

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

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ СРЕДСТВ КОНТРОЛЯ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ РАДИАЛЬНЫМ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ ШИХТЫ В ДОМЕННОЙ ПЕЧИ

Показана актуальность эффективного и оперативного управления ходом печи посредством применения рациональных программ загрузки. Приведены примеры использования технологической информации средств контроля параметров плавки для обоснованного выбора режима загрузки доменной печи.

доменная печь, средства контроля, радиальное распределение шихты, технологическая информация

Состояние вопроса. Ровный и экономичный ход доменных печей при постоянстве шихты и дутьевого режима в значительной мере зависит от режима загрузки и распределения материалов в печи, определяющего степень использования тепловой и химической энергии газов [1]. Выполненные в нашей стране и за рубежом исследования позволили установить [2–7], что рациональное управление распределением шихтовых материалов на колошнике является одним из наиболее эффективных путей уменьшения расхода кокса на выплавку чугуна в доменной печи.

Радиальное распределение материалов на колошнике главным образом характеризуется распределением рудных нагрузок и объемов материалов, которые оказывают существенное влияние на распределение потока восходящих газов, распределение скорости опускания шихты, а также на форму зоны плавления. В свою очередь, форма зоны плавления определяет ход печи и является важнейшим технологическим фактором [8]. Влияние многочисленных изменяющихся факторов затрудняет поддержание рационального распределения материалов в течение длительного времени, поэтому необходимо периодическое регулирование хода печи изменением параметров режима загрузки материалов [9].

Постановка задачи. Для обоснованного выбора рациональных программ загрузки необходимо знать закономерности распределения шихтовых материалов, газопроницаемости, и степень их влияния на ход процессов плавки. В работе [10] показано, что для этого нужна информация о распределении рудных нагрузок, скоростей схода шихты и газопроницаемости по радиусу и окружности колошника; температуре поверхности засыпи и периферии колошника; степени использования восстановительной способности оксида углерода и водорода. Применение бесконусных загрузочных устройств (БЗУ) позволило существенно расширить возможности управления радиальным и окружным распределением шихтовых материалов по радиусу и окружности печи [11–13].

Опыт показал, что даже при значительном улучшении подготовки шихтовых материалов к плавке и внедрении других методов форсирова-

ния хода печей, на доменных печах обязательно должен осуществляться эффективный контроль распределения материалов и газов. Для доменных печей большого объема, важнейшим элементом наиболее эффективных режимов загрузки является загрузка в осевую зону печи одной–двух коксовых порций в рамках цикла загрузки из 6–14 порций [2, 11–13]. Загрузка «осевого» кокса обеспечивает формирование осевой «отдушины», степень раскрытия которой характеризуется содержанием CO_2 в этой зоне. Доменная печь объемом 5000 м³ работает с наилучшими показателями в тех случаях, когда содержание диоксида углерода в газе по оси печи на колошнике составляет 4–6 %; если же оно приближается к 10%, то печь работает неустойчиво. Для печи меньшего объема, например 3200 м³, содержание в центре 10–14 % дает положительные результаты.

Целью работы являлось аналитическое исследование имеющейся метрологической базы для контроля параметров плавки, характеризующих распределение шихты, и технологическая оценка информации современных средств контроля для выбора рациональных режимов загрузки доменной печи.

Метрологическая база для контроля параметров плавки, характеризующих распределение шихты.

Одним из основных элементов оборудования доменной печи, определяющим эффективность формирования рационального распределения шихтовых материалов и доменной плавки в целом, является загрузочное устройство и система его управления. Конусные загрузочные устройства применяются на доменных печах достаточно давно (более 150 лет) и к настоящему времени существует множество вариантов их конструкций [4]. Разработка методов регулирования хода печей изменением программ загрузки получила особое развитие в 1950–х годах и способствовала значительному улучшению эксплуатационных и технико–экономических показателей работы печи [9]. Ввиду отсутствия возможности обеспечения конусными аппаратами гибкого изменения распределения рудных нагрузок и газопроницаемости столба шихты, основное метрологическое обеспечение доменной плавки ограничивалось использованием средств контроля уровня засыпи, состава газов в различных точках сечения печи, температуры кладки шахты, газа в газоотводах, перепадов давления по высоте печи [5–10, 13].

В доменном производстве применяются различные средства контроля уровня засыпи шихты. В 1940–х гг. широкое распространение на практике получили зондовые грузы (цепь с подвешенным грузом [14]), опускаемые на поверхность шихты в печи в двух–четырёх точках в промежутках между загрузкой подач материалов. Для экспериментальной оценки профиля поверхности засыпи в 1950–х гг. использовались установки в виде труб и расположенных в них зондовых грузов, которые вводились в печь через патрубки [15]. Установка и освоение таких технических средств для измерения распределения материалов по двум взаимно перпендикулярным

радиусам имели важное значение для регулирования хода печи изменениями программ загрузки, однако эти устройства не обеспечивали непрерывность контроля уровня поверхности засыпи. Между тем систематическая регистрация и обработка данных о характере движения материалов в верхней части доменной печи необходимы для управления процессом плавки [16]. В середине 60-х гг. начались испытания бесконтактных радиометрических уровнемеров [17, 18]. Принцип действия уровнемера основан на «просвечивании» колошниковой части рабочего пространства печи радиоактивными источниками и на поглощении излучения шихтой. Устройство позволяло отчетливо выявлять неравномерную скорость схода материалов по окружности печи, однако, имело существенные конструктивные недостатки (нестабильное функционирование блока излучения, проблемы с надежностью системы водяного охлаждения).

По мере развития понимания технологами важности получения регулярной информации о газораспределении происходило расширение метрологического оснащения доменных печей стандартными средствами контроля распределения газов, обслуживаемых специализированным персоналом.

Для измерения скоростей газов в доменной печи Кинни применил в свое время специальную трубку Пито. Недостаток этого метода заключается в невозможности точно измерить динамический напор в столбе материалов, а также в том, что введение трубки изменяет величину живого сечения и, следовательно, скорость газов в месте измерения. На различных печах выполнялись измерения скорости газа трубками Пито [19, 20], однако, несоответствие эквивалентных диаметров просветов трубок и пустот в слое шихты приводит, по данным работы [21], к погрешности измерения скорости газа от 20 до 100%, что делает указанный метод малопримемлемым для использования. Основным недостатком существующих способов измерения скорости газа под поверхностью засыпи шихты как метода контроля радиального газораспределения является то, что измеренная скорость относится лишь к локальной струе, проходящей в межкусковом канале неизвестного и непрерывно изменяющегося сечения. Известны методы [22] измерения интенсивности газового потока по сечению доменной печи с помощью радиоактивных изотопов. Сотрудниками ИЧМ выполнялись исследования распределения плотности шихты на различной высоте печи с помощью специальных зондов [23].

Разработаны конструкции зондов для одновременного отбора проб газа и измерения его температуры [23–25], широко применяются также отборные устройства с охлаждением (технической водой или азотом). Достаточно надежными устройствами являются радиальные балки или трубы, устанавливаемые над поверхностью засыпи шихты, где они подвергаются только нагреву и периодическому воздействию загружаемых в печь материалов [26]. Контроль распределения химсостава газов по радиусу печи подвижными газоотборными зондами на многих печах осу-

шествляется при определении содержания компонентов в пробах газа в специальных лабораториях, что обуславливает значительное запаздывание (2–4 часа) результатов контроля [24, 25].

Контроль параметров газового потока (температуры, состава, давления, скорости) осуществляется как косвенными, так и непосредственными измерениями. Косвенный контроль газораспределения основан на измерениях температур кладки и холодильников в шахте, заплечиках и распаре с оценкой интенсивности тепловых потоков через стены на этих участках печи [27]. С 80–х гг. прошлого века косвенный контроль распределения газа по сечению печи осуществляется также с помощью техники инфракрасного измерения температур поверхности шихтовых материалов в доменной печи. Одной из реализаций этого типа устройств является система «Спиротерм» [13, 28], которая формально не предназначена для контроля газораспределения, однако по анализу динамики разогрева шихты позволяет получить информацию о распределении газового потока [29]. Для точного измерения температур системой «Спиротерм» необходима информация об уровне и форме профиля поверхности засыпи [13], что обуславливает наибольшую эффективность применения этой системы при наличии в составе АСУ печи профилемера. Современными вариантами контролируемых устройств, получивших широкое распространение в последнее время, являются системы с инфракрасными видеокамерами. Системы этого типа менее дорогостоящие по сравнению со «Спиротермом», однако при этом ни одна из них, среди действующих на доменных печах Украины и России, не обладает такой надежностью в работе и удобством получения оперативной и архивной информации.

Для непосредственного измерения параметров газового потока в доменной печи широко используются расположенные над поверхностью засыпи стационарные или выдвижные консольные балки (зонды), оборудованные термопарами и пробоотборными трубками. Они представляли собой T-образную несущую конструкцию с расположенными внутри измерительными и защитными трубами, достигающую оси печи, позволяя постоянно измерять распределение температур и периодически состав газа по радиусу печи [30]. Оригинальную систему контроля скорости газа по радиусу печи разработала японская фирма «Сумимото миталз». В системе используются 4 подвижных зонда, перемещающиеся над поверхностью шихты, каждый из которых содержит по 2 термопары, расположенные на заданном расстоянии друг от друга по вертикали. Получаемые с помощью этих термопар две кривые распределения температуры по радиусу колошника, отличаются временной координатой, что позволяет рассчитывать скорость газа в различных точках колошника [31].

С конца 70–х гг. прошлого столетия получили распространение системы автоматического отбора и анализа колошникового газа по радиусу печи, которые были внедрены на ДП №6 Новолипецкого металлургического завода и на ДП №8 и 9 завода «Криворожсталь» [5]. Принцип дей-

ствия таких систем отличается тем, что анализ газа проводится оптико-акустическими газоанализаторами непосредственно на площадке его отбора. Поэтому транспортное запаздывание газа на анализ сводится к минимуму и контролировать его распределение можно практически после опускания каждой подачи [32]. Системой автоматического контроля параметров газораспределения на ДП №6 НЛМК осуществлялось также измерение температуры газа, при этом в отличие от других подобных систем, процесс контроля был полностью автоматизирован и управлялся вычислительным комплексом [33].

Использование звуковой пирометрии в металлургии до настоящего времени применялось на чешской и японской доменной печах [34, 35]. В 2003 г. на доменной печи №9 компании ThyssenKrupp Steel установлена система акустического измерения температуры газа [36]. Принцип измерения температуры базируется на физической зависимости скорости распространения звуковых волн от абсолютной температуры газа. Указанный метод позволил подробно оценить состояние тепловых процессов в рабочем пространстве, которое до этого можно было проанализировать только путем одиночных измерений, допущений и экстраполяций. Посредством новой измерительной техники можно заранее распознавать горячие места на поверхности засыпи и, следовательно, целенаправленно обеспечивать их заполнение шихтой, т.е. корректировать программу загрузки. Это позволяет предотвратить образование «каналов» в столбе шихты, что способствует сокращению расхода восстановителей и увеличению выхода чугуна.

В 1991 г. Московским институтом стали и сплавов совместно с фирмой Dango&Dienthal (DDS) была разработана система сканирующих зондов HMS 210/550 для измерения распределения шихты в доменной печи. Принцип действия сканирующих зондов основан на непрерывном движении горизонтального зонда, с установленной на конце измерительной головкой, определяющей электрическое сопротивление частиц загружаемых в доменную печь материалов [37]. Система зондирования имеет существенный недостаток – невысокая долговечность измерительной головки, которая подвергается сильным механическим, абразивным и термическим нагрузкам в агрессивной газовой среде, позволяет осуществить порядка 600–800 введений зонда в печь (20–25 измерительных циклов в течение 6 недель). С 1995 г. на ОАО «Западно-Сибирском металлургическом комбинате» (ЗСМК) внедрена автоматизированная система контроля температуры и профиля поверхности засыпи шихты [38]. В последние годы широкое применение для измерения расстояния до поверхности засыпи шихтовых материалов на колошнике доменной печи получили радиолокационные средства, которые используются как в качестве периферийных зондов-уровнемеров, так и в составе системы измерения профиля поверхности засыпи. Известна система измерения профиля засыпи Redscan, установленная на колошнике доменной печи Redcor (Великобри-

тания), состоящая из установленных стационарно микроволновых измерительных устройств. Структурный состав системы начал формироваться с 1996 г., когда были установлены два радиолокационных уровнемера, а в последующем на одном диаметре печи было установлено 9 датчиков для измерения профиля [39]. В 2003 г. на доменной печи №9 "Криворожстали" (сейчас "Арселор Миттал Кривой Рог"), оснащенной двухтрактовым лотковым БЗУ фирмы "Paul Wurth", в соответствии с технологическим заданием Института черной металлургии установлена система контроля профиля поверхности засыпи шихты, в основу которой положен радиолокационный принцип измерения. Эта система состоит из стационарно установленных пяти измерителей на куполе и пятнадцати на переходном конусе печи, расположенных под указанными в технологическом задании углами наклона к поверхности засыпи шихты [40]. Особенностью стационарной системы измерения профиля является возможность получения достаточно полной и достоверной информации о параметрах поверхности засыпи шихтовых материалов на колошнике: профиле поверхности засыпи, форме и высоте слоев выгруженных порций шихты, изменении скоростей опускания шихтовых материалов в различных точках радиуса колошника за цикл загрузки.

Также известны принципиально отличающиеся средства измерения, основанные на различии физических свойств железорудного материала и кокса: электрические зонды, используемые для измерения толщины слоев и скорости опускания материалов в печи [41]; дифманометрические зонды, в которых толщина слоев идентифицируется по разности давления между уровнями слоя материала, в котором находится зонд (для кокса эта разность меньше чем для агломерата [42]); магнитоиндукционные датчики, размещаемые в кладке печи, в стационарных балках, позволяющие по различной магнитной проницаемости железорудных материалов и кокса измерять толщину их слоев и скорость опускания в печи [43].

Акустические сигналы и сигналы вибрации охватывают широкий спектр информации о ходе технологического процесса. Известны результаты измерений [34], проведенных на доменной печи №6 в Витковице, оборудованной БЗУ, системой контроля сигналов шума и вибрации (для измерения шума использовались акустические зонды с трубчатыми звукопроводами, зондами для съема сигналов вибрации служили пьезоэлектрические датчики ускорения). По интенсивности акустического сигнала, измеренного на колошнике, можно определить кольцевую зону с наиболее интенсивным газовым потоком, а также положение воронки, образующейся на поверхности столба шихты. Для определения положения воронки кроме акустических сигналов также используются сигналы вибрации, совместно с распределением температурного поля, установленного с помощью горизонтально перемещаемых зондов. Однако эти способы контроля по разным причинам не нашли широкого применения.

Использование и технологическая оценка информации современных средств контроля для выбора рациональных режимов загрузки доменной печи.

Среди многих средств контроля хода доменной плавкой одно из первых мест занимает анализ химического состава газа, пробы которого отбирают в нескольких точках ниже уровня засыпи, по двум или четырем взаимно перпендикулярным радиусам. В практике Института черной металлургии по разработке и освоению рациональных режимов загрузки в качестве основного критерия используется распределение содержания CO_2 по радиусу печи [7, 11, 13].

Высокопроизводительная и экономичная работа доменной печи зависит от рационального движения в столбе шихты газового потока, тесно связанного, в свою очередь, с распределением шихты в печи, определяющим программой загрузки [44–46]. Ровный ход печи возможен при несколько меньшем содержании CO_2 в газе у стен и в оси, чем на остальных участках радиуса. Попытки увеличить содержание CO_2 у стен приводят к неровному ходу и «подвисаниям» печи, а загрузка осевой зоны – к «похолоданиям» и загромождению горна. Ранее было установлено [44], что узкое периферийное кольцо слаборботающих газов совершенно необходимо для устойчивого и ровного схода шихты. По-видимому, при этом трение шихты о стены значительно уменьшается, особенно в зонах первичного неустойчивого шлакообразования. Уменьшается и вероятность налипания шлаков с материалами на стены печи. В работе [44] также указывается необходимость формирования в осевой зоне слаборботающих газов при рациональном газораспределении в шахте не только для подвода газа к промежуточной зоне, но и для облегчения схода подач. При движении части газового потока через осевую зону уменьшается подпор в периферийной и промежуточной зонах. По мнению исследователей при «разгруженности» центра появляется возможность поднять содержание CO_2 в газе промежуточной зоны, составляющей значительно большую долю сечения колошника, чем осевая зона.

Результаты анализа колошниковога газа, сопоставленные с показаниями контрольно-измерительных приборов, позволяют выделить следующие характерные схемы газораспределения в доменной печи [44–46]:

– центральный газовый поток.

Развитый центральный газовый поток возникает в том случае, если печь работает с загружающими периферию программами загрузки, с «передувами» или с малыми рудными нагрузками, вызывающими разрыхление шихты по оси печи. В оси содержание углекислоты уменьшается до 0,5–3,0%, на периферии увеличивается, а максимум CO_2 смещается к стенкам печи. Длительная работа с излишне развитым центральным потоком может приводить к «похолоданию» печи. В этом случае принимаются меры по «подгрузке» (увеличению рудной нагрузки) осевой зоны и «разгрузке» (уменьшению рудной нагрузки) периферии, что позволяет сме-

стить рудный гребень к промежуточной зоне и обеспечить достаточную газопроницаемость у стен печи.

– периферийный газовый поток.

Развитый периферийный поток газов возникает при работе печи с разрыхляющими периферию программами загрузки, увеличении доли мелочи в рудной части шихты и недостаточном количестве дутья. Содержание углекислоты в осевой зоне достигает 10–12%, уменьшается у стен печи, а максимум CO_2 смещается к центру. Длительная работа с излишне развитым периферийным потоком газов приводит к загромождению центра печи, уменьшению средней рудной нагрузки и к «похолоданию». Одними из наиболее эффективных способов «подгрузки» периферии являются уменьшение массы кокса и увеличение количества железорудных материалов на периферии. Однако преждевременная загрузка периферии железорудными материалами при низкой газопроницаемости оси приводит к «подвисанию» шихты и принудительным осадкам.

– канальный газовый поток.

Основными причинами возникновения канального газового потока являются увеличение количества мелочи в шихте, несоответствие параметров дутьевого режима гранулометрическому составу шихты («передув») и неравномерное распределение дутья по фурмам. Диаграмма распределения CO_2 в газе по радиусу может иметь несколько экстремумов. Расположение канала определяется положением минимума CO_2 по радиусу. Возникновение «канального хода» печи сопровождается изменением давления горячего дутья, что объясняется непостоянством сопротивления столба шихтовых материалов прохождению газов и неравномерной газопроницаемостью отдельных участков зоны шлакообразования. Для ликвидации канала необходимо уменьшить чрезмерную газопроницаемость соответствующего участка посредством его «подгрузки» железорудными материалами, улучшить гранулометрический состав загружаемой шихты.

В работах [45, 46] описаны методики, которые в совокупности с информацией о химсоставе газа позволяют производить оценку применяемой на печи программы загрузки с точки зрения использования тепловой и химической энергии газа.

Контроль параметров схода (опускания) поверхности шихты на колошнике является неотъемлемым элементом эффективного управления ходом доменной плавки. Основным критерием стабильности схода является газопроницаемость столба шихты, которая может быть оценена по перепадам статического давления газов [47]. Для определения изменения газопроницаемости совместно учитываются изменения верхнего, нижнего и общего перепадов статического давления [48]. Режим загрузки оказывает значительное влияние на величину общего перепада давления в печи и, прежде всего, на верхний перепад [49].

Изменение программы загрузки, как правило, отражается на «нижней» зоне через 3–4 часа, а на «верхней» уже через 1–1,5 часа. Применение программ, «разгружающих» периферию, уменьшает верхний перепад и увеличивает нижний, причем общий перепад может не измениться. По мере заполнения полного объема печи общий перепад уменьшается. Уменьшению верхнего перепада способствует применение подач, «разгружающих» периферию, а также повышение давления газа на колошнике, что имеет вспомогательное значение и должно выполняться до «разгрузки» периферии. «Подгрузка» периферии при недостаточном раскрытой осевой зоне, приводящая к обратному изменению верхнего и нижнего перепадов, нередко вызывает верхнее «подвисание».

В публикациях [47, 49] описаны способы автоматического управления доменной плавкой по перепадам давления газа. Регулирование хода печи по верхнему перепаду осуществлялось изменением программы загрузки. В качестве дополнительного технологического параметра, позволяющего установить расположение по сечению печи зоны с уменьшенной газопроницаемости, использовалась температура или содержание CO_2 в газе по радиусу. Регулирование схода шихты по нижнему перепаду преимущественно осуществлялось изменением дутьевых параметров: температуры, влажности и расхода дутья.

Альтернативными методами контроля радиального газораспределения в доменных печах, оборудованных БЗУ, являются системы контроля температуры и профиля поверхности засыпи шихты [38]. Установлено, что тенденция увеличения средней, максимальной и минимальной температур теплового поля свидетельствует о «разогреве» доменной печи, а уменьшение значений температур – о признаках «похолодания». Значительное увеличение температуры в какой либо зоне предупреждает технологов о возможности возникновения канального хода. При наличии резких кратковременных повышений давления колошникового газа и температуры поверхности засыпи в отдельных секторах теплового поля колошника, возникающих после выгрузки порций шихты, должны предприниматься оперативные меры по изменению параметров режима загрузки (изменение распределения масс шихтовых материалов по угловым позициям лотка), позволяющих добиваться ровного хода доменной печи.

Заключение

В условиях дефицита и дороговизны качественного сырья для доменного производства наиболее доступным способом достижения высоких технико-экономических показателей плавки является рациональное управление распределением шихтовых материалов на колошнике посредством обоснованного выбора параметров режима загрузки. Для этого технологам–доменщикам необходим определенный объем технологической информации о состоянии процессов в доменной печи и распределении шихты и газового потока по ее сечению.

Закономерности распределения материалов и газов по радиусу и окружности печи изучались многими исследователями. Для получения технологической информации разработано значительное количество способов, технических решений, средств и систем контроля параметров плавки, однако многие из них в реальной практике управления распределением шихты доменщиками не используются. В настоящее время, когда на металлургических предприятиях коммерческие интересы преобладают над технологической и научно–технической целесообразностью, весьма актуальными являются задачи определения рационального оснащения АСУ печей средствами контроля. На зарубежных и отечественных предприятиях сложилась практика типового минимального оснащения печей средствами контроля распределения шихты и газов в комплекте с грузочным устройством, что является допустимым в стабильных сырьевых и технологических условиях. Во многих таких случаях перечень средств ограничен 2–4 периферийными радиолокационными уровнемерами шихты и двумя радиальными термобалками для измерения распределения температуры колошникового газа, при этом могут отсутствовать средства контроля распределения химического состава газа по радиусу печи. Такой уровень оснащенности в нестабильных условиях доменной технологии явно недостаточен, однако мировые тенденции постепенно проявляются и в странах СНГ, что не всегда характеризуется положительными результатами.

На большинстве предприятий Украины и России персонал доменных печей не обеспечен достаточным объемом информацией о распределении материалов на колошнике. Для реализации эффективного управления распределением шихтовых материалов на колошнике необходимо оснащение печи точными и надежными средствами контроля параметров доменной плавки, обеспечение средствами автоматизированной обработки результатов и представления их персоналу. Показательным отечественным примером реализации эффективной контрольно–измерительной базы является доменная печь №9 «АМКР» объемом 5000 м³, оборудованная автоматизированной системой контроля распределения химического состава газа по радиусу и системой измерения профиля засыпи, на основе которых Институтом черной металлургии разрабатывается и в перспективе будет внедрена подсистема поддержки принятия решений персонала по выбору рациональных параметров режима загрузки – средней рудной нагрузки и распределения масс порций шихты по угловым позициям лоткового распределителя БЗУ. В настоящее время в Институте ведутся разработки современных технологических требований к оснащению доменных печей системами автоматизированного контроля параметров работы доменных печей и регламента контроля газораспределения.

Многолетний опыт разработок сотрудников ИЧМ по проведению предпусковых испытаний новых и реконструированных доменных печей, расчету траекторий движения шихты и рациональных программ загрузки,

управлению распределением шихты и газов в доменных печах, созданию современных систем контроля процессов доменной плавки и практической реализации этих разработок посвящены монографии [50, 51]. В настоящее время продолжают разработки и исследования, направленные на создание и совершенствование средств и систем контроля процессов доменной плавки, на разработку обоснованного автоматизированного регламента анализа распределения химсостава газов, что позволит более эффективно управлять распределением шихты и газов в доменных печах, оснащенных бесконусными загрузочными устройствами.

1. Павлов М.А. *Металлургия чугуна*, ч. 2. – Металлургиздат, 1945. – С.5–21.
2. Большаков В.И., Покрышкин В.Л., Шутьев Ф.М. Совершенствование способов загрузки доменных печей в СССР и за рубежом. // *Черная металлургия*. Сер. «Подготовка сырьевых материалов к металлургическому переделу и производство чугуна»: Обзорная информация. Ин-т Черметинформация. – Вып.2. – 1983. – 32 с.
3. Кутнер С.М. Эксплуатация доменных печей с бесконусным загрузочным устройством за рубежом. // *Черная металлургия*. Сер. 4: (Обзорная информация. Ин-т Черметинформация. – Вып.2. – 1978. – 25 с.
4. Тарасов В.П. Загрузочные устройства шахтных печей. – М. «Металлургия», – 1974. – 312 с.
5. Гришкова А.А., Френкель М.М., Вегман Е.Ф. Управление загрузкой доменных печей. // *Черная металлургия*. Сер. «Автоматизация металлургического производства»: Обзорная информация. Ин-т Черметинформации. – Вып. 4. – 1981. – 28 с. .
6. Кутнер С.М. Эксплуатация доменных печей, оборудованных подвижными плитами за рубежом. // *Черная металлургия*. Сер. «Производство чугуна»: Обзорная информация. Ин-т Черметинформации. – Вып. 1. – 1981. – 40 с.
7. Большаков В.И., Покрышкин В.Л., Шутьев Ф.М. Оптимизация программ загрузки доменной печи с лотковым распределителем // *Сталь*. – 1985. – №9. – С.16–20.
8. Регулирование распределения шихтовых материалов на колошнике доменной печи / С.Сакураи // *Tetsu to hagane, Journal of The Iron and Steel Institute of Japan*. – 1982. – 68. – № 15. – P.2319–2329.
9. Половченко И.Г. Регулирование хода доменной печи изменениями загрузки. // *Сталь*. – №10. – 1953.
10. Курунов И.Ф., Леонидов Н.К. Производство чугуна, измерения, контроль, управление процессами. Автоматизация процессов. // *Производство чугуна и стали: итоги науки и техники*. ВНИТИ АН СССР. – М., 1987. – Т. 17. – С.105–141.
11. Режим загрузки и особенности технологии плавки на доменной печи, оборудованной отечественным бесконусным загрузочным устройством. / В.Л.Покрышкин, В.И.Большаков, В.Д.Гладуш и др. // *Черная металлургия: Бюл. Ин-та «Черметинформация»*. – 1985. – Вып. 20. – С.33–34.
12. Особенности распределения материалов в доменной печи объемом 5000 м³ с бесконусным загрузочным устройством. // В.Л. Покрышкин, В.И. Большаков, И.Т. Хомич и др. // *Сталь*. – 1982. – №11. – С.13–16.

13. *Большаков В.И.* Теория и практика загрузки доменных печей. – М, 1990. – 256 с.
14. *Красавцев Н.И.* Metallurgy чугуна. – Metallurgizdat, 1952. – С.301–305.
15. *Редько А.Н.* Метод регулирования хода доменных печей. // *Сталь*. – 1946. – №3. – С.145–149.
16. *Леонидов Н.К.* Последние усовершенствования в загрузке доменных печей США. // *Сталь*. – 1944. – №1–2.
17. *Половченко И.Г.* Движение шихтовых материалов и газов в доменной печи. Днепропетровск, 1957.
18. *Половченко И.Г., Васильев Г.В.* Радиометрический контроль уровня материалов в доменной печи. // *Сталь*. – 1959. – №3.
19. *Кинни С.П.* Движение шихты и газов в доменной печи. – ДОМЕЗ, 1930. – №3–7.
20. *Штекер, Корнелиус.* К вопросу о распределении газов в шахте доменной печи. – ДОМЕЗ, 1931. – №2.
21. *Кузнецов Р.Ф., Чукин В.В.* К методике измерения скоростей газа в слое пневмотрубками // Сб. научн. трудов ВНИИМТ №16. – 1969. – С.40–49.
22. *Бугаев К.М., Семик И.П., Ю.П.Беляев и др.* Методика исследования интенсивности газового потока по сечению верхнего горизонта шахты доменной печи с помощью радиоактивных изотопов // Труды ДонНИИЧермет. Сер. Metallurgy чугуна. – 1969. – №12. – С.74–86.
23. *Экспериментальное исследование машин для отбора проб газа из горна и шахты доменной печи объемом 5000 м³.* / В.И. Большаков, М.Т. Бузверя и др. // Интенсификация процессов доменной плавки и освоение печей большого объема. Отраслевой сборник трудов МЧМ СССР. – М.: Metallurgy, 1980. – С. 75–79.
24. *Похвиснев А.Н. и др.* Доменное производство. – Metallurgizdat, 1951. – С.207–216 и 471–472.
25. *Рамм А.Н.* // Сб. «Проблемы металлургии». – Изд-во АН СССР, 1953. – С.209.
26. *В.М.Паршаков, Н.М.Бабушкин, В.Н.Тимофеев.* Разработка метода контроля распределения газового потока по радиусу печи // Теплотехника доменного и агломерационного процессов. Сб. научн. трудов ВНИИМТ №14. – М.: Metallurgy, 1966. – С.292–305.
27. *Наружные тепловые потери современных доменных печей* / А.В.Бородулин, В.В.Канаев, О.Е.Хенкина // Известия вузов. Черная металлургия. – 1982. – №1. – С.148–149
28. *Большаков В.И., Мирошниченко Б.И., Тараканов А.К. и др.* Контроль и оценка теплового состояния доменной печи с помощью системы «Спиротерм» // Metallургическая и горнорудная промышленность. – 1988. – №4. – С.8–11.
29. *А.С.1330163 СССР.* Способ определения радиального распределения газового потока на колошнике доменной печи / Б.И.Мирошниченко, В.И.Большаков, М.Н.Байрака, Н.М.Можаренко и др. – №3922725; заявл. 22.04.85; опубл.15.08.87, Бюл.№ 30.
30. *Работа стационарных охлаждаемых термозондов и компьютерной информационной системы для контроля за распределением температуры по диаметру колошника на доменных печах «Запорожстали»* / Брусков А.Л., Баланова Н.Г., Набока В.И. и др. // Производство чугуна на рубеже столетий. Тр. междунар. конгр. доменщиков. Дн–вск – Кр. Рог, 1999. – С.405–407.

31. *Саamoto Ёсиясу, Ода Ясуо*. Сумимото киндзоку коге. Пат. 58–11483, Япония. Заявл. 23.01.84, № 49–9225, опубл. 03.03.83, МКИ С В 7/24 С 21 В 5/00
32. *Автоматический отбор и анализ колошникового газа* / Немченко С.З., Таранец А.И., Гринштейн Н.Ш. и др // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 1979. – № 4. – С.55–56.
33. *Совершенствование методов контроля параметров газораспределения доменной печи с помощью ЭВМ* / Антипов Н.С., Калинин А.П., Шмолин М.М., Басаргин О.Р. // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 1981. – № 2. – С.48–49.
34. *Вэзэлы Р, Киселовски В*. Возможности использования сигналов шума и вибрации для контроля хода доменного процесса. HUTNIK. – 1982. – №3. – С.87–92.
35. *Ichida M., et al.*: Int. Congress Science and Technology of Ironmaking, June 1994, Sendai, Japan, S. 278/83.
36. *Домельс Х.–П., Дойстер М., Райншпихубер Ф*. Акустическое измерение температуры на колошнике доменной печи. // *Черные металлы*. – Июль 2009.
37. *Бухвалдер Й., Хунгер Й., Доброскок В*. Использование системы зондов для измерения распределения шихты. // *Черные металлы*, 2001. – № 5. – С.22–26.
38. *Долинский В.А., Никитин Л.Д., Бугаев С.Ф., Портнов Л.В., Горбачев В.П*. Испытание технологии выплавки чугуна с использованием данных системы контроля температуры и профиля поверхности засыпи шихты // *Черная металлургия*. Известия высших учебных заведений. – 2009. – №2. – С.9–12.
39. *M.J. Hague, T.M. Ditcher*. Blast furnace burden level and profile measurements using microwave devices. – 4– th European Coke and Ironmaking Congress, Paris, 19–21, 2000, P. 315 – 320.
40. *Использование информации профилера для выбора управляющих воздействий на ход доменной плавки* / В.И.Большаков, И.Г.Муравьева, Ю.С.Семенов и др. // «Черметинформация». Бюллетень «Черная металлургия». – 2006. – № 5. – С.29–34.
41. *Савчук Н.А., Яценко С.Б., Курунов И.Ф. и др.* // Бюллетень «Черная металлургия». – 1985. – №22. – С.36–38.
42. *Izumi Masaro et al.* // «Тэцу то хагане, J. Iron and Steel Inst. Jap.», 1984, 70, №12, 781
43. *Егоров Н.Д., Котов А.П., Улахович В.А. и др.* Череповецкий мет. Комбинат. А.с. №1039965, СССР. Заявл. 22.03.82, №3432346/22–02, опубл. в Б.И., 1983, №33, МКИ С21В 7/24.
44. *Чернов Н.Н., Домницкий И.Ф.* Управление газовым потоком в доменной печи. // *Сталь*. – 1956. – №5. – С.402–408.
45. *Воловик А.В., Каплун С.В., Аносов В.Г.* К вопросу об автоматическом управлении распределением газов по сечению печи с помощью систем загрузки. // *Сталь*. – 1966. №7. С.581–584.
46. *Апарин В.Б., Грузинов В.К., Грузинов В.В.* О связи между распределением материалов на колошнике и температурным полем в шахте доменной печи. // *Изв. вуз. Черная металлургия*. – 1966. – №2. – С. 27–31.
47. *Ефименко Г.Г., Гиммельфарб А.А.* Регулирование хода доменной печи по перепадам давления газа и распределению материалов по сечению печи. // *Сталь*. – 1962. – №10. – С.876–880.
48. *Готлиб А.Д., Ефименко Г.Г., Гиммельфарб А.А.* // Бюллетень ЦИИН ЧМ. – 1961. – №14.

49. Чернов Н.Н., Жигулев П.Г., Барановский П.Г. и др. Автоматическое регулирование хода доменной печи по перепаду статического давления. // Сталь. – 1958. – №12. С.1071–1077.
50. Доменное производство «Криворожстали» / Коллектив авторов под редакцией В.И. Большакова. – Днепропетровск, 2004. – 376 с.
51. Большаков В.И. Технология высокоэффективной доменной плавки. – Киев, Наукова думка, 2007. – 412 с.

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

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

Використання сучасних засобів контролю для управління радіальним розподілом шихти в доменній печі.

Показано актуальність ефективного та оперативного управління ходом печі за допомогою застосування раціональних програм завантаження. Наведено приклади використання технологічної інформації засобів контролю параметрів плавки для обґрунтованого вибору режиму завантаження доменної печі.