>	684
15.11.2012 21 <sup>00</sup>	669
15.11.2012 23 <sup>00</sup>	655

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 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 рациональных 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. Об этом свидетельствуют графики изменения расхода кокса на ДП № 3 в сравне-

нии с ДП № 5, оборудованной конусным загрузочным устройством, которые приведены на рис. 5. Как видно из графиков, фактический расход кокса на ДП № 3 за 2012 г. составил, в среднем, 470,4 кг/т чугуна, что на 13,0 кг/т чугуна 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 чугуна, однако, в указанном периоде ДП № 3 работала в несколько лучших условиях. Для приведения ДП № 3 и № 5 к одинаковым условиям был выполнен расчет влияния технологических факторов на удельный расход кокса [6], который показал, что на ДП № 3 приведенный расход кокса в первом полугодии 2012 г. составил на 14,7 кг/т чугуна 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 чугуна меньше, чем на ДП № 5. Приведенные результаты сравнительной характеристики технико-экономических показателей использования на ДП № 3 бесконусного загрузочного устройства.

Опыт освоения на ДП № 3 бесконусного загрузочного устройства 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 1,5–2,0 м и изменение его только в случаях крайней необходимости;
- работа с величиной массы кокса в подаче не менее 9,0 т, что обеспечит толщину слоев шихтовых материалов 0,4–0,5 м и, как следствие, будет способствовать рациональному газораспределению в печи.

**Выводы**

Освоение в 2012 г. 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 ожидаемого низкого качества кокса, необходимо осуществить комплекс мероприятий, сформулированных в настоящей статье.



Рис. 5. Фактический расход кокса и содержание агломерата местного производства на ДП № 3 и ДП № 5 ПАО «ЕМЗ» за 2012 г.

**Библиографический список**

1. Большаков В. И., Семенов Ю.С., Иванча Н.Г. и др. Исследования параметров потока шихтовых материалов и их распределения на колошнике современной доменной печи // *Металлург. и горноруд. пром-сть.* - 2012. - № 3. - С. 87–92.
2. Большаков В.И. Технология высокоэффективной энергосберегающей доменной плавки. – К.: Наукова думка, 2007. – 412 с.
3. Большаков В.И. Теория и практика загрузки доменных печей. – М.: Metallurgiya, 1990. – 256 с.
4. Большаков В.И., Гладков Н. А., Нестеров А.С. и др. Исследование металлургических свойств окатышей и особенности их использования // *Сталь.* – 2004. – № 10. – С. 6–11.
5. Большаков В.И., Гладков Н.А., Шутылев Ф.М. Совершенствование распределения окатышей по сечению доменной печи // *Металлург. и горноруд. пром-сть.* – 2003. - № 1. – С. 12–15.
6. Волков Ю.П., Шпарбер Л.Я., Гусаров А.К. *Технолог-доменщик.* – М.: Metallurgiya, 1986. - 263с.

Поступила 05.01.2013