

В.И.Большаков, В.В.Лебедь, А.А.Жеребецкий

ОСОБЕННОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ЗАГРУЗКОЙ ШИХТЫ НА СОВРЕМЕННЫХ ДОМЕННЫХ ПЕЧАХ

Выполнено обобщение существующей терминологии и особенностей формирования рациональных режимов загрузки доменной печи, оборудованной бесконусным загрузочным устройством. Показана информационная структура параметров режима загрузки, определяющая возможные способы и приемы управления распределением шихтовых материалов в печи. Показано, что рациональные режимы загрузки позволяют реализовать технический потенциал БЗУ и обеспечить стабильную и эффективную работу печи с наименьшим расходом энергоносителей

доменная печь, режим загрузки, распределение шихтовых материалов, бесконусное загрузочное устройство, управление

Введение. Управление распределением шихтовых материалов является одним из важнейших способов управления эффективностью доменной плавки, так как позволяет достигнуть ровного хода печи при максимально возможной степени использования химической и тепловой энергии газов [1–4].

На доменных печах, оборудованных конусными загрузочными устройствами, управление распределением шихты на колошнике ограничивается лишь изменением порядка набора скипов материалов на большой конус, уровня засыпи и массы подачи, применением отдельных подач. Исследователи и технологи–доменщики применяют различные определения последовательности процессов загрузки шихтовых материалов в печи, происхождение и смысл которых различны – программа, система, режим, порядок, схема и др. Это затрудняет одинаковое понимание особенностей процесса загрузки печи типовым конусным аппаратом и бесконусным загрузочным устройством (БЗУ).

Создание БЗУ с вращающимися распределителями, расположенными над поверхностью засыпи привело к существенному изменению техники управления загрузкой. Программа, система или режим загрузки перестали нести одинаковую смысловую нагрузку, что требует систематизации терминологии процесса управления загрузкой. Авторами сделана попытка обобщить и упорядочить терминологию, обеспечить одинаковое понимание основ управления загрузкой доменной печи, оборудованной БЗУ, что позволит существенно повысить уровень понимания особенностей распределения шихты на колошнике.

Система загрузки доменных печей, оснащенных БЗУ. В технической литературе отсутствует установившаяся терминология о системе загрузки. В некоторых публикациях системой загрузки называют

загрузочное устройство. Иногда используется термин «система шихтоподачи и загрузки» [5].

Система загрузки современной доменной печи должна обеспечивать загрузку кокса, агломерата, окатышей и нескольких видов добавок, дозирование массы каждого вида шихтовых материалов и корректировку погрешностей взвешивания [5,6]. Поэтому систему загрузки следует рассматривать как единый комплекс оборудования, задачей которого является обеспечение ритмичной загрузки и формирования рационального распределения шихтовых материалов в доменной печи [7]. Основными элементами системы загрузки (рис.1) являются материальное (загрузочное оборудование) и информационное (параметры работы оборудования и набор его основных настроек) обеспечение.

К материальному обеспечению относится комплекс механизмов, обеспечивающих дозирование, транспортировку, шлюзование и распределение шихтовых материалов в печи. Подсистема дозирования шихты содержит в своем составе бункеры и весовые воронки различной вместимости, разветвленную сеть конвейерного транспорта, машин для отсева фракций шихты, дозирования и взвешивания. Подсистема транспортирования порций шихтовых материалов должна обеспечивать бесперебойную подачу шихтовых материалов к загрузочному устройству в заданном темпе. Подсистема шлюзования и распределения шихты современных доменных печей включает оборудование и системы управления БЗУ.

К информационному обеспечению (режиму загрузки) относятся условия и параметры функционирования материальной части системы загрузки, которые сохраняются в базах данных АСУ загрузкой. Создание достаточного информационного обеспечения является неотъемлемым условием построения и рациональной эксплуатации системы загрузки в целом.

В основе реализации заданного режима загрузки доменных печей, оснащенных БЗУ, лежит программа загрузки и параметры работы загрузочного оборудования. Программа загрузки определяет характер распределения рудных нагрузок и объемов шихтовых материалов на колошнике, что существенно влияет на стабильность и эффективность доменной плавки. Программа загрузки задается на неопределенное время и зависит от изменения хода печи или состава шихты, а также требуемых управляющих воздействий, и является инструментом оперативного управления распределением шихты и газов в печи.

Важнейшими факторами обеспечения высокой эффективности эксплуатации системы загрузки в целом и реализации технологических возможностей БЗУ по управлению распределением шихты в частности являются рациональные технические и технологические настройки загрузочного оборудования.

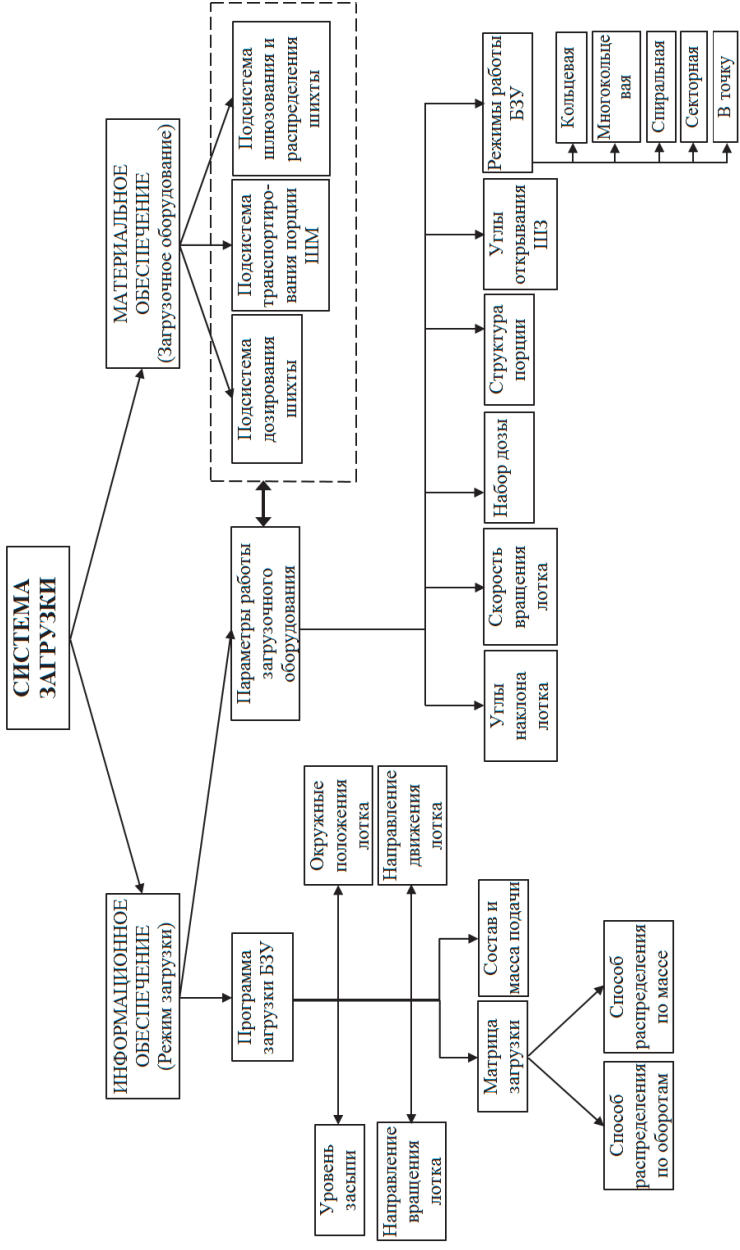


Рис. 1. Структура элементов системы загрузки доменной печи

Необходимые данные для реализации рационального режима загрузки могут быть получены в процессе предпусковых исследований и анализа работы оборудования системы загрузки, которые обычно проводятся специалистами Института черной металлургии (ИЧМ) во время наладки, прокрутки оборудования и загрузки доменной печи перед ее задувкой. В ИЧМ накоплен значительный опыт проведения предпусковых исследований на доменных печах Украины и России. Это позволяет существенно увеличить эффективность выбора рациональных параметров технологической настройки загрузочного оборудования [7–9].

К основным параметрам работы загрузочного оборудования относятся скорость вращения и углы наклона лотка, углы открывания шихтового затвора, режимы работы БЗУ, время и последовательность набора дозы, структура порции. У современных БЗУ фирмы «Paul Wurth» привод вращения лотка обеспечивает два скоростных режима – 8 (7,5 сек/об) и 13 (4,6 сек/об) оборотов в минуту. БЗУ конструкции «Витковице» позволяет осуществлять выгрузку порций в печь при 8 и 4 об/мин.

Углы наклона вращающегося лоткового распределителя задаются в виде таблицы. Эти значения хранятся в памяти АСУ и не предназначены для оперативного управления загрузкой. Рабочие угловые положения лотка БЗУ при заданном уровне засыпи должны обеспечивать пересечение траекторий центров тяжести потоков шихты со средней линией каждой из равных по площади кольцевых зон колошника. При этом номера угловых положений лотка БЗУ должны соответствовать номерам кольцевых зон. Отклонение фактического уровня засыпи от заданного приводит к существенному смещению точек пересечения траекторий с поверхностью засыпи, что нарушает распределение рудных нагрузок и объемов шихтовых материалов по радиусу печи. Поэтому необходимо корректировать задаваемые программой углы наклона лотка, в случаях изменения или отклонения фактического уровня засыпи от заданного.

Рабочие значения углов открывания нижних шихтовых затворов бункеров БЗУ определяются заданным временем выгрузки порций шихты. Фактические значения углов открывания затворов не являются постоянными и зависят от масс (объемов) порций и текущих физических характеристик шихтовых материалов и их смесей. Шихтовый затвор приводится в движение гидроцилиндрами, которые, как правило, обеспечивают точность позиционирования $0,3^\circ$ и скорость перемещения $15^\circ/\text{сек}$. Изменение угла открывания должно осуществляться автоматически системой управления загрузкой, на основе фактических параметров выгружаемой в печь порции материала и фактических параметров выгрузки нескольких предыдущих порций, близких по компонентному составу. При отсутствии автоматического регулирования углов открывания шихтового затвора БЗУ технологический персонал печи должен осуществлять корректировку рабочего значения угла в ручном

режиме по отклонению фактической продолжительности выгрузки порции в печь от заданной величины.

Современные аппараты фирмы «Paul Wurth» могут работать в автоматическом и ручном режимах управления и выгружать порции шихты различными способами. Так в автоматическом режиме управления БЗУ реализуются многокольцевая, спиральная и секторная загрузка материалов на колошник (рис.2), в ручном режиме – кольцевая и загрузка в точку сечения колошника. Многокольцевая загрузка по массе (оборотам) осуществляется путем выгрузки порции шихтовых материалов из бункера БЗУ в течение заданного времени (количеству оборотов), совершаемых лотком в рабочих угловых позициях лотка БЗУ (рис.2,а). Как правило, порции материалов загружаются в печь за 6–14 оборотов лотка (45–105 с), что при дискретности задания распределения ± 1 оборот лотка обеспечивает деление массы материала между рабочими угловыми позициями лотка в пределах ± 7 –17% от массы порции.

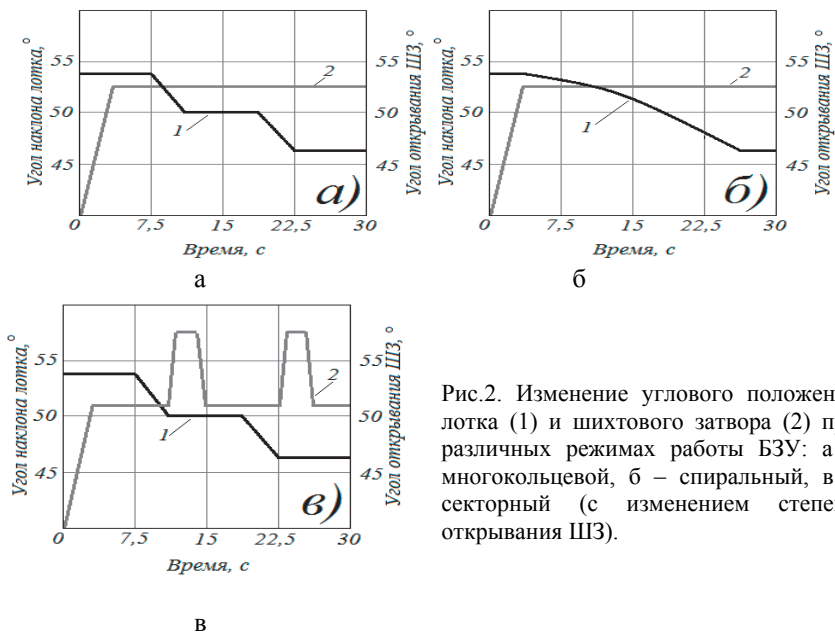


Рис.2. Изменение углового положения лотка (1) и шихтового затвора (2) при различных режимах работы БЗУ: а – многокольцевой, б – спиральный, в – секторный (с изменением степени открывания ШЗ).

Такой принцип распределения масс порций цикла загрузки по позициям лотка является более «грубым», чем классический режим распределения по взвешиванию ($\pm 0,5$ –1,0% от массы порции), однако при этом он дает возможность формирования замкнутых колец материала на поверхности засыпи шихты. Спиральная загрузка является разновидностью многокольцевой, но ее основная особенность

заключается в непрерывном изменении угла наклона (в заранее заданном диапазоне) лоткового распределителя при выгрузке порции шихты (рис.2,б). Режим секторной загрузки заключается в увеличении количества загружаемых шихтовых материалов в заданном секторе печи (рис.2,в), которые реализуется посредством задания в интерфейсе АСУ границ сектора сечения печи, в котором должны осуществляться различные режимы работы элементов БЗУ: локальное изменение величины степени открывания шихтового затвора бункера БЗУ, изменение скорости вращения лотка или его реверсивное окружное движение во время выгрузки в печь заданных порций цикла загрузки. Однако ввиду значительного влияния не только на окружное, но и на радиальное распределение шихты [10], режим секторной загрузки должен использоваться исключительно в качестве временной оперативной меры корректировки перекаса уровня шихты и температуры периферии по окружности печи.

В ручном режиме управления БЗУ осуществляется кольцевая (выгрузка порций материала, зачастую добавок, по одному или нескольким кольцам, предварительно заданным вручную) и точечная загрузка (выгрузки всей заданной порции в точку на сечении колошника, что позволяет нейтрализовать канальный «прорыв» газа, а также может использоваться для влияния на работу чугунных леток, путем выгрузки промывочного материала). Такой режим используется изредка лишь в экстренных случаях.

В подсистемах дозирования и транспортировки осуществляется задание таких параметров, как последовательность и время набора (производительность грохота) доз шихтовых материалов, компонентный состав порции, ее длины и массы головной части. Основные технологические требования, предъявляемые к формированию порций, заключаются в стабильности массы головной части, качественном смешивании компонентов и максимальном использовании пропускной способности. Рациональное использование технических возможностей шихтоподачи значительно расширяет технологические возможности системы загрузки в целом, так как применение рациональных параметров нижней загрузки способствует обеспечению стабильного газораспределения в столбе шихты [5].

Разработка и реализация программ загрузки. В основе управления распределением шихты на доменных печах, оборудованных БЗУ, лежит принцип деления колошника на равные по площади кольцевые зоны с последующей укладкой в них заданного количества шихты. Загрузка материалов в равновеликие по площади кольцевые зоны колошника должна обеспечивать связь угловых позиций лотка и параметров колошникового газа в характерных точках контроля газораспределения [11]. Обычно принято деление колошника на 10 зон.

Порцией называется установленная масса шихтовых материалов выгружаемых на колошник доменной печи из одного бункера БЗУ в одну или несколько кольцевых зон колошника. Каждая пара порций железорудных материалов (ЖРМ) и кокса образуют подачу, а отношение массы ЖРМ к массе кокса в заданной точке – рудную нагрузку (РН). Распределители БЗУ потенциально могут обеспечивать близкое к заданному распределение РН в каждой подаче, однако такой способ управления требует сложных алгоритмов и высокой мобильности системы управления [7]. Поэтому на практике применяется способ, когда заданная зависимость распределения РН по радиусу реализуется в рамках цикла загрузки, представляющего собой систематически повторяющуюся совокупность порций шихтовых материалов, которые загружаются по заданным траекториям.

Программой загрузки называется цикл загрузки (который может состоять из полуциклов, разделенных между собой осевым), обеспечивающий последовательную загрузку с заданным расходом (определяется углом открывания шихтового затвора) в определенном порядке принятого числа порций шихтовых материалов (обычно от 8 до 16) с заданных угловых (обычно от трех до восьми смежных положениях для одной порции) и окружных положениях лотка, которая позволяет сформировать требуемое распределение рудных нагрузок (РН) и объемов шихты на колошнике доменной печи в рамках одного цикла.

Программа загрузки (рис.1) задается в виде таблицы (см.таблицу) через станцию визуализации и содержит следующие исходные данные:

- порядковый номер порции;
- тип материала и масса порции;
- матрица загрузки;
- окружные точки начала выгрузки порций;
- направление вращения (по часовой стрелке и против) и направления движения (изменение угла наклона вверх или вниз) лотка;
- уровень засыпи.

Состав и масса основных порций кокса и железосодержащих материалов определяется на основе обеспечения нормального теплового и шлакового режимов доменной плавки и получения чугуна заданного состава. По результатам исследований 30-х гг. установлено, что количество материалов, выгружаемых в виде одной порции, должно обеспечивать формирование слоя высотой (усредненной по всей поверхности колошника) от 0,4 м до 0,5 м [12]. Такая высота слоев обеспечивает нормальное развитие процессов тепло–массообмена в столбе шихтовых материалов [13,14]. Отрицательные последствия загрузки увеличенной массы подачи, как правило, проявляются в нестабильности нижнего перепада давления газа в печи, особенно при загрузке разноосновных железорудных материалов, из–за нестабильности газопроницаемости зоны плавления и капельного течения в нижней части

доменной печи. Накопленный опыт работы сотрудников ИЧМ на доменных печах Украины и России различного объема, оборудованных БЗУ, подтверждает целесообразность выбора массы порций кокса и железосодержащих материалов исходя из соображений формирования на колошнике слоев высотой около 0,5 м.

Таблица. Типичная программа загрузки доменной печи объемом 3200 м³.

№ порции	Вид материала	Угловые положения лотка	Направление движения лотка	Количество оборотов лотка по позициям									Суммарное количество оборотов	Масса порции, т	Окружные положения лотка	Направление вращения	
				9	8	7	6	5	4	3	2	1					
1	К	8-4	↓		2	3	2	1	2					10	11,8	0°	П
2	Р	9-4	↓	1	2	3	3	1	1					11	56	45°	П
3	К	8-4	↓		2	2	2	2	2					10	11,8	90°	П
4	К	3-1	↓							2	2	1		5	6	135°	П
5	Р	9-3	↓	1	2	3	1	1	2	1				11	56	180°	П
6	К	8-4	↓		2	2	2	2	2					10	11,8	225°	П
7	Р	9-4	↓	1	2	3	2	1	2					11	56	0°	П
8	К	8-4	↓		2	3	2	1	2					10	11,8	270°	Л
9	Р	9-4	↓	1	2	3	3	1	1					11	56	315°	Л
10	К	8-4	↓		2	2	2	2	2					10	11,8	270°	Л
11	К	3-1	↓							2	2	1		5	6	315°	Л
12	Р	9-3	↓	1	2	3	1	1	2	1				11	56	180°	Л
13	К	8-4	↓		2	2	2	2	2					10	11,8	45°	Л
14	Р	9-4	↓	1	2	3	2	1	2					11	56	90°	Л

Матрица загрузки определяет распределение массы порции по угловым позициям распределителя в виде количества оборотов (распределение по оборотам – выделено на рис.1) или массы (распределение по массе) выгружаемых в угловое положение лотка. Также следует отметить, что крайне нежелательно использовать пропуски в последовательности угловых позиций лотка, используемых при выгрузке порций шихты, особенно при отсутствии в системе управления БЗУ возможности изменения объемного расхода шихтовых материалов во время выгрузки. Стоит отметить, что периферийная и приосевая позиции лотка (10 и 1) являются резервными и применяются только для оперативного воздействия на распределение шихты при расстройках хода печи.

Необходимо не допускать выгрузку значительного количества материала в одну кольцевую зону, поскольку это приводит к неконтролируемому и самопроизвольному смещению материала в смежные кольцевые зоны, что нарушает реализацию заданного распределения шихты. Выгрузка порций материала должна осуществляться на максимально возможное количество оборотов лотка, которое определяется временем истечения шихтовых материалов, влияющим в свою очередь на пропускную способность системы загрузки печи в целом. Это позволяет расширить возможности управления распределением шихтовых материалов по радиусу колошника, а также уменьшить окружную неравномерность распределения шихты [15].

Окружные точки (станции) начала выгрузки определяют окружное положение лотка, по достижению которого происходит открывание нижнего шихтового затвора и начало выгрузки заданной порции. На некоторых металлургических предприятиях СНГ существует мнение, что окружные точки (станции) начала выгрузки являются необязательными для применения и в качестве его значения используется момент готовности бункера к выгрузке порции, который носит случайный характер. Однако исследования показали, что такой режим не обеспечивает равномерное распределение по окружности печи точек начала выгрузки, что может приводить к возникновению окружной неравномерности распределения шихты. Результатами многочисленных работ доказана эффективность смещения по окружности печи точек начала выгрузки порций для увеличения равномерности окружного распределения шихты (ОРШ), особенно если они выбираются в соответствии с разработанным в ИЧМ режимом «перешагивания» [6,7,15].

Термин «станции» применялся на доменных печах оснащенных конусными загрузочными аппаратами с вращающимися распределителями шихты, где так называли гаражные положения распределителя которые последовательно изменялись после выгрузки каждой порции и не предназначались для оперативного управления. Поэтому использование этого термина является некорректным при произвольном и, тем более, случайном характере закономерности распределения точек начала выгрузки.

В типичной программе загрузки направление вращения лоткового распределителя может предварительно задаваться для любой порции. Для равномерного износа вращающегося распределителя и редуктора БЗУ, а также устранения влияния асимметрии распределения материала по окружности, возникающей на доменных печах, оснащенных двухбункерным БЗУ [16,17] необходимо регулярно изменять направление вращения лоткового распределителя. На практике существуют многочисленные варианты последовательности и периодичности смены направления вращения распределителя. Стоит отметить, что для выбора рациональной схемы необходимо использовать комплексный подход,

который включает материально–техническое состояние загрузочного оборудования и его пропускную способность, ритмичность загрузки и т.д.

Современные БЗУ обеспечивают изменение угла наклона лотка в двух направлениях – от периферии к оси и наоборот. Исходя из значительной нагрузки на опорно подшипниковый узел аппарата [18], движение лотка от оси к периферии можно использовать для выгрузки порций кокса. Такая выгрузка кокса имеет и значительный технологический эффект, который, при прочих равных условиях, заключается в оперативном изменении газопроницаемости столба шихты в периферийной зоне колошника и способствует увеличению пропускной способности системы загрузки печи

Применение БЗУ, которые обеспечивают гибкое регулирование радиального распределения шихты в печи, изменяет подход к использованию тех или других управляющих воздействий. Так уровень засыпи шихты теряет значение оперативного воздействия, его рациональное значение (при котором обеспечивается максимально возможная полнота печи) следует устанавливать неизменным, что обеспечит стабильность точек встречи траекторий потоков шихты с поверхностью засыпи на колошнике.

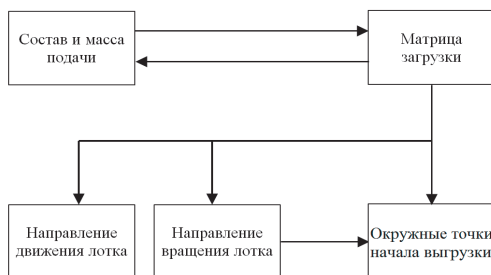


Рис.3. Взаимосвязи составных элементов программы загрузки

При составлении рациональных программ загрузки необходимо учитывать тесноту и взаимовлияние составных элементов (параметров) программы загрузки (рис.3).

Заключение. Понимание системы загрузки как единого комплекса, функционирование которого направлено на рациональную загрузку шихты в печь, позволит существенно увеличить эффективность использования технических и технологических возможностей системы загрузки. В рамках настоящей работы выполнено упорядочение существующей терминологии, а также рассмотрены принципы формирования и особенности структуры элементов современной системы загрузки доменной печи, оборудованной бесконусным загрузочным устройством.

В основе создания и реализации рационального режима загрузки доменных печей, оснащенных БЗУ, лежит программа загрузки и

параметры работы загрузочного оборудования. Программа загрузки определяет характер распределения шихтовых материалов и рудных нагрузок в доменной печи, что обеспечивает стабильность и эффективность доменной плавки. Практика исследований ИЧМ на доменных печах оснащенных БЗУ показала, что методические основы разработки рациональных программ загрузки, базирующиеся на технологических основах формирования рационального режима загрузки, позволяют с высокой степенью достоверности обосновать рациональную программу, которая после установки на доменной печи корректируется в ограниченных пределах, позволяет реализовать технический потенциал БЗУ в формировании рационального распределения шихтовых материалов на колошнике доменной печи и обеспечить стабильную и эффективную работу печи с наименьшим расходом энергоносителей.

1. Павлов М.А. *Металлургия чугуна*. – 6-е изд. пересмотр. и доп. – ч. П: Доменный процесс. – Metallurgizdat, 1949. – 628 с.
2. Готлиб А.Д. *Доменный процесс*. – М.: Metallurgia, 1966. – 504 с.
3. Тарасов В.П. *Газодинамика доменного процесса*. – М.: Metallurgia, 1982. – 224с.
4. Грузинов В.К. *Управление газовым потоком в доменной печи программной загрузкой*. – Свердловск: Metallurgizdat, 1960. – 214 с.
5. Праздников А.В., Клоцман Е.Я., Головкин В.И. *Системы шихтоподачи в доменном производстве*. – М.: Metallurgia, 1980. – 200 с.
6. Большаков В.И., Покрышкин В.Л., Шутылев Ф.М. *Совершенствование способов загрузки доменных печей в СССР и за рубежом*. – М, 1983. – 32 с. (Черная металлургия. Сер. “Подготовка сырьевых материалов к металлургическому переделу и производству чугуна”: Обзорная информация. / Ин-т Черметинформация: Вып. 2).
7. Большаков В.И. *Теория и практика загрузки доменных печей*. – М, 1990. – 256 с.
8. Большаков В.И., Зарембо А.Ю., Сало А.С. *Методика расчета параметров схода шихты с распределительного лотка // Вопросы производства чугуна в доменных печах / МЧМ СССР (ИЧМ)*. – М.: Metallurgia, 1984. – С. 60–64.
9. В.И.Большаков, В.В.Лебедь, А.А.Жеребецкий. *Новая методика предпусковых исследований на доменной печи // Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2011. - №3. – С.86-90.
10. В.И.Большаков, А.А.Жеребецкий, В.В.Лебедь *Особенности управления окружным распределением шихты в доменных печах // Сб. науч. тр. ИЧМ «Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии»*. – 2012.
11. В.И.Большаков, В.В.Лебедь. *Современное состояние контроля газораспределения в доменной печи. // Сб. науч. тр. ИЧМ «Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии»*. – 2009. – Вып.19. – С.67-79.
12. Гулыга В.И. *Доменное дело. Для рабочих доменного цеха*. М.-Л.: Изд. 2-е, испр. и доп. ОНТИ НКТП СССР. 1935. 196 с.
13. Грузинов В.К. *Управление газовым потоком в доменной печи программной загрузкой*. Свердловск, Metallurgizdat, 1960. 214 с.

14. *Остроухов М.Я.* Величина рудной подачи в доменных печах большого объема. Известия ВУЗов, Черная металлургия. – 1975. - №8. – С. 42-45.
15. *В.И.Большаков, Ф.М.Шутылев, Н.Г.Иванча, В.В.Лебедь.* Формирование программ распределения шихтовых материалов в доменной печи, оборудованной БЗУ. // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2004. - №1. – С. 59-63.
16. *Кройц Л., Гуденау Х.В., Штандиш Н.* Влияние на симметрию распределения материалов в доменной печи при применении засыпного аппарата с вращающимся желобом // Черные металлы. – 1991. - №3. – С.26-32.
17. *Большаков В.И., Иванча Н.Г., Логинов В.Н. и др.* Опыт исследования системы загрузки современной доменной печи. // Сталь. – 1996. - №10. – С. 2-5.
18. *Большаков В.И., Зарембо А.Ю., Гниненко С.И.* Исследование нагрузок, возникающих при движении шихты через распределитель бесконусного загрузочного устройства // Черная металлургия. – 1989. - №7. – С. 53-54.

*Статья рекомендована к печати
докт. техн. наук И.Г.Муравьевой*

В.И.Большаков, В.В.Лебідь, А.О.Жеребецький

Особливості управління завантаженням шихти на сучасних доменних печах

Виконано узагальнення існуючої термінології та принципів формування сучасної системи завантаження доменної печі, обладнаної безконусним завантажувальним пристроєм (БЗП). Показано інформаційну структуру параметрів режиму завантаження, що визначає можливі способи та прийоми управління розподілом шихтових матеріалів в печі. Показано, що раціональні режими завантаження дозволяють реалізувати технічний потенціал БЗП і забезпечити стабільну і ефективну роботу печі з найменшою витратою енергоносіїв