

УДК 669.162.261.3:621.311.16

**В.И. Большаков, Ю.С. Семенов, Е.И. Шумельчик, В.В. Горупаха,  
А.В. Наследов, А.М. Кузнецов\*, А.В. Зубенко\***

*Институт черной металлургии им. З.И. Некрасова НАН Украины;*

*\*ПАО «Енакиевский металлургический завод»*

### **ОСВОЕНИЕ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ ЗАГРУЗКИ ДОМЕННОЙ ПЕЧИ, ОБОРУДОВАННОЙ БЗУ, В КОНЪЮНКТУРНЫХ ТОПЛИВНО-СЫРЬЕВЫХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ**

Приведены основные результаты освоения современной доменной печи №3 ПАО «Енакиевский металлургический завод», оборудованной бесконусным загрузочным устройством фирмы «Paul Wurth» в сложившихся сырьевых и технологических условиях за период 2011–2014 гг. Сформулированы основные изменения технологических и шихтовых условий, которые обуславливают необходимость корректировки программ загрузки. Разработаны и реализованы рекомендации по управлению окружным распределением шихтовых материалов на ДП №3, которые позволили уменьшить неравномерность температур кладки верхних горизонтов шахты доменной печи.

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

**Современное состояние вопроса.** Важным направлением повышения эффективности работы доменных печей (ДП) является рациональное использование технологических возможностей системы загрузки путем совершенствования приемов распределения шихтовых материалов в печи в комплексе с выбором рациональных параметров дутьевого и газодинамического режимов плавки [1, 2].

Для управления формированием порций шихтовых материалов, загрузки и распределения их в печи необходима достоверная информация о характере движения материалов по тракту загрузочного устройства и распределения их на поверхности засыпи шихты. Такие данные могут быть получены при проведении предпусковых исследований работы механизмов шихтоподачи и БЗУ, распределения шихтовых материалов на колоснике [3–6].

**Целью настоящей работы** является представление основных результатов выполненных исследований и разработок, реализованных ИЧМ на ДП №3 ПАО «ЕМЗ» за период 2011–2014 гг.

**Изложение основных материалов исследований.** В октябре 2011 г. после реконструкции была введена в эксплуатацию современная ДП №3 ПАО «ЕМЗ» объемом 1719 м<sup>3</sup>. Печь оборудована лотковым бесконусным загрузочным устройством (БЗУ) фирмы «Paul Wurth», которое по ряду основных параметров и конструктивных особенностей не имеет аналогов в Украине (рис. 1). Применяемый агрегат представляет собой однотрактное БЗУ, предусматривающее возможность загрузки шихтовых материалов с температурой до 400 °С.

Сотрудниками ИЧМ совместно с представителями ПАО «ЕМЗ» (в работе принимали участие: от ИЧМ Н.Г. Иванча, В.И. Вишняков, от ПАО «ЕМЗ» Н.М. Сапрыкин, А.С. Хайбулаев) были выполнены исследования распределения шихты первого объема в ДП №3 перед задувкой, а также исследования изменения параметров загрузки, дутьевого режима и газораспределения в периоды задувки, раздувки и выхода печи на рабочие показатели. Использование полученной информации для совершенствования режима загрузки печи шихтовыми материалами, повышения степени использования тепловой и восстановительной энергии печных газов в комплексе с выполненными в период ремонта мероприятиями по реконструкции огнеупорного стакана горна и лещади, повышения стойкости футеровки металлоприемника позволит увеличить продолжительность кампании печи до 15 лет.

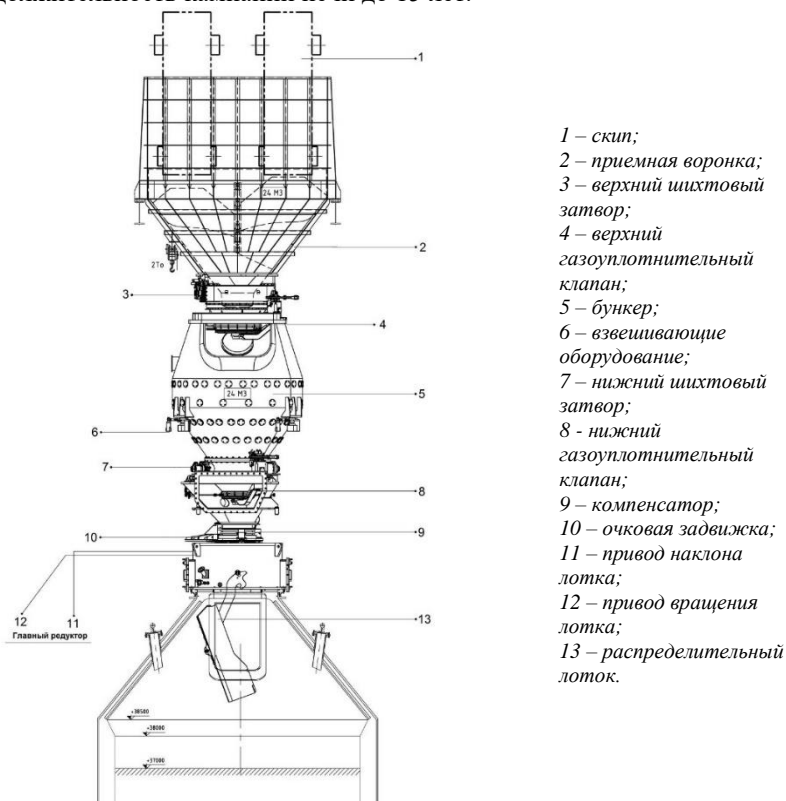


Рис. 1. Схема бесконусного загрузочного устройства ДП №3 ПАО «ЕМЗ».

Расчет рационального состава и правильный выбор режима загрузки задувочной шихты являются факторами, в значительной степени определяющими успешную задувку и работу доменной печи в

раздувочном периоде [7]. При разработке программы загрузки шихты первого объема, следует учитывать, что при загрузке нижних горизонтов печи необходимо предотвратить повреждение футеровки шахты, распара, заплечиков и фурм загружаемым материалом и, по мере возможности, минимизировать измельчение шихтовых материалов. Кроме того, при загрузке шихты, содержащей наряду с коксом шлак и железорудные материалы (ЖРМ), следует обеспечить требуемое распределение компонентов по сечению печи. Очевидно, что для правильного выбора угловых положений лотка, которые используются при загрузке задувочной шихты на различные горизонты печи, необходимо уточнение расчетных траекторий движения шихтовых материалов после схода с распределительного лотка по всей высоте рабочего пространства доменной печи [1,2,7].

В расчетах параметров распределения шихтовых материалов движение потока материала в колошниковом пространстве печи, как правило, характеризуется траекторией движения его центральной части. При разработке программ загрузки горизонтальное сечение колошника доменных печей, оснащенных БЗУ, разбивается, как правило, на 10 равных по площади кольцевых зон. Рациональные значения углов наклона лотка в рабочих положениях должны обеспечивать пересечение траектории центра потока шихты со средней линией соответствующей кольцевой зоны колошника [1]. Следует учесть, что с изменением уровня засыпи, координаты точек пересечения траекторий падения потоков шихты с поверхностью засыпи также изменяются. В связи с этим, в современных системах управления БЗУ матрицы углов наклона лотка предусматривают задание значений углов для различных уровней засыпи, задаваемых с шагом 0,10 – 0,25 м. Изменение реализуемого ряда углов наклона лотка осуществляется в автоматическом режиме при изменении задания уровня засыпи.

Выполненные перед пуском доменной печи №3 ПАО «ЕМЗ» в октябре 2011 г. исследования параметров потока шихтовых материалов, загружаемых в доменную печь при помощи БЗУ, распределения массы порций и их компонентов на колошнике, а также определение расходных характеристик шихтового затвора бункера БЗУ, исследование формирования профиля поверхности засыпи шихты, гранулометрического и компонентного составов слоя железосодержащих материалов по радиусу колошника позволили после задувки печи определить и реализовать режимы работы механизмов БЗУ, необходимые для эффективного применения используемых программ загрузки доменной печи [8].

На основании результатов, полученных в ходе выполнения предпусковых исследований параметров потока шихтовых материалов и их распределения на поверхности засыпи с целью оптимизации выбора рациональных режимов загрузки печи в ИЧМ разработана и реализована на ДП №3 модельная система для поддержки принятия решений по

выбору и корректировке программ загрузки ДП, оборудованной БЗУ, которая служит обучающим инструментом для технологов доменного цеха при освоении персоналом нового загрузочного устройства (рис. 2). В основу разработанной системы были положены алгоритмы созданной в ИЧМ ранее и доработанной в последние годы математической модели радиального распределения шихты на колошнике [9]. Модельная система разработана с учетом применяющейся на ДП №3 технологии загрузки, конструктивных параметров ДП, БЗУ и оборудования системы загрузки. Реализованная система позволяет рассчитывать рудные нагрузки (РН) и объемы материалов в равных по площади кольцевых зонах колошника, что является важной информацией для корректировок существующих и выбора рациональных программ загрузки ДП №3 [10].

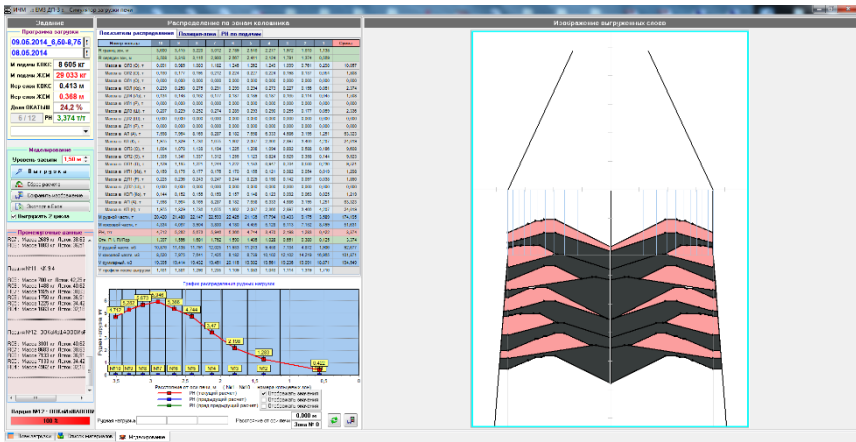


Рис. 2. Видеокадр модельной системы для поддержки принятия решений по выбору и корректировке программ загрузки

На ДП №3 с начала кампании печи использовалось более 15 вариантов программ загрузки, распределение средних расчетных РН и диапазон их изменения в равных по площади зонах колошника для используемых программ загрузки, представлены на рис. 3. Изменения программ загрузки с октября 2011 г. были направлены на обеспечение стабильной работы печи, высоких технико-экономических показателей и обуславливались различными изменениями технологических и шихтовых условий к которым относились изменения:

- качества кокса и железосодержащих материалов;
- соотношения агломерата и окатышей в составе шихты;
- количества в шихте добавок, таких как конвертерный шлак, коксовый орех и марганецсодержащие материалы;
- состава и температуры дутья;

– интенсивности плавки, в зависимости от потребностей предприятия.

Целью используемых на ДП №3 программ загрузки в 2011–2012 гг. являлось обеспечение стабильного хода печи и высоких технико-экономических показателей доменной плавки и до ухудшения качества шихтовых материалов на ДП №3 были достигнуты высокие показатели плавки [11, 12]. В 2012 г. после ухудшения качества и стабильности шихтовых материалов решение поставленной задачи в полном объеме было затруднено. Помимо этого, обеспечение стабильного хода плавки осложнялось также отсутствием возможности использования промывочных материалов и работой ДП №3 в сложившихся условиях с малой величиной подачи и низким уровнем засыпи (меньше 2,5 м). Масса коксовых порций в этих условиях составляла 7,0 – 8,0 т (при максимально возможной 10,5 т), что соответствовало толщине слоя кокса, в среднем, 0,40 м.

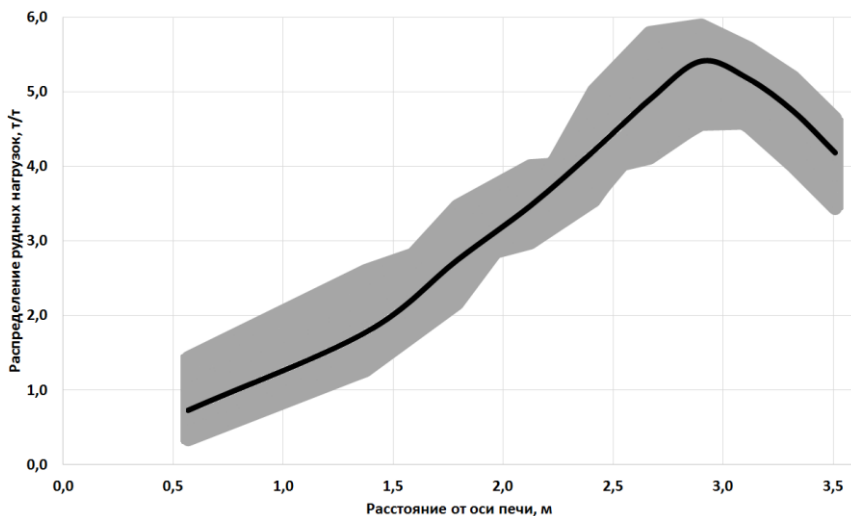


Рис. 3. Распределение средних расчетных РН и диапазон их изменения по радиусу печи для используемых на ДП №3 программ загрузки с начала ее кампании

Важным параметром режима загрузки ДП является величина массы подачи. Известные исследования, направленные на изучение влияния массы подачи на показатели работы ДП основаны на экспериментальном ее выборе в зависимости от конкретных условий плавки: качестве шихтовых материалов, количестве вдуваемого природного газа и прочих [13–17]. Причем все исследования были выполнены на ДП, оборудованных КЗУ. Как следует из результатов этих исследований, при увеличенной массе подачи ход печи приобретает периферийный характер, при уменьшенной – центральный. Это связано с изменением углов

наклона поверхности шихты в печи при изменении величины подачи, которые при формировании поверхности шихты КЗУ определяют перераспределение материалов от стенки печи к центру с соответствующим изменением распределения газового потока по радиусу печи. При формировании поверхности засыпи шихты БЗУ определяющую роль играет программа загрузки печи, которая позволяет при различной массе подачи и уровне засыпи обеспечить практически неизменным распределение (РН) и объемов шихтовых материалов по радиусу печи. Однако, на печах, оборудованных как БЗУ так и КЗУ уменьшение массы подачи на 15–20% обычно приводит к увеличению средней температуры на периферии на 50–60 °С и уменьшению содержания  $\text{CO}_2$  в колошниковом газе на 1–2%, что влечет за собой перерасход кокса. Из результатов исследований, выполненных ранее следует также, что обоснованного способа расчета величины подачи для печей того или иного объема не существует. Следовательно, выбор программ загрузки должен учитывать существующий на том или ином комбинате подход технологического персонала к выбору массы подачи.

По мнению иностранных исследователей, эффективная работа печи обеспечивается при образованной на колошнике толщине слоев кокса и железосодержащих материалов не менее 0,5 м. Особенностью реализованных на ДП №3 в 2011–2012 гг. программ загрузки являлось использование шести и восьми угловых положений лотка БЗУ при выгрузке порций кокса, семи и восьми угловых положений лотка при выгрузке железосодержащих порций, что обеспечивало распределение материалов практически по всему радиусу колошника. В совокупности с этим, работа ДП №3 на малых подачах способствовала образованию в печи слоев толщиной – 0,40 м и менее. С учетом установленного немецкими исследователями эффекта проникновения железосодержащих материалов при выгрузке с БЗУ на 0,15 м в кокс [18, 19], образование слоев указанной толщины способствовало еще большему уменьшению газопроницаемости за счет увеличения сопротивления пограничного слоя [20].

Известно [1], что начальные и конечные позиции лотка, в которые выгружаются части порции, можно смещать по радиусу в заданной последовательности и, в конечном итоге, формировать необходимый профиль засыпи (по объему частей порций) и заданное распределение РН по радиусу колошника (по массе частей порций). Так, смещая в цикле загрузки каждую первую позицию при выгрузке следующих порций железосодержащих материалов сначала к оси, а затем к периферии, в столбе шихты можно образовать на периферии достаточно значительное по высоте коксовое кольцо (в разрезе – «журавлиный клин» из железосодержащих материалов). При этом динамика образования столба шихты в рамках цикла загрузки, а именно – переменная РН при

формировании столба, создает благоприятные условия для более полного использования тепловой энергии газового потока [1].

В связи с особенностями работы ДП №3 в условиях низкого качества кокса был пересмотрен подход к выбору рациональных программ загрузки, способствующих стабилизации хода печи. А необходимость изменения программы загрузки на ДП №3 в начале 2013 г. была также обусловлена и интенсивным горением фурм, сопровождающимся высоким расходом кокса по причине сохранявшегося, как и во второй половине 2012 г., нестабильного низкого его качества (показатель горячей прочности кокса (CSR) уменьшился от 43,41% до 41,04% и реакционной способности (CRI) увеличился от 38,18% до 40,58%).

Расчетная структура столба шихтовых материалов для программ загрузки, используемых на ДП № 3 в 2012 и 2013 гг. представлена на рис. 4.

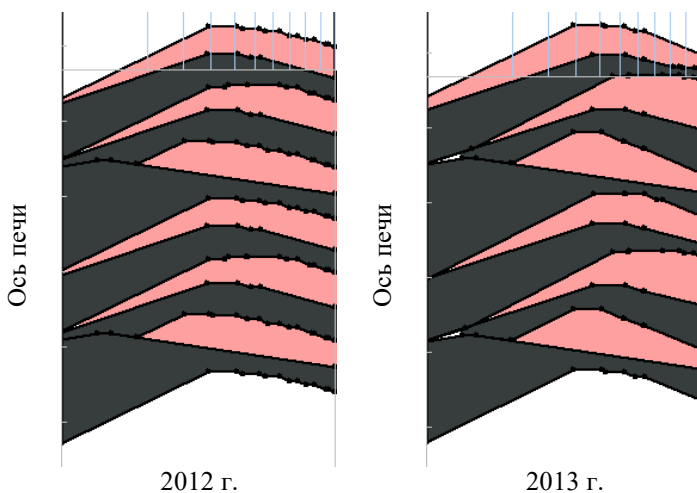


Рис. 4. Расчетная структура столба шихтовых материалов для программ загрузки, используемых на ДП №3 в 2012 и 2013 гг.

Особенностью предложенной для реализации на ДП №3 в 2013 г. программы загрузки явилось уменьшение количества рабочих угловых положений лотка БЗУ при выгрузке порций с шести – восьми до пяти. Это позволило увеличить толщину слоев шихтовых материалов на загружаемых участках радиуса печи. Также в предложенной программе загрузки каждая последующая порция цикла загрузки смещает условный «гребень» шихтовых материалов относительно условного «гребня», сформированного выгрузкой предыдущей порции (по принципу «журавлиного клина»), что направлено на изменение направления движения газового потока. 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 работе на малых подачах.

После изменения на ДП №3 программы загрузки следует выделить основные положительные моменты. Так, сход шихты стал стабильным без «подстоев» и «обрывов», температура периферийных газов после стабилизации рабочего уровня засыпи (1,3 м) уменьшилась на 65°C от 640°C до 575°C. При увеличении в шихте количества горячего агломерата это позволило продлить срок службы лотка БЗУ. Температура колошникового газа увеличилась незначительно от 295°C до 310°C. Распределение по радиусу печи температур поверхности засыпи шихты по показаниям стационарных термобалок характеризовалось стабильным центральным газораспределением и постепенным уменьшением температур в промежуточной и периферийной зонах печи. Температура в центральной зоне печи увеличилась на 48°C, и уменьшилась в периферийной и в промежуточной зонах, в среднем, на 18°C (рис. 5). После изменения программы загрузки прекратилось интенсивное горение фурм, стала возможной работа без верхних «подвисаний» с уровнем засыпи 1,3 м, которая сопровождалась относительно стабильным верхним перепадом давления, составлявшим около 0,18 ати [21]. Для приведения ДП №3 к одинаковым условиям работы до и после изменения программы загрузки был выполнен расчет влияния технологических факторов на удельный расход кокса [22], который показал, что приведенный расход кокса после изменения программы загрузки уменьшился на 2%.

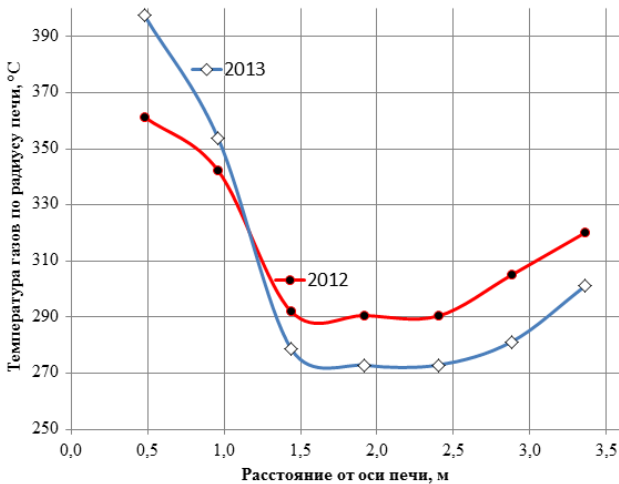


Рис. 5. Распределение температур над поверхностью засыпи по радиусу печи до и после изменения программы загрузки



Таким образом, в условиях нестабильного качества шихтовых материалов при работе доменной печи с малой массой подачи предложен подход к выбору рациональных программ загрузки БЗУ, основанный на уменьшении количества рабочих угловых положений лотка и смещении от порции к порции центра тяжести порции вдоль радиуса колошника. Положительный опыт реализации такой программы загрузки был получен на ДП №3 ПАО «ЕМЗ» в 2013 г.

#### ***Особенности термобалок, установленных на ДП №3 ПАО «ЕМЗ»***

Для эффективного выбора и опробования рациональных программ загрузки БЗУ необходима надежная информация о распределении по радиусу печи температур поверхности шихты и химического состава газа [1].

Негативной особенностью стационарных термобалок иностранного производства, применявшихся до июня 2014 г. над поверхностью засыпи на ДП №3, являлось искажение потока шихты при его контакте с термобалками, которые имели прямоугольное поперечное сечение с шириной контактной стороны, составляющей 200 мм. Конструктивные особенности установленных на ДП №3 термобалок приводили к образованию в печи окружной неравномерности шихты [2]. Так, при контакте с балками потока шихты в секторах печи под балками образовывались углубления до 0,5 м – это в свою очередь приводило как к неравномерному распределению шихты и газов, так и к некорректному определению электромеханическим зондом уровня засыпи, поскольку образованное углубление расположено в секторе измерения зондом уровня засыпи.

Следует также отметить, что информация, поступающая от термобалок ДП №3, носила нестабильный характер – обработка информации требовала применения специальных сложных алгоритмов, которые производителями предусмотрены не были. На мониторах технологов отображались текущие температуры, а контроль среднесуточных, среднесуточных и среднемесячных значений был невозможен.

Термобалки, установленные на ДП №5 ПАО «ЕМЗ», а также на доменных печах комбинатов МК «Азовсталь», ММК им. Ильича, ЕВРАЗ-ДМЗ им. Петровского производства ООО «Линкор», характеризуются меньшим и обтекаемым поперечным сечением и являются более приемлемыми для ДП №3, чем существовавшие [11, 12, 23]. Так, по рекомендации ИЧМ на ДП № 3 после проведения капитального ремонта 3-го разряда в июне 2014 г. были установлены четыре термобалки производства ООО «Линкор» по сечениям газоотводов.

#### ***Оптимизация пропускной способности системы загрузки БЗУ при контактном и бесконтактном способе контроля уровня засыпи***

В настоящее время объем производства чугуна в доменных цехах Украины лимитируется не максимальной производительностью печей, а требуемым уровнем производства. В подобных условиях на первый план выходят задачи эффективности доменной плавки при заданном уровне

производства и возможность не только планово, но и оперативно изменять уровень производства чугуна. Достаточный уровень пропускной способности системы загрузки и наличие нормативного резерва этого параметра являются одним из определяющих условий стабильной и эффективной работы доменной печи. Пропускная способность системы загрузки в целом определяется параметрами работы двух подсистем: шихтоподачи и БЗУ [24, 25].

На ДП, оснащенных однократными БЗУ, пропускная способность системы загрузки определяется продолжительностью цикла загрузки скипов порций кокса или ЖРМ и доставки их на колошник либо продолжительностью цикла загрузки этих порций в доменную печь. Пропускная способность систем загрузки этого типа определяется продолжительностью более длительного из указанных выше циклов.

Контроль уровня засыпи в ДП №3 ПАО «ЕМЗ» осуществляется электромеханическим зондом и радиолокационными уровнемерами иностранного производства. Для условий ДП №3 выполнен анализ пропускной способности системы загрузки БЗУ при контроле уровня засыпи электромеханическим зондом (контактный способ) и радиолокационными уровнемерами (бесконтактный способ).

Целью выполненного анализа циклограмм работы оборудования системы загрузки ДП №3, являлась проверка соответствия фактических параметров и последовательности работы оборудования проектным показателям, наличие цикловых простоев и оценка резервов пропускной способности системы.

На ДП №3 ПАО «ЕМЗ» после сдачи в промышленную эксплуатацию АСУ системы загрузки в ноябре 2012 г. были выполнены измерения времени работы механизмов шихтоподачи и системы БЗУ, на основании которых построены циклограммы их работы. Анализ полученных результатов показал, что в ноябре 2012 г. продолжительность цикла загрузки и подъема на колошник скипов одной подачи составляла 323с, что на 15,6 секунд меньше, чем после задувки печи, в связи с настройкой оборудования системы загрузки на начальном этапе работы ДП. Продолжительность цикла загрузки бункера, шлюзования и выгрузки в печь одной порции составляет: 202,4 с – для коксовой порции, 208,4 с – для порции ЖРМ. Таким образом, продолжительность цикла загрузки БЗУ одной подачи составляет 410,8 с это на 87,8 с больше цикла загрузки и транспортирования скипов на колошник.

При анализе циклограммы, построенной в ноябре 2012 г. можно выделить три основных группы механизмов с определением, по возможности, уменьшения времени цикла их работы:

– *газоуплотнительные клапаны*. Время работы газоуплотнительных клапанов увеличено практически вдвое, по сравнению с проектным временем. Это связано с общим уменьшением давления азота в общезаводском магистральном трубопроводе. После реконструкции

кислородного цеха и при увеличении давления азота возможным будет уменьшение времени работы для данных механизмов; (7,0–7,5 кг/см<sup>2</sup> – проектное давление, 4,5–6,2 кг/см<sup>2</sup> – в ноябре 2012 г. и в настоящее время);

– *электромеханический зонд*. Для предотвращения повреждения механического зонда потоком шихты технологами цеха было увеличено время поднимания механического зонда на 8,1 секунды путем внесения изменений в программное обеспечение АСУ доменной печи. На основании результатов предпусковых исследований фактических траекторий шихты [8], ИЧМ было обосновано изменение времени начала открывания шихтового затвора не при достижении механическим зондом гаражного положения, а в момент пересечения им верхней границы потока шихтовых материалов при работе на минимальном уровне засыпи и максимальном угле наклона лотка. Это позволило уменьшить время цикла работы БЗУ на 8,3 секунды в режиме «догонки меры».

Для уменьшения времени вывода печи на рабочий уровень засыпи при работе в режиме «догонки меры» рекомендуется выводить механический зонд из эксплуатации. Разрешение на выгрузку целесообразно организовать по показаниям радиолокационных уровнемеров (при условии их замены радары российского производства, характеризующимися большей рабочей частотой и меньшей требовательностью к давлению азота на обдув, к высоким температурам и пылегазованности подкупольного пространства).

– *распределительный лоток*. Устранение временной задержки поиска лотком БЗУ заданного гаражного положения перед выгрузкой порции шихтовых материалов позволило уменьшить время цикла загрузки на 15–22 с.

Для анализа пропускной способности традиционно используют коэффициент загруженности оборудования ( $K_3$ ), нормативная величина которого 0,75 характеризует стабильность работы доменной печи с заданной производительностью и обеспечивает резерв пропускной способности при работе печи в режиме «догонки меры», при работе доменной печи с заданной производительностью ( $Q_{зад}$ ) [1]. В табл.1 приведены значения величины  $K_3$ , а также количество подач, загруженных в доменную печь в час, заданная и максимальная производительность, а также время цикла загрузки БЗУ для трех вариантов с возможными (3200 т/сутки и 3400 т/сутки) и текущим (2900 т/сутки) уровнями производства:

- до реализации рекомендаций ИЧМ (обозначен *период 2012 г.*);
- после реализации рекомендаций ИЧМ (обозначен *период 2013 г.*);
- после замены механического зонда радиолокационными уровнемерами (обозначен *период 2013 г. с использованием радаров*).

Как следует из таблицы, использование показаний радаров позволит уменьшить время загрузки на 18,6 % и увеличить максимальную производительность при приемлемом уровне коэффициента

загруженности, менее 0,75. Дальнейшее увеличение производительности печи должно включать в себя дополнительные технологические меры.

Таблица 1. Показатели пропускной способности системы загрузки.

*Коэффициент загруженности  
оборудования при работе доменной печи  
с заданной производительностью ( $Q_{ззд}$ )*

$$K_3 = \frac{Q_{ззд}}{Q_{max}}$$

*Максимальная производительность  
доменной печи ( $Q_{max}$ ), которую может  
обеспечить система загрузки при  
работе в режиме «догонка меры»*

$$Q_{max} = \frac{24 \cdot 3600 \cdot n \cdot m \cdot C_{Fe}^{III}}{t_{ц} \cdot C_{Fe}^{IV}}$$

$C_{Fe}^{III}$  – содержание Fe в шихте,

$C_{Fe}^{IV}$  – содержание Fe в чугуне,

$t_{ц}$  – продолжительность цикла загрузки,

$n$  – количество скипов в цикле загрузки,

$m$  – масса ЖСМ в одном скипе,

Период	$Q_{ззд}$ , т/сут	$t_{ц}$ , с	$Q_{max}$ , т/сут	Кол-во подач в час	$K_3$
2012 г.	2900	411,0	3710	8,76	0,78
2013 г.	2900	383,0	3981	9,40	0,73
2013 г. с использованием радаров	2900	347,4	4389	10,36	0,66
2012 г.	3200	411,0	3710	8,76	0,86
2013 г.	3200	383,0	3981	9,40	0,80
2013 г. с использованием радаров	3200	347,4	4389	10,36	0,73
2012 г.	3400	411,0	3710	8,76	0,92
2013 г.	3400	383,0	3981	9,40	0,85
2013 г. с использованием радаров	3400	347,4	4389	10,36	0,77

$$n = 2, m = 15,5 \text{ т} (m_{max} = 22,0 \text{ т}),$$

Таким образом, реализация рекомендаций ИЧМ по устранению временных задержек загрузки, связанных с подъемом механического зонда и поиском положения лотка по окружности перед выгрузкой порции позволила уменьшить время цикла загрузки на 28 с и уменьшить коэффициент загруженности оборудования до значений менее 0,75, что привело к увеличению максимальной производительности доменной печи, которую может обеспечить система загрузки при работе в режиме «догонка меры», на 271 т/сут. В результате выполненного анализа установлено, что время движения механического зонда, довольно велико. В связи с этим, в настоящее время прорабатывается вопрос управления загрузкой печи с использованием радиолокационных уровнемеров, опыт работы с которыми накоплен на ДП №9 «АрселорМиттал Кривой Рог». Анализ составляющих продолжительности цикла загрузки показал, что увеличение времени срабатывания шихтовых затворов и газоотсекающих клапанов позволит сократить цикл загрузки лишь на 2,1%, в то время как применение бесконтактных измерителей уровня засыпи обеспечивает уменьшение продолжительности цикла (выгрузки двух порций) на 18,6%.

#### **Выбор рациональных углов наклона лотка БЗУ при изменении конфигурации футеровки лотка**

В апреле и в октябре 2013 г. в доменном цехе для увеличения срока службы лотка БЗУ было принято техническое решение поэтапного увеличения длины ребристо-ячеистой футеровки. На рис. 6 показан чертеж лотка с указанием периодов изменения границ ребристо-ячеистой и гладкой частей лотка.

В период работы ДП №3 октябрь 2013 г. – июнь 2014 г. длина гладкой (конечной) части лотка составляла 520 мм, что соответствует

15% длины лотка. При пуске ДП №3 в ноябре 2011 г. длина гладкой части составляла 1500 мм (50 % длины лотка). Таким образом, при изменении футеровки лотка в 2013 г. увеличился коэффициент трения материалов на лотке, что привело к необходимости изменения рабочих углов его наклона для попадания центра потока в соответствующую угловому положению лотка кольцевую зону колошника. С учетом изменения соотношения гладкой и ребристо-ячеистой частей футеровки лотка расчетным способом были определены и установлены на ДП №3 в начале октября 2013 г. новые рабочие углы наклона лотка.

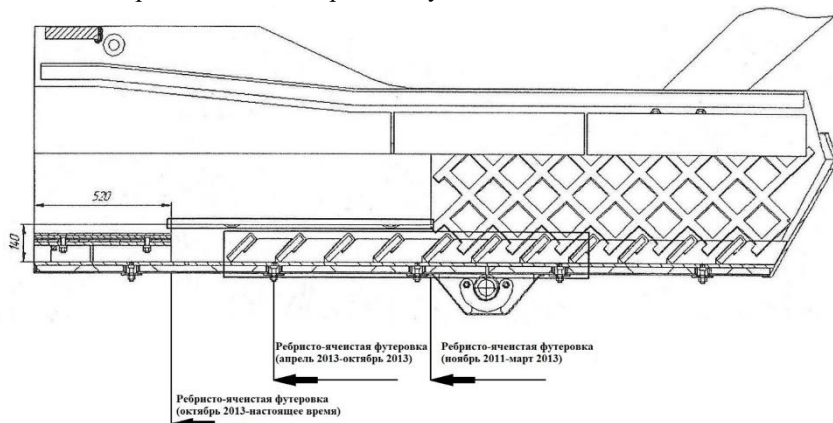


Рис. 6. Изменения длины ребристо-ячеистой футеровки лотка БЗУ ДП №3 в апреле и в октябре 2013 г.

Для проверки расчетных углов наклона лотка специалистами ИЧМ на ближайшей остановке доменной печи были выполнены исследования по определению характеристик потока шихтовых материалов при выгрузке в печь. Их определение было выполнено по расположению точек встречи потока с плитами колошниковой защиты, зафиксированных с помощью мерных деревянных реек по методике ИЧМ [8]. Результаты исследований показали правильность выбранных расчетным способом углов наклона лотка и явились основанием для дальнейшего их использования в АСУ загрузкой ДП №3.

Конструкция нового лотка, установленного после капитального ремонта 3-го разряда в июне 2014 г. вновь претерпела изменений, так, длина гладкой части лотка была увеличена по сравнению с лотком, используемым ранее, и составила 930 мм (31 % длины лотка). Увеличение гладкой части лотка связано с его изготовлением по проекту апреля 2013 г. (рис. 6). Следовательно, очередное изменение конструкции лотка приведет к уменьшению коэффициента трения материалов на лотке, что обусловило проведение предпусковых исследований характеристик потока шихтовых материалов, выгружаемых с лотка, которые были

выполнены при загрузке задувочной шихты после проведения в июне 2014 г. капитального ремонта 3-го разряда с торкретированием шахты ДП № 3.

Результаты выполненных замеров параметров потока кокса по расположению точек встречи потока с плитами колошниковой защиты и сформированного гребня 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.

Расчетные значения углов наклона лотка, определенные на основании экспериментальных данных для различных значений уровня засыпи с шагом 0,1 м, были установлены в АСУ загрузкой на ДП № 3.

***Разработка мероприятий по оперативному управлению периферийным газовым потоком, в том числе при переходе на технологию вдувания пылеугольного топлива.***

Как известно, излишне развитый периферийный газовый поток возникает при работе печи с разрыхляющими периферию режимами загрузки, увеличении доли мелочи в ЖРМ, использовании малопрочного кокса и недостаточном количестве дутья, характеризуется низким содержанием  $\text{CO}_2$  у стенки печи (до 2–4%) и высоким (10–12%) в осевой зоне. Такое газораспределение ухудшает использование тепловой и химической энергии газов, увеличивает удельный расход кокса и уменьшает производительность печи. Длительная работа в таких условиях приводит к значительному уменьшению активности осевой зоны шахты и горна, способствует повышенному износу кладки заплечиков и шахты, а также выходу из строя холодильников и воздушных фурм [26]. Ухудшается ровность хода печи, сопровождающаяся неравномерным опусканием шихты с подстоями и обрывами ее по ходу печи. Нередко при загромождении периферии происходит также образование канального хода. Правильная и своевременная оценка характера газового потока на основании совместного анализа данных визуального наблюдения и контрольно-измерительной аппаратуры (для условий ДП №3 и ДП №5 ПАО «ЕМЗ» – термопары кладки шахты и периферийного газового потока, термопары газоотводов и термобалки, установленные над поверхностью засыпи) – позволяет достаточно быстро корректировать ход печи путем изменения параметров режима загрузки, сохраняя при этом стабильность режима горна. Одними из наиболее эффективных способов «подгрузки» периферии являются уменьшение массы кокса и увеличение количества ЖРМ на периферии. Однако преждевременная загрузка периферии ЖРМ при низкой газопроницаемости оси приводит к «подвисанию» шихты и принудительным осадкам.

В настоящее время широкое применение получила технология вдувания пылеугольного топлива (ПУТ) в горны доменных печей. Это в

первую очередь связано со следующими преимуществами данной технологии:

- уменьшение расхода кокса;
- уменьшение до минимума, вплоть до исключения, использования природного газа;
- уменьшение содержания серы в чугуне за счет применения качественных низкосернистых углей.

Применение пылеугольного топлива (ПУТ) на доменных печах в современных шихтовых условиях требует особого подхода в управлении радиальным и окружным распределением шихты и газов. Практика вдувания ПУТ показывает, что в этом случае укорачивается окислительная зона и возникает чрезмерно развитый периферийный газовый поток. Поскольку при вдувании в горн доменной печи ПУТ уменьшается расход загружаемого в печь кокса, вследствие чего ухудшается газопроницаемость шихты, то происходит перераспределение потоков газа и с усилением периферийного газового потока смещаются зоны воздействия максимальных тепловых нагрузок по высоте печи в зону распара, заплечиков, а также первого и второго рядов низа шахты [27]. Следствием этого являются прогары и разрушения холодильных плит наиболее теплонагруженных зон, что приводит к аварийным ситуациям и дополнительным остановкам доменной печи. Помимо этого создаются условия для нарушения футеровки шахты доменной печи и неустойчивости гарнисажа. Для увеличения стойкости холодильников разрабатываются новые конструкции с более интенсивным охлаждением. Предлагаются также более стойкие огнеупоры для низа печи и охлаждаемой части шахты. Помимо этого необходимо дополнительно использовать рациональные приемы управления загрузкой и дутьевыми параметрами. Технологической мерой воздействия на чрезмерно развитый периферийный газовый поток при применении технологии вдувания ПУТ является разработка и реализация приемов оперативного управления распределением шихты по радиусу печи.

Обобщая за многие годы типовые технологические инструкции по доменному производству заводов и комбинатов бывшего СССР для ликвидации чрезмерно развитого периферийного газового потока независимо от типа загрузочного устройства осуществляют мероприятия, представленные в табл. 2.

На печах, оборудованных БЗУ (ДП №3 ПАО «ЕМЗ») для оперативного управления чрезмерно развитым периферийным газовым потоком рациональным является использование следующих приемов:

- 1) Использовать принцип неравномерности масс порций кокса в цикле загрузки с уменьшением массы порций кокса, выгружаемых в центральную зону печи и увеличением массы порций кокса, выгружаемых в промежуточную зону;

2) Использовать прием перераспределения кокса от стенки к промежуточной и центральной зонам печи;

3) Использовать прием перераспределения железосодержащих материалов от промежуточной к периферийной зонам печи.

Вышеприведенные мероприятия необходимо осуществлять в изложенной последовательности.

Таблица 2. Мероприятия по ликвидации чрезмерно развитого периферийного газового потока

Если осевая часть печи не перегружена:	При перегруженной осевой части печи:
а) уменьшить общий перепад давления на 0,10–0,15 ати; б) постепенно усилить загрузку периферии железосодержащей шихтой путем изменения режима загрузки; в) уменьшить величину рудной части подачи (РН); г) понизить уровень засыпи.	а) загрузить дополнительный кокс (с одновременным опусканием не менее 4-5 скипов) от упущенного уровня засыпи и затем, в зависимости от теплового состояния горна, компенсировать холостые подачи ЖРМ (при наличии, сварочным шлаком); б) усилить загрузку периферии изменением режима загрузки; в) уменьшить величину подачи; г) уменьшить давление газа под колошником на 0,1–0,2 кг/см <sup>2</sup> , сохранив при этом величину общего перепада давления; д) если для выравнивания хода печи требуется понизить интенсивность плавки – уменьшить расход дутья или концентрацию кислорода в дутье на 1,5–2,0 %; е) при необходимости произвести промывку горна.

Работа доменной печи с содержанием окатышей в железорудной части шихты, превышающим 50% способствует 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 [28, 29]. 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. Повышенная концентрация окатышей в периферийной зоне колошника приводит к разрыхлению столба шихты, повышению газопроницаемости и, как следствие, к увеличению температуры газового потока [28, 29].

Для уменьшения концентрации окатышей в периферийной зоне печи рациональным является использование приема, в котором один или два раза в цикле загрузки железосодержащая порция разделяется на две, с выгрузкой в печь отдельно каждого скипа – первого (левого),



содержащего агломерат или агломерат с добавками и второго (правого), содержащего преимущественно окатыши. В табл. 3 представлено распределение материалов по угловым положениям лотка БЗУ порции ЖРМ для базовой программы загрузки, используемой на ДП № 3 в 2012 г., и для «расщепленного» (поскипового) варианта применительно к базовой программе загрузки. Основным принципом создания «расщепленного» варианта является сохранение распределения по радиусу печи РН неизменным.

Таблица 3. Распределение материалов по угловым положениям лотка БЗУ порции ЖРМ для базовой программы загрузки и для «расщепленного» (поскипового) варианта.

БАЗОВЫЙ ВАРИАНТ		«РАСЩЕПЛЕННЫЙ» ВАРИАНТ			
Левый+правый скипы		Левый скип		Правый скип	
№ положения лотка	% материалов	№ положения лотка	% материалов	№ 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

Расчетная структура столба шихты на колошнике для «расщепленного» (поскипового) варианта программы загрузки представлена на рис. 7. Указанный прием опробовался на ДП №3 15.11.2012 начиная с 11<sup>30</sup>. В табл. 4 представлена динамика изменения температуры периферийных газов после реализации «расщепленного» варианта программы загрузки. Указанный прием в дальнейшем целесообразно использовать для оперативного уменьшения температуры периферийных газов, в то же время следует обратить внимание на недостаток данного приема, который заключается в увеличении времени цикла загрузки в среднем на 8 минут, следовательно, в предлагаемом приеме рациональной является загрузка второго скипа в режиме «без меры».

***Пример реализации на практике мероприятий по оперативному управлению периферийным газовым потоком на ДП №3 ПАО «ЕМЗ»***

В мае 2014 г. на ДП №3 в программу загрузки был внесен ряд изменений, необходимость которых обусловлена слаборазвитым центральным газораспределением с преобладанием периферийного газового потока, температура периферийных газов составляла более 450 °С. На первом этапе 08.05.2014 г. было изменено распределение коксовых порций программы загрузки с перераспределением кокса от стенки печи к промежуточной и центральной зонам печи, а также увеличено количество кокса, загружаемого в центр печи.

Таблица 4. Динамика изменения температуры периферийных газов ( $T_{пф}$ ) после реализации «расщепленного» варианта программы загрузки

Дата и время	$T_{пф}$ , °С
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

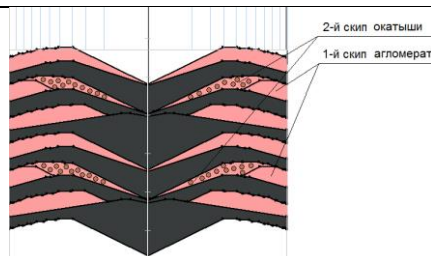


Рис. 7. Расчетная структура столба шихты на колошнике после выгрузки цикла загрузки, в котором две порции ЖРМ выгружаются поскиново

После изменения программы загрузки температура периферийных газов уменьшилась до 408 °С, расход условного кокса (с учетом коксового ореха и природного газа с коэффициентами замены 0,8) уменьшился от 532 кг/т чугуна (01–07.05.2014 г.) до 523 кг/т чугуна (09–16.05.2014 г.). С 17.05.2014 на ДП №3 был уменьшен расход природного газа на 10 м<sup>3</sup>/т чугуна, что привело к увеличению температуры периферийных газов до 600°С и расходу условного топлива до 535 кг/т чугуна. Указанные технологические изменения обусловили необходимость дальнейшей корректировки программы загрузки.

Следующим этапом изменения режима загрузки было увеличение толщины коксовых слоев в промежуточной зоне для улучшения ее газопроницаемости путем перераспределения масс порций кокса в цикле загрузки. Указанный прием был реализован в два этапа и направлен на обеспечение узкой осевой отдушины и более эффективного перераспределения газового потока от периферии к центру печи. Так, на первом этапе – 20.05.2014 г. массы порций осевого кокса скорректированной 08.05.2014 г. программы загрузки были уменьшены от 8,0 т до 7,0 т, а массы остальных коксовых порций – увеличены от 8,0 т до 8,5 т. На втором этапе – 22.05.2014 г. массы порций осевого кокса были уменьшены от 7,0 т до 6,5 т, массы остальных коксовых порций – увеличены от 8,5 т до 8,75 т. Помимо указанных изменений для сохранения устойчивого центрального газораспределения при работе с более узкой осевой коксовой отдушиной было изменено распределение одной порции железосодержащих материалов цикла загрузки с перераспределением материалов к периферийной зоне печи с использованием при выгрузке этой порции угловых положений лотка 9-5 вместо используемых ранее 8-4.

После перераспределения масс порций кокса цикла загрузки и изменения программы загрузки температура периферийных газов уменьшилась от 600 °С до 484 °С, расход условного кокса уменьшился от

535 кг/т чугуна (17–19.05.2014 г.) до 529 кг/т чугуна (23.05–09.06.2014 г.). Также после внесения изменений в программу загрузки 22.05.2014 г. зафиксировано увеличение степени использования восстановительной способности газов от 41,0 % до 42,6 %.

### ***Разработка рекомендаций по управлению окружным распределением шихтовых материалов на ДП №3***

Одним из резервов увеличения производительности доменных печей и снижения удельного расхода кокса являются оперативный контроль и управление окружным газораспределением, а также стабилизация газодинамического режима доменной плавки. Равномерный ход доменной плавки по окружности печи позволяет обеспечить высокие показатели по степени использования восстановительной способности газов и уменьшить расход энергоносителей. Для доменной плавки неизбежным является неравномерное распределение газовых потоков в доменной печи. Основными причинами неравномерности распределения газовых потоков в доменной печи являются конструктивные особенности загрузочных устройств и способа подвода дутья в печи, а также изменения газопроницаемости отдельных частей столба шихты в доменной печи [2, 30, 31].

Для обеспечения эффективного управления окружным распределением шихты (ОРШ) и газов в доменной печи загрузочное устройство должно обеспечивать возможность реализации двух режимов – равномерного распределения шихты по окружности и направленного неравномерного с подачей увеличенных или уменьшенных объемов компонентов шихты в заданные секторы колошника.

В настоящее время на ДП №3 ПАО «ЕМЗ» по рекомендации ИЧМ реализованы следующие приемы управления окружным распределением шихтовых материалов:

– смена направления вращения лотка БЗУ раз в 24 порций, что при загрузке в печь, в среднем, 8 подач в час составляет один раз в 1,5 часа;

– прием попарного перешагивания, при котором каждая последующая пара порций (порция кокса и ЖРМ) в цикле загрузки, состоящем из 12 порций, начинает выгружаться в печь при прохождении лотком смещенного по ходу или против хода часовой стрелки на 60° сектора печи по окружности (табл.5). Этот прием позволяет компенсировать окружную неравномерность шихты, вызванную образованием в печи либо незамкнутых колец, либо колец с перекрытием.

После изменения в феврале 2013 г. программы загрузки на ДП №3 существующий алгоритм требует доработки, поскольку установленная программа загрузки характеризуется образованием в печи смещенных по радиусу колошника условных «гребней» [21], что может приводить к образованию в печи концентрированной окружной неравномерности и, как следствие, к увеличению разброса температур периферийных газов. Предлагаемый алгоритм приема попарного перешагивания заключается в

том, что каждая порция матрицы загрузки начинает выгружаться в печь при прохождении лотком шести различных положений по окружности (табл.5). Предложенный прием функционирует в составе АСУ загрузкой с октября 2013 г. После установки в октябре 2013 г. скорректированного приема попарного перешагивания ДП существенно уменьшился диапазон изменения температур кладки верхних горизонтов шахты по окружности ДП №3 (рис. 8).

Таблица 5. Алгоритмы приема попарного перешагивания

№ порции	Вид материала	Гаражные положения лотка, при прохождении которых начинается выгрузка в печь						
		Прием попарного перешагивания (базовый вариант)	Скорректированный прием попарного перешагивания					
			Цикл №1	Цикл №2	Цикл №3	Цикл №4	Цикл №5	Цикл №6
1	Кокс	30	30	330	270	210	150	90
2	ЖСМ	30	30	330	270	210	150	90
3	Кокс	90	90	30	330	270	210	150
4	ЖСМ	90	90	30	330	270	210	150
5	Кокс	150	150	90	30	330	270	210
6	ЖСМ	150	150	90	30	330	270	210
7	Кокс	210	210	150	90	30	330	270
8	ЖСМ	210	210	150	90	30	330	270
9	Кокс	270	270	210	150	90	30	330
10	ЖСМ	270	270	210	150	90	30	330
11	Кокс	330	330	270	210	150	90	30
12	ЖСМ	330	330	270	210	150	90	30

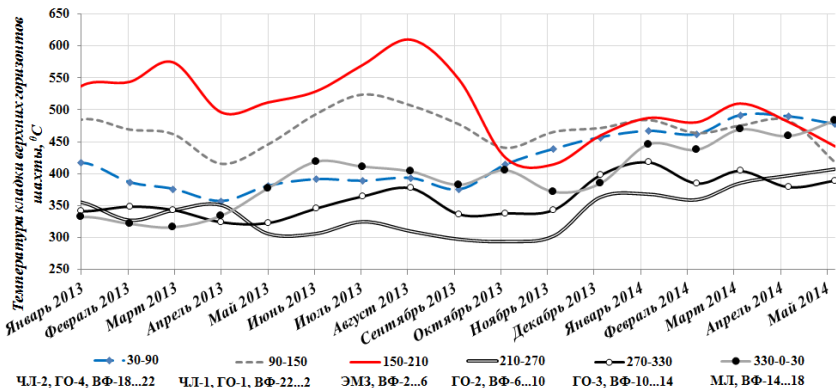


Рис. 8. Распределение температур кладки верхних горизонтов шахты по окружности ДП №3 до и после реализации скорректированного способа управления ОРШ

За период октябрь 2013 г.–май 2014 г. среднее квадратичное отклонение температур составило 51 °С, по сравнению с 79°С в предшествующем периоде апрель 2013 г. – сентябрь 2013 г.

**Заключение.** В работе показан опыт освоения энергосберегающей технологии загрузки доменной печи №3 ПАО «Енакиевский металлургический завод», оборудованной БЗУ в конъюнктурных топливно-сырьевых и технологических условиях за период 2011–2014 гг.

Показана необходимость выполнения исследований параметров потока загружаемых шихтовых материалов перед пуском новой доменной печи и при внесении конструктивных изменений в загрузочное устройство, которые позволяют после задувки печи определить и реализовать режимы работы механизмов БЗУ, необходимые для эффективного применения используемых программ загрузки доменной печи.

Сформулированы основные изменения технологических и шихтовых условий, которые обуславливают необходимость корректировки программ загрузки. Разработанные и реализованные на ДП №3 рациональные программы загрузки за период 2011–2014 гг. позволили обеспечить стабильность работы печи и приемлемые технико-экономические показатели.

Выполнена оптимизация пропускной способности системы загрузки БЗУ при контактном и бесконтактном способе контроля уровня засыпи, показано преимущество радиолокационных уровнемеров для контроля уровня засыпи в печи.

Представлен опыт выбора рациональных углов наклона лотка БЗУ при изменении конфигурации футеровки лотка. Разработаны мероприятия по оперативному управлению периферийным газовым потоком, в том числе при переходе в перспективе на технологию вдувания пылеугольного топлива.

Разработаны и реализованы рекомендации по управлению окружным распределением шихтовых материалов на ДП №3, которые позволили уменьшить неравномерность температур кладки верхних горизонтов шахты доменной печи.

1. *Большаков В.И.* Технология высокоэффективной энергосберегающей доменной плавки / В.И. Большаков. – К. : Наук. думка, 2007. – 412 с.
2. *Большаков В.И.* Теория и практика загрузки доменных печей / В.И. Большаков. – М.: Металлургия, 1990. – 256 с.
3. *Исследование влияния конструктивных особенностей загрузочных устройств на распределение шихты в доменной печи* / Большаков В.И., Варивода И.Е., Рослик Н.А., Шулико С.Т., Шутылев Ф.М. // Сталь. –1999. –№1. – С.10–14.
4. *Освоение системы загрузки современной доменной печи* / В.И. Большаков, А.Ю. Зарембо, Н.Г. Иванча и др. // Обз. инф. Ин-т «Черметинформация». – М. – 1989. – 53с.
5. *Предпусковые исследования распределения материалов в доменной печи объемом 5500 м<sup>3</sup>* / Н.М. Можаренко, В.И. Большаков, А.Ю. Зарембо и др. //

- Черная металлургия. Наука–техника–производство. Тр. ИЧМ. М.: Металлургия. 1989. – С. 56–63.
6. *Освоение* на доменной печи объемом 2000 м<sup>3</sup> первого отечественного бесконусного загрузочного устройства и технологии плавки с его использованием. / В.Д.Гладуш, И.И.Дышлевич, В.И.Большаков и др. // *Сталь*. 1985, № 11. – С. 7–13.
  7. *Большаков В.И.*, Зарембо А.Ю., Гришкова А.А. Результаты внедрения алгоритма "Траектория" в составе АСУ загрузкой доменной печи // Автоматизация технологических процессов и управление производством в черной металлургии. Тр. ВНИИАЧермет. М. 1987. – С. 30–33.
  8. *Исследования* параметров потока шихтовых материалов и их распределения на колошнике современной доменной печи / В.И.Большаков, Ю.С.Семенов, Н.Г.Иванча и др. // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2012. – № 3. – С. 87–92.
  9. *Модель* радиального распределения шихтовых материалов на колошнике доменной печи, оборудованной БЗУ / В.И.Большаков, Ю.С.Семенов, В.В.Лебедь, Е.И.Шумельчик, В.И.Вишняков // «Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии». Сб. научн. тр. ИЧМ. – 2011. – Вып.23. – С. 52–62.
  10. *Модельная* система выбора и корректировки программ загрузки доменной печи, оборудованной БЗУ / Ю.С.Семенов, Е.И.Шумельчик, В.И.Вишняков и др. // *Металлург*. – 2012. – № 9 – С. 36–40.
  11. *Большаков В.И., Семенов Ю.С., Кузнецов А.М.* Опыт освоения современной доменной печи, оборудованной БЗУ, в условиях изменяющегося качества шихтовых материалов // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2013. – № 2. – С. 82–86.
  12. *Освоение* режимов загрузки доменной печи, оборудованной БЗУ, в условиях нестабильного качества шихтовых материалов / В.И.Большаков, Ю.С.Семенов, Е.И.Шумельчик и др. – Сборник трудов VI Международного Конгресса по агло-коксо-доменному производству, 20-24 мая 2013. – С. 60–71.
  13. *Регулирование* распределения материалов и газов в доменной печи объемом 2700 м<sup>3</sup> / Н.А. Потаничев, В.А. Костров, А.П. Котов, В.Д. Кайлов // *Металлург*. – №10. – 1972. – С. 14–16.
  14. *Мазун А.И., Цейтлин М.А.* Выбор оптимального режима загрузки доменной печи объемом 2000 м<sup>3</sup> // *Сталь*. – №10. – 1968. – С. 886.
  15. *Москалина Ф.Н.* Определение массы подачи шихтовых материалов для доменных печей // *Вопросы теории и практики производства чугуна* (тематический сборник научных трудов). – М.: Металлургия, 1986. – С. 65–69.
  16. *Гуденау Г.В., Сасабе М., Крайбих К.* Исследования на охлажденных доменных печах в Японии // *Черная металлургия*. – № 6–7. – 1977. – С. 13–17.
  17. *Влияние* массы железорудной подачи на технико-экономические показатели доменной плавки / В.П. Лялюк, В.А. Шеремет, А.К. Тараканов и др. – Бюллетень «Черная металлургия», №11, 2010, С. 29–34.
  18. *Тайхерт Э., Гунта В.Н.* Влияние различной крупности кокса на режим работы доменной печи с горном диаметром 7,8 м // *Черные металлы*. – №14–15. – 1976, С. 19–23.
  19. *Беер Г., Цишкале В.* Влияние свойств кокса на показатели работы доменной печи // *Черные металлы*, №16, 1968, С. 3–10.

20. *Ковшов В.Н., Петренко В.А.* Экспериментальные исследования движения шихты и газа в доменной печи, Институт технологии – 1996, – 124 с.
21. *Семенов Ю.С.* Выбор рациональных режимов загрузки доменной печи, оборудованной БЗУ, для условий работы с малой массой подачи и с нестабильным качеством шихтовых материалов // «Черметинформация». Бюллетень «Черная металлургия», 2013. – № 12. – С. 14–19.
22. *Волков Ю.П., Шпарбер Л.Я., Гусаров А.К.* Технолог-доменщик. – М.: Металлургия, – 1986 г., 263 с.
23. *Современная* автоматизированная система контроля распределения температурного поля газового потока по сечению колошника над уровнем засыпи в доменной печи / Б.Е.Бориславский, Н.Г.Баланова, А.Б.Бориславский и др.– Сборник трудов VI Международного Конгресса по агло-коксо-доменному производству, 20-24 мая 2013. – С. 331–341.
24. *Анализ* пропускной способности систем загрузки доменных печей / В.И.Большаков, Ф.М.Шутылев, Н.Г.Иванча и др. // Металлург. 1986, № 5. – С. 13–15.
25. *Большаков В.И.* Анализ пропускной способности систем загрузки при проектировании реконструкции доменной печи // Металлург, 1986, № 2. – С. 14–16.
26. *Вегман Е.Ф., Жеребин Б.Н., Похвиснев А.Н., Юсфин Ю.С.* Металлургия чугуна. – М.: Академкнига, 2004. – 774 с.
27. *Опыт* и перспективы применения пылеугольного топлива на доменных печах Украины / В.И. Большаков, А.Л. Чайка, В.В. Лебедь, А.А. Сохацкий // Металл и литье Украины. – 2013. – № 10. – С. 5–10.
28. *Исследование* металлургических свойств окатышей и особенности их использования / Большаков В.И., Гладков Н.А., Нестеров А.С. и др. // Сталь. – 2004. – № 10. – С.6–11.
29. *Большаков В.И., Гладков Н.А., Шутылев Ф.М.* Совершенствование распределения окатышей по сечению доменной печи // Металлургическая и горнорудная промышленность. 2003, № 1. – С. 12–15.
30. *Большаков В.И., Рослик Н.А.* Исследование неравномерности окружного распределения материалов в доменной печи лотковым распределителем //Металлургическая и горнорудная промышленность, 1997.–№1. – С.10–12.
31. *Большаков В.И., Муравьева И.Г., Семенов Ю.С.* Применение радиолокационных систем измерения поверхности засыпи шихты для контроля и управления доменной плавкой /. – Днепропетровск: Пороги, 2013. – 364 с.

*Статья рекомендована к печати  
д.т.н., проф. Тогобицкой Д.Н.*