

В.И.Большаков, В.И.Вишняков, Т.П.Порубова, А.И. Лаврик

ОЦЕНКА ИЗНОСА ДЕТАЛЕЙ БЕСКОНУСНОГО ЗАГРУЗОЧНОГО УСТРОЙСТВА

Выполнена оценка фактического износа деталей и узлов БЗУ после остановки ДП №9 на капитальный ремонт. Рассмотрены причины, вызывающие износ деталей БЗУ. Предложены способы их устранения.

Современное состояние вопроса и цель работы.

Повышение эффективности работы мощных доменных печей тесно связано с наиболее полным использованием технологических возможностей оборудования системы загрузки. Составляющими этого направления являются уменьшение эксплуатационных затрат на ремонт и восстановление оборудования, а также повышение эффективности использования восстановительной способности газов путем рационального распределения шихтовых материалов на колошнике доменной печи. Проведение испытаний и исследований оборудования загрузочного тракта в период выдувки на капитальный ремонт отдельной доменной печи, а также последующая разработка рекомендаций для дальнейшей рациональной эксплуатации узлов загрузочного устройства, служат успешному решению перечисленных задач [1]. Именно этому посвящена данная работа, а объектом исследований является доменная печь №9 (ДП№9) Криворожстали после выдувки на капремонт I-го разряда во время демонтажа бесконусного загрузочного устройства (БЗУ) в мае – июле 2003г.

Доменная печь №9 объемом 5000м^3 , пущенная 30 декабря 1974г., является одной из крупнейших в мире и самой крупной в Украине [2]. Печь была оснащена современным технологическим оборудованием того времени: двухплечей шихтоподачей с отсевом мелочи кокса, агломерата и окатышей, конвейерной подачей шихты на колошник, клапанно-конусным загрузочным устройством ВНИИМЕТМАШ – УЗТМ, двумя установками придоменной грануляции шлака, воздухонагревателями с выносными камерами горения, системой испарительного охлаждения шахты, круглым литейным двором с двумя хордовыми кранами, четырьмя летками для выпусков продуктов плавки, автоматизированной системой управления процессами загрузки и плавки. Шестилетний опыт эксплуатации загрузочного устройства показал надежность основных узлов, подтвердил эффективность применения новых механизмов, гидрофицированных механизмов газоплотнения [3].

Изложение основных материалов исследования.

Результаты освоения и исследования доменной печи 5000м^3 показали, что решающим фактором обеспечения эффективности и устойчивой рабо-

ты этого крупного агрегата является реализация возможностей управления радиальным и окружным распределением шихты на колошнике.

В начале 70-х создаются и успешно эксплуатируются двухтрактовые БЗУ фирмы «П. Вюрт» [4] с лотковым распределителем. Особенности конструкции обеспечивали достаточно точное дозирование частей порции по позициям наклона лотка благодаря взвешиванию шихтовых материалов в бункерах, а также современным системам точного позиционирования углов наклона распределительного лотка и шихтовых затворов.

В апреле–ноябре 1980г. во время капитального ремонта II-го разряда клапанно–конусное ЗУ было заменено двухтрактовым бесконусным ЗУ фирмы «П. Вюрт» с лотковым распределителем шихты.

Технико–экономическая целесообразность применения БЗУ определяется тремя факторами [1–3]:

1. повышением долговечности оборудования и уменьшения затрат на его ремонт;
2. гибкостью и эффективностью управления распределением шихты по радиусу и окружности печи, что увеличивает степень использования восстановительного потенциала газов;
3. возможностью реализации автоматического контроля и управления распределением шихты и газового потока в печи, что увеличивает обоснованность принятия и оперативность мер по оптимизации процесса плавки.

Обследование состояния элементов и оборудования БЗУ ДП №9 проводилось, начиная с введения загрузочного устройства в строй в 1980г. и в дальнейшем во время капитальных ремонтов [5, 6]. Выполнялся осмотр и замеры мест наибольшего износа элементов шихтового тракта БЗУ (рис.1). Осмотру подлежали: приемная воронка, промежуточные воронки, шлюзовые бункеры, воронки Ду 1100, шихтовые затворы, наклонные тетки, элементы центральной направляющей трубы и распределительный лоток. Фиксировался износ защитных плит колошника на ремонтах при открывании монтажного люка [7].

Приемная воронка. В БЗУ различных конструкций могут применяться неподвижные (стационарные) и передвижные приемные воронки. Передвижная приемная воронка позволяет уменьшить общую высоту БЗУ, но не предусматривает накопление в ней порции шихтовых материалов, она несколько сложнее в эксплуатации и требует тщательной настройки конечных положений. При неудачном выборе последних могут ускоренно изнашиваться стенки бункеров и изменяться положение шихты в бункерах. Неподвижная приемная воронка, с накопительной емкостью, хотя и увеличивает высоту БЗУ, позволяет увеличить пропускную способность системы загрузки, она более надежна в эксплуатации и не требует большого объема работ по обслуживанию и настройке [8].

В октябре 1983 года на БЗУ ДП №9 модернизирована приемная воронка. Особенности конструкции БЗУ, установленного на ДП №9, яв-

ляется применение стационарной приемной воронки с двумя гидрофицированными заслонками, направляющие шихту в тот или иной бункер, унифицированных плунжерно-реечных гидроприводов с закрытыми от пыли штоками для шихтовых заслонок.

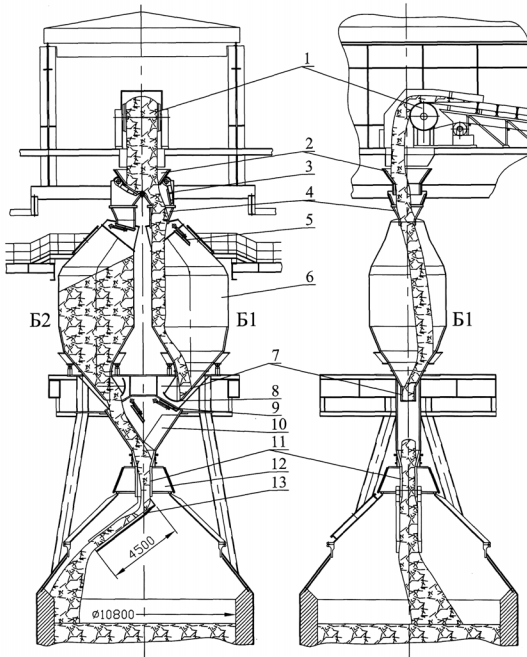


Рис.1. Общий вид бесконусного загрузочного устройства ДП №9.

1 – наклонный конвейер; 2 – стационарная приемная воронка; 3 – заслонка приемной воронки, 4 – промежуточная воронка; 5, 9 – верхний и нижний газуплотнительные клапаны; 6 – шлюзовой бункер; 7 – воронка Ду 1100; 8 – шихтовый затвор; 10 – наклонная течка; 11 – центральная направляющая труба; 12 – планетарный редуктор; 13 – распределительный лоток.

Для привязки приемной воронки к бункерам загрузочного устройства, разработана новая конструкция

промежуточных воронок, отличающихся от штатных. Модернизация тракта приемная воронка – промежуточные воронки – шлюзовые бункеры привела к тому, что поток материалов, сыпавшиеся из приемной воронки, отражаясь от стенок промежуточных воронок, прижимался к недостаточно защищенной поверхности бункеров, расположенной вблизи вертикальной оси БЗУ. Это привело к быстрому износу стенок бункера. Частично ликвидировать этот недостаток удалось установкой на бункерах дополнительной защиты.

Стационарная приемная воронка представляет собой приемное устройство корытообразной формы (рис.2), в средней части которого расположен рассекатель, разделяющий воронку на две части, ниже которого находятся шихтовые заслонки, по одному над каждым бункером БЗУ, защищающие верхние газуплотнительные клапаны бункеров от потока шихтовых материалов. Поверхность приемной воронки футерована гладкими износостойкими плитами, а рассекатель, дополнительно оборудован

ячейками для самофутеровки рабочей поверхности. Значительному износу подвергаются наклонные стенки нижней части приемной воронки со стороны пылеуловителя (ПУ) и вблизи рассекателя. Наибольшему износу подвержена нижняя часть приемной воронки, где образуются сквозные отверстия футеровки, а также протирание стенок корпуса. Следы наибольшего износа располагаются, практически, симметрично со стороны ПУ и боковых стенок. Неравномерно изнашивается рассекатель, со стороны ПУ он изношен больше, чем со стороны шихтоподдачи (ШП). Интенсивному износу подвергаются треугольные вертикальные футеровочные плиты, расположенные со стороны ПУ вблизи рассекателя. Практически не изнашиваются шихтовые заслонки (см. таблицу). Перечисленные износы образуются вследствие движения шихтовых материалов, сходящих с наклонного конвейера по траектории свободного падения и ударяющиеся о поверхность приемной воронки со скоростью 4,6 м/с.

Промежуточные воронки располагаются под стационарной приемной воронкой и обеспечивают движение потока шихтовых материалов из приемной воронки в бункеры БЗУ. Промежуточные воронки футерованы гладкими износостойкими плитами. Согласно результатам многолетних наблюдений, футеровка промежуточных воронок полностью изнашивается в течение 5–7 месяцев, а в течение 9–10 месяцев имеет место сквозной износ двухслойных стенок корпуса (рис.2, таблица). Максимальный износ приходится на сторону ПУ – место прихода траектории загружаемых материалов с конвейера.

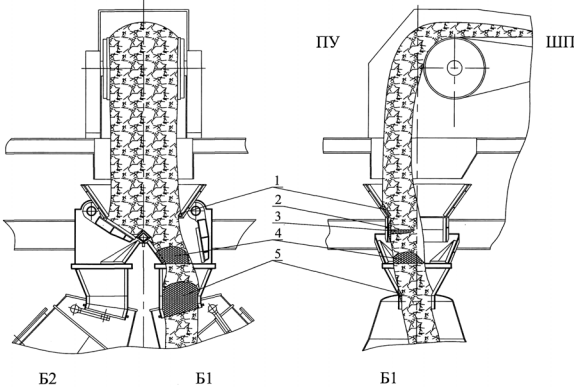


Рис.2. Верхняя часть загрузочного устройства. 1 – износ футеровочных плит верхней части приемной воронки со стороны ПУ и загружаемого бункера; 2 – износ вертикальных плит приемной воронки со стороны ПУ; 3 – износ рассекателя приемной воронки со стороны ПУ; 4 – износ наклонных футеровочных плит и корпуса в нижней

части приемной воронки со стороны ПУ и рассекателя; 5 – износ футеровочных плит и корпуса промежуточных воронок.

Шлюзовые бункеры БЗУ (Б1 и Б2), объемом по 75 м^3 , обеспечивают накопление и шлюзование загружаемых в печь шихтовых материалов (рис. 3). Бункеры представляют собой вертикальные цилиндры, верхняя и

нижняя части которых переходят в усеченные конусы неправильной формы. В верхней части бункера находится газуплотнительный клапан. В верхней конической и цилиндрической частях, в местах предполагаемого износа, симметрично общей оси бункеров, установлены ячеистые самофутерующиеся плиты, причем, горизонтальные ребра приваривают под наклоном таким образом, чтобы материал удерживался в ячейках. Нижняя коническая часть футерована по всей окружности двумя рядами плит. Загружаемые в бункер шихтовые материалы в большей мере воздействуют на область, расположенную вдоль общей вертикальной оси БЗУ с небольшим смещением в сторону ШП. Наибольшему износу подвержены цилиндрическая часть и нижняя коническая, в меньшей степени, верхняя часть бункера. Следует обратить внимание на стык цилиндрической и нижней конической части бункера в области вертикальной оси БЗУ, где происходит интенсивный износ от истирания материалом, в этом месте стенка бункера, при осмотре в мае 2003г во время капитального ремонта, была протерта насквозь (рис.3). Для уменьшения или устранения износа перечисленных деталей необходимо изменить траекторию движения шихтовых материалов в верхней части тракта, таким образом, чтобы сыпавшиеся материалы не падали на боковые поверхности приемной, промежуточной воронки и бункера, а приходили в нижнюю часть бункера.

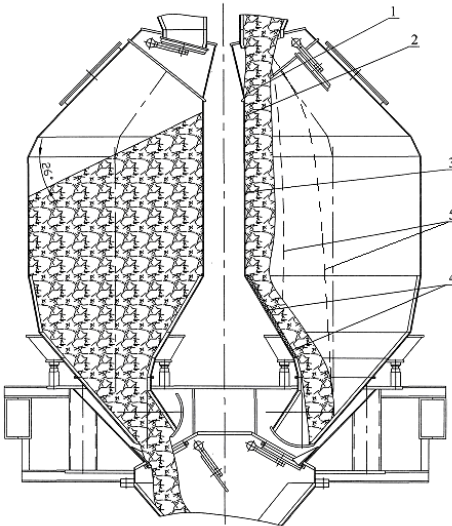


Рис.3. Шлюзовые бункеры.

1 – износ самофутерующихся ячеек горловины бункера; 2 – износ самофутерующихся ячеек в верхней конической части бункера; 3 – износ самофутерующихся ячеек и корпуса в цилиндрической части бункера; 4 – износ ребристых износостойких плит нижних конусов бункера; 5 – рекомендуемые траектории падения при изменении направления потока шихты.

Воронки Ду 1100 (нижняя горловина бункера) расположенные в клапанном узле под бункерами БЗУ перед шихтовыми затворами и представляющие собой в поперечном сечении восьмигранники неправильной формы, обеспечивают движение материала из шлюзовых бункеров к наклонным течкам. Основной износ воронки Ду 1100 приходится на нижнюю часть перед шихтовым затвором (рис.4). Следы интенсивного износа футеровочных плит образуют параболу,

очерчивающую границы высыпавшегося из бункера материала. Износ нижней части воронки закономерен и происходит по причине неполного раскрытия шихтовых затворов (40 – 60%) при выгрузке материалов. Раскрытие шихтовых затворов важный параметр в распределении материалов по поверхности засыпи и поэтому нельзя рекомендовать полное их раскрытие для уменьшения износа воронки Ду 1100. В данном случае необходима более износостойкая футеровка нижней и боковой части воронки.

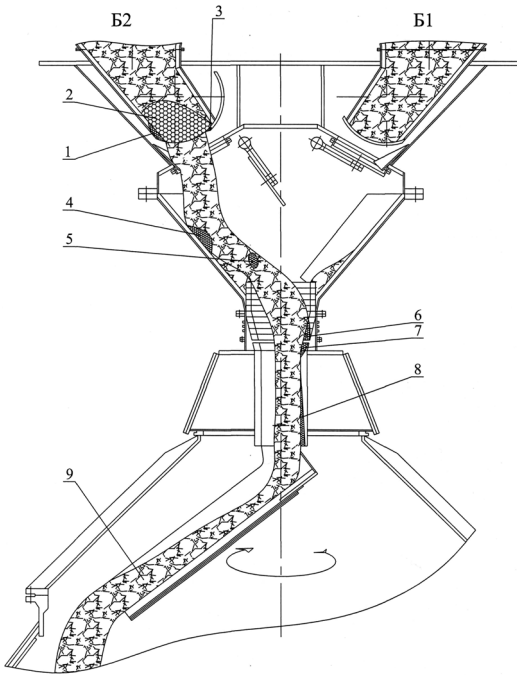


Рис.4. Нижняя часть загрузочного устройства. 1 – износ нижней части воронки Ду 1100; 2 – износ боковых стенок воронки Ду 1100; 3 – износ передней части шихтового затвора; 4 – износ центральной части наклонной течки; 5 – износ корпуса сборной воронки; 6 – износ конической воронки; 7 – износ конического фланца направляющей трубы; 8 – износ нижней части направляющей трубы;

Шихтовые затворы расположены под воронками Ду 1100 в клапанном узле (рис. 4) и служат для запирания шихтовых материалов в бункерах БЗУ. Рабочий орган шихтового затвора представляет собой сектор неправильной восьмиугольной формы. Основной износ шихтовых затворов приходится на переднюю часть (язык), износ симметричен относительно оси шихтового затвора. Фактический срок службы шихтовых затворов составляет в среднем 2 года (см. таблицу.), что в полной мере отвечает поставленным требованиям.

Наклонные течки (рис.4) служат для направления шихтовых материалов в центральную трубу, расположены под клапаным узлом. Рабочая поверхность гладкая – подвержена интенсивному износу (изнашивается практически вся рабочая поверхность симметрично оси наклонной течки особенно его средняя часть), в связи с этим при ремонтах ежегодно восстанавливают защитный слой. Важно при монтаже соблюдать симметрию расположения наклонных течек относительно осей их установки, иначе

поворот на несколько градусов (5°) может привести к истиранию потоком шихты незащищенных стенок сборной воронки (рис.4, поз.5). В целом работоспособность наклонных течек в течение межремонтного периода (9 мес.) удовлетворительна, применяемая наплавка обеспечивает необходимую работоспособность.

Центральная направляющая труба является одним из важнейших элементов БЗУ, влияющих на распределение материалов по окружности колошника. Центральная направляющая труба состоит из конической воронки с комплектом легкоъемных колец и направляющей трубы. Коническая воронка с комплектом легкоъемных колец состоит из двух частей. Верхняя часть цилиндрическая из комплекта наборных колец (обычно используется пять колец). Количеством колец регулируется высота порога перед движущимся по наклонным течкам потоком материалов. Высотой порога регулируется направление и скорость вхождения в центральную трубу потока. Ниже наборных колец расположена коническая воронка, формирующая поток в осевом направлении, она состоит из четырех секторов, находящихся в коническом корпусе, на каждом секторе расположено по семь ребер. Ниже конической воронки расположена отсечная задвижка, отсекающая клапанный узел и бункеры БЗУ от доменной печи во время ремонтов, а под ней – направляющая труба (рис.4).

Направляющая труба часть центральной направляющей трубы представляет собой вертикальную трубу с коническим опорным фланцем, примыкающим к отсечной задвижке. Она проходит через полость планетарного редуктора привода распределительного лотка, при вращении которого она остается на месте. При ремонтах направляющая труба демонтируется только в комплекте с планетарным редуктором.

В верхней цилиндрической части центральной направляющей трубы износ по окружности – равномерный, локальные зоны износа отсутствуют, наиболее изнашиваемое нижнее легкоъемное кольцо. Интенсивный износ начинается на расстоянии ~ 450 мм от ее верхней кромки в месте перехода легкоъемных колец в коническую воронку, начиная с первого ребра конуса (отсчет сверху вниз). Износ конической части представляет собой эллипс с большей осью, направленной вдоль общей оси бункеров Б1–Б2. Замеры во время капитального ремонта показали, что разница между большой и малой осями эллипса достигает 80мм. Футеровочные ребра конической воронки у нижнего торца в области большой оси эллипса изношены полностью, поверхность воронки со стороны малой оси сохранилась в удовлетворительном состоянии (проходное сечение нижнего торца воронки по малой оси эллипса равно 800 мм, что соответствует проектной величине). На ДП №9 после 10 месяцев эксплуатации конической воронки в местах максимального износа наблюдаются сквозные износы футеровки и корпуса. Поверхность воронки по сторонам ШП и ПУ сохраняется в удовлетворительном состоянии. Несимметричный износ нижней части конической воронки увеличивает износ верхней кони-

ческой части направляющей трубы в месте перехода ее в цилиндрическую часть. Наибольший износ направляющей трубы наблюдается вдоль общей оси бункеров Б1–Б2 в верхней ее части. По сторонам ШП и ПУ локальные зоны износа отсутствуют. Характерно, что диаметр направляющей трубы увеличивается к выходному торцу, износ от верха цилиндрической части до выходного торца представляет собой в вертикальном сечении усеченный конус, а в горизонтальном – эллипс, большая ось которого совпадает с общей осью бункеров Б1–Б2. Согласно статистике износа, направляющая труба может удовлетворительно служить в течение 1,5 – 2,0 лет (таблица.).

Таблица. Срок службы деталей и узлов БЗУ

Наименование	Факт. срок эксплуатации, мес.	Вид износа	Кол-во ремонтов во время срока эксплуатации	Рекомендуемый срок эксплуатации, мес.
Стационарная приемная воронка	16	1.Износ футеровки (2–3 мес); 2.Износ раскатателя (частичный – 4–5мес, полный износ – 10–11 мес); 3.Износ футеровки затвора (5 мес); 4.Износ корпуса (7 мес),	11	6
Промежуточные воронки	12	1.Износ футеровки (5–7 мес); 2.Сквозной износ корпуса (9–10мес).	10	6
Шлюзовые бункеры	10	1.Износ футеровки нижней конусной части(10 мес) 2.Сквозной износ на стыке цилиндрической и нижней конической части (9–10 мес)	1–2	9
Воронки Ду 1100	10	1.Износ футеровки на 30% (8 мес); 2.Износ футеровки до 90% (10 мес); 3.Сквозной износ нижней части корпуса (10 мес.)	2*	9
Шихтовые затворы	32	1.Износ передней части (26 мес); 2.Износ кромок (28 мес).	7	24
Наклонные течки	10	1.Износ футеровки в средней части (9 мес);	1	9

Коническая воронка	10	1.Износ футеровки (3–4 мес); 2.Сквозной износ корпуса (9–10мес)	1	6
Направляющая труба	25	1.Износ футеровки (17 мес); 2.Износ верхней части корпуса (25 мес)	**–	18
Распределительный лоток	13	1.Износ футеровки (3–4 мес); 2.Трещины на коробе – перегрев колошника (3 мес); 3.Износ торцевой стяжки (6 мес); 4.Полный износ самофутерующихся ребер (6–7 мес); 5.Сквозной износ днища в месте падения материала (13 мес.)	2–3***	6

* – ремонт на остановках печи невозможен, только осмотр через смотровой люк;

** – ремонт невозможен из-за того что направляющая труба находится ниже отсечной задвижки;

*** – первый ремонт – через 3–4 месяца после установки, восстанавливается футеровка рабочей поверхности и футеровка торцевой стяжки; второй ремонт – через 6–7 месяцев, восстанавливают торцевую стяжку и футеровку лотка.

Характер износа центральной направляющей трубы свидетельствует о смещении потока в направлении от разгружаемого бункера. Коническая воронка, изменяющая направление движения потока шихты, подвергается интенсивному износу. Чрезмерный износ конической воронки свидетельствует о смещении потока материала к противоположной от разгружаемого бункера стенке центральной трубы. Неравномерный износ цилиндрической части направляющей трубы говорит о том, что центр тяжести потока смещен относительно оси ШП–ПУ в левую или правую сторону, что подтверждает выводы, сделанные ранее в работах [9–11]. Следы износа направляющей трубы соответствуют границам и середине потока материалов. Характер износа свидетельствует о смещении потока на выходе от его оси. Данный характер движения материалов, подтвержденный также данными наблюдений во время экспериментальных исследований [10, 11], приводит к окружной неравномерности распределения материалов, которая может быть фиксирована на печи по показаниям термопар.

Уменьшение неравномерности распределения достигается на печи различными приемами управления механизмами БЗУ. В ходе проведения капитального ремонта следует увеличить или уменьшить (на одно – два) количество колец центральной трубы, провести исследования, позволяющие определить их рациональное количество и высоту порога.

Распределительный лоток (модернизированный сотрудниками Криворожстали) длиной 4,5м находился в эксплуатации 13 месяцев (с апреля 2002г.), что превышает обычный период эксплуатации – 6 месяцев по рекомендации фирмы «П. Вюрт». Анализ износа лотка за этот период показал, что интенсивность износа возрастает по мере разрушения защитного кожуха под воздействием потока газа в печи и износа ребер днища. После остановки печи на капитальный ремонт I-го разряда в 2003г. и демонтажа БЗУ были обнаружены: практически полный износ футеровки рабочей поверхности лотка, прогар и разрушение защитного кожуха лотка на расстоянии 2,8÷3,06м от его выходного торца (длина разрушенного участка ~1м). На внешней поверхности лотка на расстоянии 2,5÷2,6м от его тыльного (верхнего) торца с двух сторон обнаружены трещины. В области трещин наблюдается деформация и прогар наружного кожуха. На торцевой стяжке вблизи разгрузочного конца лотка отсутствовали футеровочные кольца, а также наблюдался существенный износ, по краям стяжки. По нашей оценке лоток находился в предаварийном состоянии.

Эксплуатация распределительного лотка более шести месяцев приводит к интенсивному износу футеровки, уменьшению высоты самофутерующихся ребер, обрыву футеровочных плит, износу и разрыву торцевой стяжки. При этом уменьшается коэффициент сопротивления движению материала по поверхности лотка, что приводит к изменению траекторий падения материалов в печи, они становятся более пологими, материалы располагаются дальше от оси печи, что в свою очередь приводит к неконтролируемому изменению распределения материалов. Износ торцевой стяжки свидетельствует, о том, что поток материала, поднимаясь кориолисовой силой к верхнему борту лотка, дополнительно дробится и пересыпается через борт лотка, что негативно сказывается на распределении материалов в печи.

Анализ состояния лотка в периоды капитальных ремонтов III разряда в 2001–2002гг. и при выполнении капремонта I разряда показал, что его характеристики в межремонтный период в течение 6 месяцев обеспечивают стабильные показатели распределения шихтовых материалов на колошнике.

Анализ износа и разрушений узлов БЗУ (см. таблицу) позволяет сделать следующее заключение:

- Эксплуатация БЗУ более 6–9 месяцев без замены лотка и профилактического ремонта остальных узлов – недопустима.
- При монтаже БЗУ необходимо оценивать целесообразность установки в центральной трубе дополнительно к существующему количеству 1–2 колец для повышения эффективности центрирования потока шихтовых материалов.
- В связи со значительным отличием в износе бункеров Б1 и Б2 при монтаже БЗУ необходимо обеспечить центрирование потока материалов, загружаемых в бункеры Б1 и Б2, относительно оси печи.

Анализ износа оборудования загрузочного тракта ДП №9 при выдувке ее на капитальный ремонт позволил сформулировать рекомендации по эксплуатации отдельных узлов БЗУ, представленные в таблице.

1. *Освоение* оборудования систем загрузки доменных печей с бесконусным загрузочным устройством / В.И. Большаков, А.Ю. Зарембо, Н.Г. Иванча, Ф.М. Шутылев / *Сталь*. – 1994. – №1. – С.4–9.
2. *Большаков В.И.* Доменное производство «Криворожстали». –Днепропетровск, 2004. –378 с.
3. *Большаков В.И.* Теория и практика загрузки доменных печей. –М.: Metallurgia, 1990. –256 с.
4. *Хейнерт Г., Петерс К., Рангклоф Г.* Засыпной аппарат для доменных печей. Экспресс информация. – Черная металлургия. ВИНТИ. 1973, №38. С. 34–45.
5. *Большаков В.И., Зарембо А.Ю., Гниненко С.И.* Исследование нагрузок, возникающих при движении шихты через распределитель бесконусного загрузочного устройства // *Черная металлургия. Бюл. ин-та Черметинформация*. – Вып. 7. – 1989. – С. 53–54.
6. *Большаков В.И., Зарембо А.Ю.* Исследование движения материалов в шихтовых трактах бесконусных загрузочных устройств // *Обзорн. информ. Сер. Подготовка сырья и производство чугуна. Черметинформация*. – 1990. –№2. – С.1–9.
7. *Исследование* состояние БЗУ, колошника и шахты доменной печи объемом 5000 м³ после выдувки на капитальный ремонт / Большаков В.И., Шулико С.Т., Вишняков В.И. и др. / Теория и практика производства чугуна. Труды международной научно-технической конференции. Кривой Рог. –2004. – С.415–421.
8. *Большаков В.И., Покрышкин В.Л.* Освоение доменных печей, оснащенных при реконструкции бесконусными загрузочными устройствами // *Сталь*. – 1989. – №11. – С. 8–13.
9. *Исследование* влияния конструктивных особенностей загрузочных устройств на распределение шихты в доменной печи /Большаков В.И., Варивода И.Е., Рослик Н.А. и др. / *Сталь*. –1999. –№ 1. С.10–14.
10. *Опыт* исследования системы загрузки современной доменной печи /В.И. Большаков, Н.Г. Иванча, В.Н. Логинов и др. / *Сталь*. –1996. –№ 10. –С.2–5.
11. *Влияние* движения шихты по трактам загрузочного устройства на окружное распределение в доменной печи / В.И. Большаков, И.Е. Варивода, Н.А. Рослик, Ф.М.Шутылев / *Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии*. – Киев: Наукова думка, 1995. –С.57–68.

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