

УДК 669.162.21:669.162.24.001.86

В.И.Большаков, Н.Г.Иванча, В.В.Лебедь, И.Г. Муравьева

ОСОБЕННОСТИ ОСВОЕНИЯ СИСТЕМЫ ЗАГРУЗКИ ДОМЕННОЙ ПЕЧИ, ОСНАЩЕННОЙ ЛОТКОВЫМ БЗУ

Выполнена оценка эффективности технических решений, реализованных при проведении капитального ремонта 1-го разряда доменной печи (ДП) объемом 2200 м³. Предложены режимы загрузки, обеспечившие улучшение технико-экономических показателей плавки, и даны рекомендации по совершенствованию работы реконструированной системы загрузки.

Введение.

Доменная печь № 6 НТМК, предназначенная для выплавки чугуна из ванадийсодержащих титаномагнетитовых руд, после реконструкции пущена в эксплуатацию в сентябре 2004 г. На основании опыта комбината при проектировании объем печи принят равным 2200 м³. При реконструкции на печи реализован ряд новых технических решений, направленных на достижение устойчивых высоких технико-экономических показателей плавки титаномагнетитов и увеличение длительности кампании печи путем применения новых конструктивных решений и материалов. Важными задачами реконструкции являлись также оснащение печи современными средствами контроля и управления технологическим процессом и работой оборудования, энергосбережение и уменьшение выбросов в окружающую среду.

Современное состояние вопроса. Проектом реконструкции для выплавки 1,7 млн.т чугуна в год при работе печи на холодном агломерате и окатышах предусматривалась реализация следующих технических решений [1]:

- замена грохотов для отсева мелочи агломерата и кокса;
- замена пластинчатых конвейеров ленточными с установкой конвейерных весов;
- установка бункерных весов окатышей и добавок;
- установка лоткового бесконусного загрузочного устройства фирмы «Витковице»;
- установка двух восьмиточечных термобалок для контроля распределения газов по диаметру печи;
- защита футеровки горна и лещади из углеродистых и графитированных блоков внутренним керамическим стаканом из алюмокарборундового материала с низкой теплопроводностью и хорошей устойчивостью к воздействию жидких продуктов плавки; что позволяет уменьшить температуру углеродистой футеровки и потери тепла;
- охлаждение кожуха в районе горна и лещади печи наружным поливом;

- установка в нижней части шахты и в распаре двух рядов медных холодильников общей высотой 8,1 м;
- установка 22 фурм диаметром 160 мм с сильфонными приборами фирмы «P. Wurth»;
- закладка термопар для измерения температуры футеровки горна, холодильников и кожуха печи;
- использование двух радиолокационных уровнемеров для измерения уровня засыпи;
- оснащение печи двумя летками, расположенными на одном диаметре и обслуживаемыми гидравлическими пушками и бурмашинами;
- обеспечение уменьшения выбросов, повышения безопасности рабочих и уменьшения трудовых затрат за счет укрытия высокостойких желобов и системы аспирации;
- оснащение печи АСУ ТП фирмы VAI, включающими подсистемы управления верхней и нижней загрузкой, воздухонагревателями, аспирацией, газоочисткой, подсистему сбора данных и обработки информации.

Изложение основных материалов исследования.

Предпусковые испытания и первый период работы печи. Институтом черной металлургии (ИЧМ) за тридцать лет исследований, освоения и технологического сопровождения новых и реконструированных доменных печей, оснащенных бесконусными загрузочными устройствами (БЗУ), накоплен значительный опыт такого сопровождения, отличающегося комплексным подходом на всех стадиях реконструкции печи, начиная с разработки технологического задания. В технологическом задании определяется сырьевая база, объем производства и основные технические решения, структура, состав и параметры оборудования системы загрузки, обеспечивающие реализацию технологических функций и нормативный запас пропускной способности, обосновывается необходимый состав средств контроля и управления [2,3]. При разработке ИЧМ использует ряд собственных оригинальных методик расчета технологических параметров процесса и конструктивных параметров оборудования, в частности, методику определения основных размеров распределительного органа (лотка), обеспечивающую выбор его рациональной длины на стадии проектирования. В процессе разработки проекта реконструкции проводится его обсуждение, рецензирование и экспертная оценка заказчиком, изготовителем и специалистами проектных и научных институтов. После завершения строительства, наладки машин и систем управления, проводятся предпусковые испытания, во время которых определяются параметры работы оборудования, в частности, расходные характеристики основных машин системы загрузки, уточняются временные уставки и пропускная способность системы загрузки и ее подсистем [4]. Результаты предпусковых исследований, связанные с изучением особенностей движения шихтовых материалов в рабочем пространстве печи, необходимы для разработки рациональных режимов загрузки доменной печи, оборудованной БЗУ.

Основными из них являются: расходные характеристики трактов БЗУ, характеристики потока различных шихтовых материалов и их смесей при движении по лотковому распределителю и в печном пространстве (траектории и ширина потока, пересыпание шихты через борт лотка, точки пересечения траекторий с колошниковой защитой), а также параметры профиля засыпи, полученного при определенной программе загрузки.

Отсутствие результатов предпусковых исследований, которые должны были выполняться перед задувкой ДП-6 фирмой «Mi-Fi-Bu Skeleting» и опыта управления распределением шихты при помощи БЗУ, значительно затруднило осуществление контроля и корректировки программ загрузки персоналом печи. Поэтому в первом периоде эксплуатации ДП-6 работала, в основном, по рекомендованной фирмой «Mi-Fi-Bu Skeleting» программе загрузки, которая не обеспечивала рациональное газораспределение и экономичность работы печи и не позволила достигнуть проектного расхода кокса. В рекомендациях «Mi-Fi-Bu Skeleting» не предусматривались приемы управления распределением по радиусу колошника компонентов железорудной шихты (агломерата и окатышей), что недопустимо при большой разнице их основности CaO/SiO_2 (для ДП-6 – 2,2 ед. и 0,3 ед., соответственно). Из шести месяцев эксплуатации печи два месяца печь работала на передельном чугуна, а четыре месяца выплавляла ванадиевый чугун. За четыре месяца средний объем производства чугуна составил 4428 т/сутки, а расход кокса – 455 кг/т при расходе природного газа 102 м³/т. Простой составили 3 %, а продолжительность работы «на тихом ходу» – 1,8 %. Лучшие показатели были достигнуты в ноябре 2004 г.: производство чугуна – 4747 т/сут., расход кокса – 435 кг/т при расходе природного газа 115 м³/т, простой составили 1,35 %, а работа «на тихом ходу» – 3,43 %. Типичной программой загрузки, применявшейся на ДП-6 в указанный период, являлась программа: К – 2334456789, Р – 2233445678. Эта программа и другие ее модификации были направлены на формирование M-образных профилей засыпи, но применение этих программ на ДП-6 оказалось малоэффективным. Одним из следствий явилось образование куполообразного профиля засыпи. В результате длительного применения малоэффективных программ загрузки, сопряженного с частыми задержками загрузки и недостаточной наладкой загрузочного оборудования ДП-6, проявился повышенный нагрев нескольких холодильников заплечиков, что необходимо было учитывать при разработке новых программ загрузки.

Во второй половине февраля 2005г. на ДП-6 применялась модернизированная программа загрузки, разработанная технологами доменного цеха НТМК. При создании указанной программы решалась задача уменьшения газопроницаемости периферийной зоны. Применение программы позволило уменьшить периферийные температуры, однако не исключило образования ярко выраженного куполообразного профиля засыпи за счет нерационального распределения объемов шихтовых материалов по радиусу колошника.

С марта 2005 г. оценка хода доменной печи и разработка программ загрузки осуществлялись совместно технологическим персоналом цеха и сотрудниками ИЧМ. Установлено, что основными недостатками работы печи в первом периоде были неровный ход печи из-за задержек загрузки, сбоев в системе управления, значительной величины простоев и «тихих ходов», вызванных задержками неналаженного оборудования, недостаточной пропускной способностью системы загрузки; применение несовершенной программы загрузки, недостаточная подготовка и отсутствие опыта персонала по её корректировке. Основные усилия персонала доменной печи и сотрудников ИЧМ были направлены на устранение указанных недостатков.

В процессе наблюдений в первом периоде была выявлена следующая особенность работы ДП-6. До проведения исследований в марте 2004 г. на печи был установлен уровень засыпи 1,25 м. Из-за недостаточной пропускной способности системы загрузки этот уровень часто понижался на значительное время. Наблюдение за изменениями состояния печи показало, что даже относительно небольшое и непродолжительное понижение уровня засыпи приводило к существенным изменениям газораспределения и хода печи. По-видимому, одной из причин этого явления было то, что на уровне 1,20 м от технологического нуля заканчивается цилиндрическая часть колошника, высота которой необычно мала по сравнению с колошником типовых печей. Ниже уровня 1,20 м диаметр колошниковых плит начинает увеличиваться. Точки пересечения траекторий движения шихты с поверхностью засыпи при понижении уровня отдалялись от оси печи, а площадь периферийной зоны при этом увеличивалась, в ней происходило ошутимое перераспределение шихтовых материалов, а, возможно, и рудных нагрузок. Учитывая конструктивные особенности колошника ДП-6, было принято решение поднять уровень засыпи до 1,0 м без изменения углов наклона лотка. При этом выраженной реакции печи на данное воздействие отмечено не было, но ход печи стал более стабильным. На кратковременную попытку установить уровень засыпи 0,75 м печь бурно реагировала быстрым увеличением интенсивности газового потока в осевой зоне (видимо повышение уровня засыпи существенно понизило газопроницаемость шихты в периферийной зоне). В результате в качестве рабочего значения был принят уровень засыпи 0,9 м, для которого были скорректированы углы наклона лотка.

Специалистами ИЧМ была осуществлена оценка применявшихся на ДП-6 НТМК программ загрузки и их влияния на ход плавки. Неровный ход печи и неудовлетворительные показатели её работы требовали оперативной разработки новых эффективных программ загрузки. Синтез новых программ загрузки базировался на разработанной специалистами ИЧМ методике расчета показателей распределения шихты по радиусу колошника, адаптированной к БЗУ фирмы «Витковице». Оперативный анализ, экспертная оценка хода доменной плавки и особенностей газораспределения по сечению печи осуществлялись на основании суточных отчетов о

работе ДП–6. Эффективность применения новых программ загрузки подтвердилась увеличением ровности хода и экономичности плавки.

В качестве примера применения указанной методики для совершенствования программ загрузки приведены результаты работы в течение двух периодов, в которых применялись разные программы загрузки (табл.1). В периоде 1 применялась программа «А», которая была установлена в марте 2005г., а в периоде 2 – программа «Б» (которая является одной из модификаций программы «А»), реализованная на ДП–6 по рекомендации ИЧМ в конце апреля. Программы загрузки имели следующий вид: программа «А» – 1(номер порции в цикле)–К(кокс)–2345556789; 2–А(агломерат)–112223359; 3–К–1223344679; 4–О (окатыши)–344556788; программа «Б»–1–К–2345556789; 2–А–111223357; 3–К–2233344679; 4–О–344556789; 5–К–2345556789; 6–А–111223357; 7–К–2233344679; 8–О–344556678.

Таблица 1. Основные технико–экономические показатели работы доменной печи №6 в различные периоды работы.

Показатель	Периоды работы	
	1	2
Применяемая программа загрузки	Программа «А»	Программа «Б»
Среднесуточное производство чугуна, т/сут	4610	4335
Расход дутья, нм ³ /мин	4204	3572
Давление дутья, ати	2,94	2,90
Температура дутья, °С	1180	1228
Содержание О ₂ в дутье, %	20,4	23,6
Давление колошникового газа, ати	1,54	1,50
Перепад давления в печи, ати	1,41	1,46
Рудная нагрузка, т/т	3,80	4,02
Содержание Si в чугуне, %	0,10	0,10
Содержание S в чугуне, %	0,029	0,022
Основность шлака, ед.	1,14	1,18
Удельный расход кокса, кг/т чугуна	453	430
Расход природного газа, м ³ /т чугуна	82	107
Простои, %	0,17	3,40

Показатели распределения шихты и схемы расположения слоев шихты на колошнике при загрузке ДП–6 по программам «А» и «Б» представлены в табл.2 и на рис.1. Как видно из табл.2, программа загрузки «Б» характеризуется более нагруженной железорудными материалами периферией (зоны 1 и 2) и более раскрытой осью печи (зоны 9 и 10). Газораспределение по радиусу ДП–6 (рис.2) соответствует распределению рудных нагрузок, рассчитанных по методике ИЧМ. В отличие от привычных для доменщиков СНГ зондов

для отбора и анализа распределения химсостава газов под уровнем засыпи (CO , CO_2 и H_2), а иногда и температуры газов, доменная печь № 6 НТМК оснащена двумя восьмиточечными термобалками, расположенными над уровнем засыпи на одном диаметре, смещенном на 18° от диаметра расположения леток печи обычно считают, что термопары термобалок дают кривую распределения температуры газов по радиусу, обратные по виду по сравнению с графиком распределения CO_2 . Хотя точной количественной связи между температурой и содержанием CO_2 нет, термобалки позволяют оценивать распределение химсостава газов по диаметру печи.

Таблица 2. Показатели распределения шихты в ДП-6 при различных программах загрузки

Про- грамма за- грузки	По- ка- за- тель	Номер кольцевой зоны										Σ , ср
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
«А»	R, т/т	5,29	5,29	4,23	2,82	4,23	2,11	2,11	8,46	2,11	2,11	3,81
	V, м ³	8,347	16,54	16,54	13,71	16,54	8,193	8,193	8,347	8,193	8,193	105
«Б»	R, т/т	7,46	7,46	3,36	2,99	4,48	3,36	4,48	4,48	1,12	1,12	4,03
	V, м ³	17,33	27,04	37,97	27,04	32,81	18,99	21,88	10,94	13,21	13,21	207,2

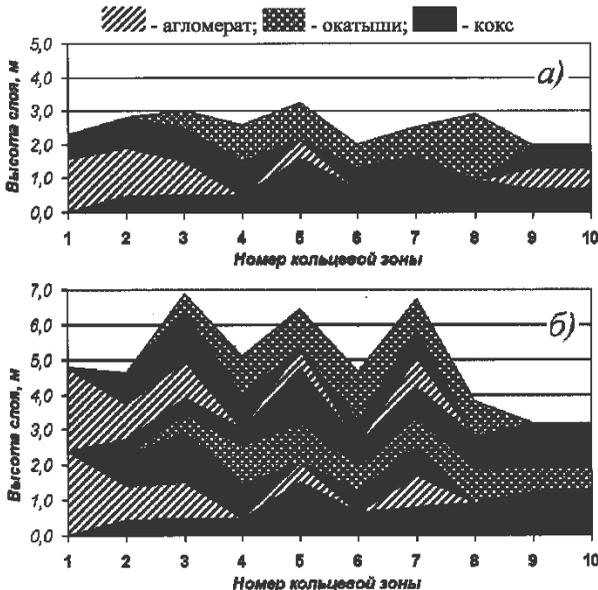


Рис.1. Схема расположения слоев шихтовых материалов на колошнике ДП №6 при различных программах загрузки: а) схема слоев шихты при программе загрузки «А»; б) схема слоев шихты при программе загрузки «Б».

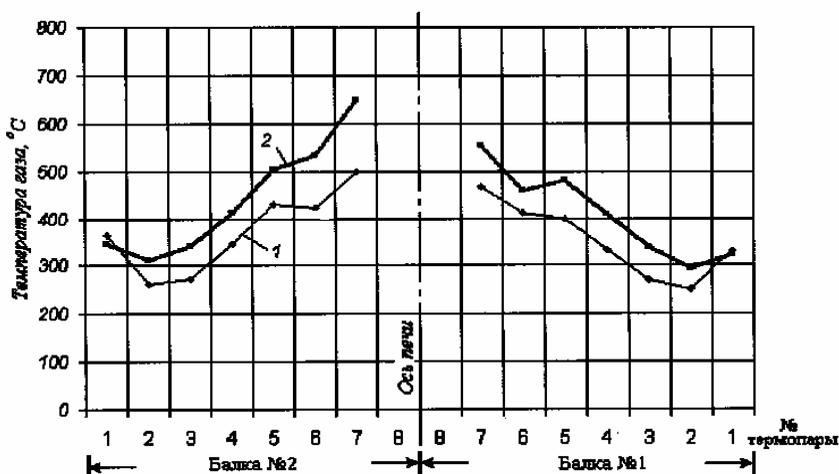


Рис.2. Распределение температур газового потока по диаметру колошника ДП-6 НТМК. 1 – распределение температур газа при применении программы загрузки «А»; 2 – распределение температур газа при применении программы загрузки «Б»;

При использовании программы «А» были достигнуты следующие технико-экономические показатели (табл.1): производство чугуна – 4610 т/сут, расход дутья – 4204 м³/мин, рудная нагрузка – 3,80 т/т, при этом расход кокса составил 453 кг/т чугуна. Сформированное программой загрузки «Б» (рис. 2) газораспределение характеризовалось развитым, но достаточно узким осевым газовым потоком («осевая отдушина») и умеренно развитым потоком на периферии, способствовавшими ровности хода печи и экономичности плавки. Средний расход кокса во время использования программы «Б» составил 430 кг/т чугуна, среднесуточное производство чугуна – 4335 т/сут. Применение программы «Б», по сравнению с программой «А», способствует более экономичной, но менее интенсивной доменной плавке.

В опытный период специалистами ИЧМ выполнена предварительная экспертная оценка эффективности ряда технологических и технических решений, реализованных во время капитального ремонта.

Оценка пропускной способности, функциональных и технологических возможностей системы шихтоподачи. При условии правильного выбора параметров основного оборудования и использования технологических алгоритмов основных операций, обеспечивающих требуемую пропускную способность и технологическую гибкость системы, структурную схему шихтоподачи ДП № 6 (рис.3) можно считать достаточно рациональной.

Система обладает необходимым уровнем резервирования основного оборудования и отдельных подсистем подачи различных видов сырья, позволяет обеспечить индивидуальное дозирование, взвешивание компонентов шихты, отсеивание некондиционных фракций с эффективностью не ни-

же 55–60 %, формирование смешанных железорудных порций, а также загрузку, при необходимости, отсеянных на первичной стадии грохочения фракций агломерата и кокса в доменную печь. Необходимым условием эффективного последующего использования указанных выше технологических возможностей системы и обеспечения её высокой надежности является соответствующая производительность каналов дозирования отдельных видов шихтовых материалов, определяемая и реализуемая на стадии проектирования.

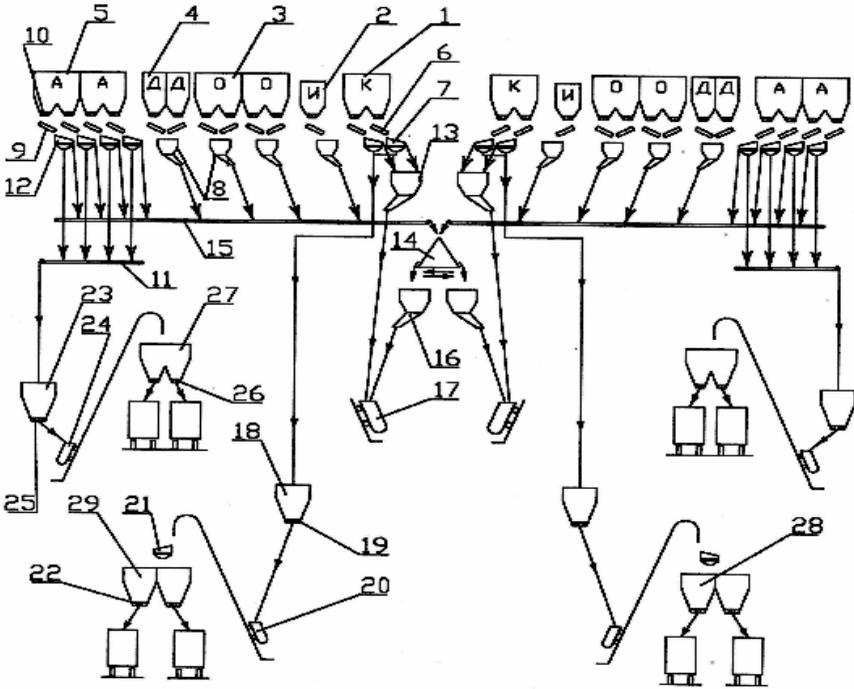


Рис.3. Структурная схема системы шихтоподачи доменной печи № 6 НТМК.

1 – бункер кокса; 2 – бункер известняка; 3 – бункер окатышей; 4 – бункер добавок; 5 – бункер агломерата; 6 – питатель кокса; 7 – грохот кокса; 8 – бункерные весы окатышей, добавок; 9 – питатель агломерата; 10 – шиберный затвор; 11 – конвейер мелочи агломерата; 12 – грохот агломерата; 13 – бункерные весы кокса; 14 – передвижной лоток; 15 – ленточный конвейер; 16 – бункерные весы железорудных материалов; 17 – скип; 18 – нижний бункер коксовой мелочи; 19 – затвор мелочи кокса; 20 – скип мелочи кокса; 21 – грохот рассева коксовой мелочи; 22 – затвор верхнего бункера коксовой мелочи; 23 – нижний бункер мелочи агломерата; 24 – скип мелочи агломерата; 25 – затвор мелочи агломерата; 26 – отсечной затвор; 27 – верхний бункер мелочи агломерата; 28 – бункер кокса фракции 0–25 мм; 29 – бункер кокса фракции 25–40 мм.

Оборудование системы шихтоподачи ДП–6 (рис.3) расположено симметрично по обе стороны скиповой ямы. Каждая сторона системы состоит из канала дозирования кокса, двух каналов дозирования агломерата, двух каналов дозирования окатышей и трех каналов дозирования добавок. Агломерат, окатыши и добавки ленточным конвейером через передвижной лоток загружаются в бункерные весы железорудных материалов. Кокс дозируется непосредственно в бункерные весы, находящиеся над скиповой ямой. Каждый канал дозирования оснащен питателями, обеспечивающими выгрузку шихтовых материалов из расходных бункеров на грохот (агломерат и кокс) или в бункерные весы (окатыши и добавки). Питатели снабжены системами дистанционного управления режимом их работы, обеспечивающими изменение производительности питателей. При подаче материала на грохот это позволяет осуществить выбор рационального значения нагрузки на грохот по исходному продукту и обеспечить высокую эффективность грохочения. Бункерные весы оснащены секторными затворами с приводами типа МЭП.

Существующий состав оборудования и структурная схема системы шихтоподачи позволяет реализовать формирование смешанных железорудных порций тремя способами. Смешивание агломерата и окатышей необходимо для обеспечения устойчивой работы ДП–6 с повышенным содержанием окатышей (50–60 %) в шихте. Первый способ заключается в последовательной загрузке доз агломерата и окатышей в бункерные весы в заданном соотношении. При этом послойная укладка компонентов смешанных порций в бункерные весы обеспечивает их последующее перемешивание в процессе перегрузок из бункерных весов в скип и из скипа в загрузочное устройство. Обязательным условием формирования смешанных порций, содержащих окатыши, является подача агломерата в верхний слой первого скипа порции, то есть, формирование, так называемой, головной части порции заданной массы. Другим способом формирования смешанных железорудных порций является синхронная загрузка агломерата и окатышей конвейерами обеих сторон шихтоподачи также с обязательным условием создания головной части порции из агломерата или отсева агломерата.

Оба эти способа могут быть реализованы в существующих условиях работы системы шихтоподачи после проведения подготовительных работ по настройке требуемых параметров работы грохотов и питателей агломерата и кокса без существенного уменьшения пропускной способности. При условии согласования значений производительности потоков агломерата, подаваемого грохотами, и окатышей, выгружаемых из бункерных весов, а также увеличения производительности ленточных конвейеров возможно послойное наложение агломерата и окатышей на конвейере и подача потока смеси в бункерные весы железорудных материалов (третий способ).

Следует отметить, что при проектировании реконструкции шихтопо-

дачи допущен ряд просчетов в определении требуемых параметров оборудования, что не позволяет в полной мере использовать технологические возможности, снижает её производительность и надежность. К наиболее существенным недостаткам, явившимся следствием некачественной разработки требований к оборудованию на стадии разработки технологического задания, считаем необходимым отнести следующие: низкая производительность питателей кокса и агломерата; недостаточная производительность ленточного конвейера; неправильный выбор конструкции затворов и сечений выпускных отверстий бункерных весов кокса. Перечисленные недостатки, в первую очередь, сказываются на уровне пропускной способности системы загрузки, которая в настоящий момент явно недостаточна для стабильной высокопроизводительной работы доменной печи.

В период проведения обследования система работала с пропускной способностью на уровне 7 подач/час. При рационально организованной циклограмме работы оборудования шихтоподачи её пропускная способность (Q) определяется продолжительностью загрузки скипов (продолжительностью циклов работы затворов бункерных весов) и движения их на колошник:

$$Q = \frac{3600}{n_r(t_{ck_r} + t_{зБВ_r}) + n_k(t_{ck_k} + t_{зБВ_k})},$$

где n_r и n_k – соответственно, количество скипов с железорудными материалами и коксом в подаче; t_{ck_r} и t_{ck_k} – соответственно, продолжительность движения скипов с железорудными материалами и коксом на колошник, с; $t_{зБВ_r}$ и $t_{зБВ_k}$ – соответственно, продолжительность загрузки скипов железорудными материалами и коксом, с.

Работа остальных механизмов (грохотов, конвейеров, бункерных весов окатышей и добавок) должна быть совмещена во времени с загрузкой и движением скипов на колошник.

Результаты оценки величин t_{ck_r} , t_{ck_k} , $t_{зБВ_r}$, $t_{зБВ_k}$ показали, что продолжительность движения скипов на колошник составляет 56–58 с, а продолжительность загрузки скипов железорудными материалами и коксом (то есть, продолжительность работы циклов затворов бункерных весов железорудных материалов и кокса), соответственно, 31–39 с и 66–71 с. Приведенные значения параметров обуславливают максимальную пропускную способность системы шихтоподачи в режиме «догонка меры» не более 8,0 – 8,1 подач/час (при этом продолжительность загрузки одной подачи составляет 440 – 450 с), что явно недостаточно. Реализуемый в практике доменного производства СНГ уровень составляет 11 – 12 подач/час и более.

Существующий уровень пропускной способности является недостаточным, учитывая, что такой показатель достигается при работе полным составом оборудования обеих сторон системы шихтоподачи и не может

поддерживаться в течение длительного периода. Основными факторами, ограничивающими пропускную способность системы, являются чрезмерно большая продолжительность циклов работы затворов бункерных весов (правых рудных и коксовых) и движения скипов на колошник. Рациональная продолжительность цикла работы затворов бункерных весов не превышает 30 – 35 с, а продолжительность движения скипов – 40 – 45 с. При таких значениях указанных параметров пропускная способность шихтоподачи составляет 11,0 – 11,5 подач/час, а продолжительность загрузки одной подачи – 310 – 330 с. Уменьшение времени движения скипов достигается настройкой скоростных режимов работы скиповой лебедки в соответствии с паспортной тахограммой. Уменьшение продолжительности циклов работы затворов бункерных весов является более сложной задачей, решение которой связано с их реконструкцией, реализуемой только при достаточно длительной стоянке печи. Основными причинами большой продолжительности циклов работы затворов бункерных весов кокса являются недостатки конструкции бункера весов (малые величины углов наклона ребер) и недостаточные размеры сечения выпускного отверстия. Вследствие этого, основная масса дозы кокса (до 85 – 90%) выгружается в течение 30 – 40 с, а затем расход выгружаемого потока значительно падает, что увеличивает продолжительность загрузки скипа. Ситуация усугубляется применением приводов типа МЭП на затворах бункерных весов, время срабатывания которых при открывании и закрывании достигает 6 – 8 с. Для приводов типовой конструкции значение этого параметра не превышает 3 – 4 с.

После уменьшения продолжительности загрузки скипов и доставки их на колошник сдерживающими факторами будут являться недостаточная производительность отдельных подсистем подачи агломерата и кокса. Для достижения пропускной способности шихтоподачи на уровне 11,0 – 11,5 подач в час полный цикл набора материалов в бункерные весы железорудных материалов или кокса не должен в среднем превышать 250 с. В настоящее время, при раздельной загрузке агломерата и окатышей подачами вида АА↓КК↓ – ОО↓КК↓ и последовательной загрузке железорудных материалов в бункерные весы продолжительность набора первого рудного скипа, состоящего из агломерата и отсева агломерата, при работе полным составом оборудования двух сторон шихтоподачи с учетом времени транспортирования составляет 240 – 270 с (доза агломерата – 17500 кг). Набор дозы агломерата массой 26500 кг во второй скип подачи длится 230 – 270 с, а набор дозы окатышей массой 26500 кг – 160 – 180 с. Очевидно, что подсистема подачи агломерата в существующем виде не в состоянии обеспечить стабильную работу шихтоподачи с производительностью 11,0–11,5 подач/час. При работе одной стороной система шихтоподачи не всегда может обеспечить даже существующий уровень пропускной способности.

Подсистема подачи кокса в настоящее время также не в состоянии

обеспечить ритмичную высокопроизводительную работу доменной печи с достаточным нормативным резервом. Производительность работы двух грохотов кокса при наборе дозы, как правило, не превышает 20 – 25 кг/с. В результате, продолжительность набора дозы кокса массой 6500 кг достигает 350 с, что при продолжительности выгрузки дозы кокса в скип 65,0 – 70,0 с, является уровнем близким к критическому в отношении производительности системы шихтоподачи в целом. Низкая производительность грохотов связана с ограничением производительности питателей, подающих кокс на грохот. Предварительная оценка показывает, что основными причинами ограничения производительности питателей в настоящее время являются возможное переполнение загрузочного участка грохота кокса (на всех питателях кокса) и необходимость равномерного заполнения бункера весов кокса (устанавливается пониженная производительность питателей грохотов ближних к доменной печи). Решение задачи повышения производительности грохотов кокса требует детального обследования в целом тракта подачи кокса с целью определения возможности изменения и выбора конструктивных параметров участка движения материала «расходный бункер – питатель – грохот».

Следует отметить, что определенный резерв пропускной способности системы заключается в совершенствовании алгоритмов управления оборудования шихтоподачи и алгоритмов дозирования шихтовых материалов с целью исключения цикловых простоев механизмов. Первоочередным мероприятием по увеличению пропускной способности, которое может быть внедрено без проведения работ по реконструкции оборудования, является сокращение продолжительности движения скипов на колошник до 45 с, что позволит уменьшить продолжительность одной подачи до 400 с и увеличить пропускную способность системы при работе в режиме «догонка меры» до 9 подач/час.

Взвешивание и дозирование компонентов шихты. Во время капитального ремонта бункерные весы кокса, железорудных материалов и добавок модернизировались путем установки тензодатчиков. Для обеспечения устойчивой работы доменной печи и высокого качества чугуна должна быть проведена полномасштабная реконструкция весового оборудования шихтоподачи. Необходимыми мероприятиями по реконструкции бункерных весов являются: реконструкция опорных частей (поясов) весов с переносом узлов встройки тензодатчиков выше уровня центра тяжести; модернизация узлов встройки тензодатчиков; установка гибких ограничителей горизонтальных перемещений бункера весов; модернизация устройств поверки весов; замена герметичных уплотнений весов на стыке с аспирационными «зонтами» уплотнительными поясами из листовой резины или металла с зазором по отношению к конструкциям весов. Для контроля эффективности грохочения агломерата требуется проведение наладочных работ и поверка конвейерных весов отсева агломерата.

Оценка погрешности дозирования железорудных материалов и кокса

показала, что погрешность дозирования шихтовых материалов находится в пределах $1,0 \div 10,0$ %. Несмотря на наличие системы коррекции, высокая погрешность дозирования агломерата приводит к отклонениям рудной нагрузки от заданного значения в цикле загрузки. Предельным периодом времени, в течение которого система коррекции должна нивелировать возникающие возмущения, является 1 – 2 цикла загрузки. С учетом этого критерия, а также того фактора, что коррекция осуществляется по массе набранной дозы без учета выгруженной, можно сделать вывод, что существующий алгоритм коррекции погрешности дозирования недостаточно эффективен. В качестве одного из основных недостатков системы управления дозированием следует отметить ручной ввод оператором–технологом уставки массы, определяющей момент отключения загружающего механизма. Определение текущего значения этого параметра и его корректировка, обычно, осуществляется автоматически в составе алгоритма дозирования. В целом задача повышения точности дозирования шихтовых материалов может быть решена путем изменения и корректировки математического и программного обеспечения системы управления.

Автоматизированная система контроля и управления загрузкой шихты. Информация о работе комплекса доменной печи, в частности, параметры режима загрузки (программы верхней и нижней загрузки), контролируемые параметры дутья и газоочистки, общий химический анализ газов, температуры системы охлаждения, характеристики работы воздухонагревателей, параметры механизмов шихтоподачи и БЗУ, показания измерений распределения температур по диаметру печи термобалками и другие, представляются на дисплеях, установленных на пульте управления. Система контроля и представления информации персоналу не совсем удобна, в настоящее время продолжается её доработка и наладка, совершенствование обработки и представления информации.

Контроль уровня засыпи шихтовых материалов на ДП–6 осуществляется с помощью двух радиолокационных уровнемеров, установленных в периферийной зоне печи на расстоянии мм от колошниковой защиты. На основе информации, получаемой от установленных на ДП–6 радиолокационных уровнемеров («Saab TankRadar Pro»), могут быть определены значения скоростей опускания шихтовых материалов по вертикали под ними. Результаты предварительной обработки данных об изменениях уровня засыпи шихтовых материалов показывают, что средняя за выбранный интервал времени скорость опускания шихты в зоне установки первого зонда составляет 13,4 см/ мин, а в зоне установки второго зонда – 12,9 см/мин. Полученные значения в достаточной степени согласуются с расчетной величиной средней скорости опускания загруженных шихтовых материалов за смену, которая составляет 12,7 см/мин. Это свидетельствует о достоверности получаемых с помощью уровнемеров значений уровней засыпи шихты и позволяет улучшить технологическую эффек-

тивность их использования путем индикации расчетного значения скорости опускания шихты.

Как указано выше, для измерения распределения температур над поверхностью шихтовых материалов на ДП–6 по одному из диаметров печи установлены две стационарные термобалки с восемью термопарами на каждой из них. Измеренные с помощью термобалок значения температур являются параметрами, позволяющими косвенно оценивать содержание CO_2 в колошниковом газе, распределение газов и влияние на него распределения шихтовых материалов.

Одним из примеров неудобного и непродуманого представления информации в АСУ ТП ДП–6 является представление на экране показаний термопар, установленных на термобалках. Изменение температуры газа над поверхностью засыпи происходит непрерывно и отражается на экране в виде цветной гистограммы. Показания термопар достаточно быстро изменяются при загрузке холодного материала, а показания, в большей мере соответствующие сформировавшемуся распределению температуры газов и интенсивности их движения, устанавливаются через некоторое время. Таким образом, в течение цикла загрузки показания термопар и соотношение температур в различных точках постоянно изменяются и повторяются лишь после окончания цикла загрузки (через 35 – 40 мин). То есть, для оценки газораспределения в печи, соответствующего используемой программе загрузки, технолог должен непрерывно вести наблюдение за гистограммой температур в течение более получаса. Информация о распределении температур станет более оперативной, её достоверность и качество существенно возрастут при дополнительном представлении графика, характеризующего усредненные значения температур за цикл.

В перспективе на ДП–6 предусматривается установка термовизионной системы для измерения поля температур по всей поверхности засыпи шихты. Важным дополнением к информации, получаемой с помощью термовизионной системы, может стать определение профиля поверхности засыпи шихтовых материалов на колошнике доменной печи, для реализации которого необходимо установить дополнительно несколько радиолокационных датчиков уровня. Это позволит в совокупности с имеющимися двумя радиолокационными измерителями уровня, помимо определения профиля поверхности засыпи, рассчитывать скорости опускания шихты в различных сечениях колошника, а также определять геометрические параметры слоев, образующихся в результате выгрузки порций шихтовых материалов. Такая расширенная информация о формировании распределения шихтовых материалов и газов обеспечит возможность изучения особенностей хода печи и целенаправленного изменения программы загрузки [5].

Рекомендации Института черной металлургии способствовали улучшению технологии загрузки ДП–6 и технико–экономических показателей ее работы. Экспертная оценка реализованных решений и достигнутых

показателей свидетельствует о том, что возможности их дальнейшего улучшения не исчерпаны, в частности, одним из перспективных путей является рациональное управление распределением шихты по радиусу и окружности колошника ДП–6. Последовательное улучшение технико–экономических показателей работы ДП–6 подтвердило правильность выбранной специалистами ИЧМ стратегии управления распределением шихтовых материалов по сечению печи.

Выводы.

В сентябре 2004 года, после реконструкции, введена в эксплуатацию доменная печь № 6 НТМК объемом 2200 м³, предназначенная для выплавки ванадийсодержащего чугуна из титаномагнетитовых руд, проектной производительностью 1,7 млн.т чугуна в год. На первом этапе освоения печи возникли проблемы, связанные с тем, что проект реконструкции разрабатывался без привлечения для экспертизы технических решений высококвалифицированных специалистов СНГ, имеющих опыт освоения современных доменных печей, оснащенных бесконусными загрузочными устройствами и современными системами шихтоподачи.

Основные проблемы освоения ДП–6 состоят в том, что шихтоподача и система загрузки в целом не обладают нормативным запасом пропускной способности и требуемой технологической гибкостью. Не обеспечивается требуемая точность дозирования компонентов шихты. Персонал недостаточно подготовлен разработчиками оборудования и системы автоматизированного управления для эффективной работы с новой техникой. Не выполнены в полном объеме необходимые предпусковые исследования движения и распределения шихты, загружаемой с помощью БЗУ, не получены исходные данные, необходимые для расчета и корректировки эффективных программ загрузки, недостаточно налажено оборудование и система автоматизированного управления. Указанные обстоятельства, особенно отсутствие результатов предпусковых исследований, существенно осложнили и задерживают во времени освоение рациональных режимов загрузки ДП–6. Опыт реконструкции, предпусковых исследований и первого этапа освоения ДП–6 показал, что привлечение на ранних этапах квалифицированных специалистов для решения указанных задач и обучения персонала работе с новым оборудованием, системами контроля и управления позволил бы ускорить реализацию эффекта от применения новой техники.

В марте–мае 2005 г. выполнена предварительная экспертная оценка эффективности реконструкции шихтоподачи ДП–6, определены направления совершенствования ее работы, реализации которых позволит повысить точность дозирования, создаст возможность эффективного формирования смешанных порций железорудных материалов, обеспечит увеличение пропускной способности шихтоподачи и системы загрузки в целом. С использованием опыта специалистов ИЧМ и оперативной компьютерной модели расчета показателей программ загрузки последовательно решают-

ся задачи создания воронкообразного профиля засыпи, выбора рационального распределения рудных нагрузок и объемов материалов по радиусу колошника, обеспечения сбалансированного соотношения газовых потоков на периферии и в осевой зоне при достаточной газопроницаемости столба шихты в целом. Разработаны базовые программы загрузки шихты, скорректированы значения углов наклона лотка в рабочих положениях. По результатам наблюдений и анализа персоналом цеха устраняются недостатки наладки оборудования, совершенствуется система контроля и управления.

Определены направления и пути дальнейшего совершенствования программ загрузки доменной печи. Разработаны программы загрузки, которые обеспечивают устойчивый ход печи при проектных уровнях расхода кокса и производительности. Опыт, накопленный при проектировании и освоении ДП–6, в дальнейшем должен быть учтен в проектах реконструкции и при освоении доменных печей, оснащенных бесконусными загрузочными устройствами и современными системами шихтоподачи, на НТМК и других металлургических заводах России и Украины.

1. *Реконструкция доменной печи на Нижнетагильском металлургическом комбинате.* / С.К.Носов, В.В.Филиппов, В.В.Семчин, В.А.Ходонецких // Бюлл. «Черная металлургия». – 2004. – № 9 – С.20–27.
2. *Большаков В.И.* Теория и практика загрузки доменных печей. М.: Металлургия. 1990. – 256 с.
3. *Освоение системы загрузки современной доменной печи.* / В.И.Большаков, А.Ю.Зарембо, Н.Г.Иванча, А.К.Икконен и др. // Обзорн. информ. Ин-т «Черметинформация». – М. – 1989. – 53 с.
4. *Предпусковые исследования распределения материалов в доменной печи объемом 5580 м³.* / Н.М.Можаренко, В.И.Большаков, А.Ю.Зарембо и др.// Тр. ИЧМ. Черная металлургия. Наука, технология, производство. – М.: Металлургия, 1989. – С.56–63.
5. *Большаков В.И., Муравьева И.Г.* Перспективы управления ходом доменной печи с использованием результатов измерения профиля засыпи. // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2004. – № 4. – С.81–84.

Статья рекомендована к печати к.т.н. Н.М.Можаренко