

В.И.Большаков, В.В.Лебедь

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ КОНТРОЛЯ ГАЗОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ В ДОМЕННОЙ ПЕЧИ

Целью настоящего исследования является анализ и разработка перспективных научно–технических направлений совершенствования и применения различных средств контроля распределения газов в доменных печах. Показано, что для информативного и надежного контроля газораспределения целесообразно оснащение доменной печи подвижными и стационарными газоотборными зондами под поверхностью засыпи. Приведены перспективные направления внедрений в области автоматизации для повышения эффективности управления доменной плавкой.

доменная печь, распределение газов, контроль, управление, эффективность

Целью настоящего исследования является анализ и разработка перспективных научно–технических направлений совершенствования и применения различных средств контроля распределения газов в доменных печах.

Влияние исследований в области распределения газов по сечению печи на развитие теории и практики доменного производства.

Основной особенностью доменной технологии является противоточное вертикальное движение шихтовых материалов и газов в рабочем пространстве доменной печи. При этом эффективность плавки определяется особенностями взаимодействия опускающейся шихты и восходящего потока восстановительных газов.

В работе Павлова М.А. [1] отмечено, что наилучшее использование тепловой и химической энергии газов достигается при равномерном распределении газов между кусками материалов, однако неоднородность гранулометрического состава реальной шихты и периферийный подвод дутья через фурмы обуславливают необходимость организации неравномерного распределения материалов и газов по сечению печи. При этом степень неравномерности определяется опытным путем в каждом частном случае, а «улучшение в распределении газов влечет за собой понижение их температуры, повышение содержания углекислоты в них и, следовательно, сокращение расхода горючего».

Очевидно, что эффективное управление газовым потоком в печи возможно на основе информации про его фактическое распределение, то есть при его контроле. В работе [1] описана процедура загрузки вручную печей с открытыми колошниками, при которой направленное распределение шихтовых материалов осуществлялось на основе непрерывных *визуальных* наблюдений распределения выходящих газов по всей поверхности колошника, «судя по образуемому ими факелу об их количестве и температуре».

Необходимость исследований газораспределения осознана доменщиками достаточно давно, при этом актуальность таких исследований возрастала с увеличением объема доменных печей. Первые крупные исследования в области движения газов [2–6] были посвящены изучению состава и температуры газа в столбе шихтовых материалов и главным образом в верхней его части – под уровнем (поверхностью) засыпи.

Соколов И.А. [2] на основании исследований в 1904г. древесно-угольной печи впервые указал, что состав и температура газов в шахте зависят от распределения материалов на колошнике. Максимум содержания CO_2 в газе соответствует большему скоплению железорудных материалов, при этом температура газа находится в обратной зависимости от содержания CO_2 и количества рудной составляющей доменной шихты. Несмотря на недостатки исследовательского оборудования, зависимость состава газа и его температуры от распределения материалов с качественной стороны в этих исследованиях была вполне доказана.

В начале XX века были опубликованы результаты ряда исследований распределения газового потока в печи [3–5]. В некоторых из них рассматривались вопросы взаимосвязи газораспределения и условий загрузки. Так в работе [4] отмечено влияние уровня засыпи, а в работе [5] авторы обращали внимание на конструкцию загрузочного устройства.

Первые крупные комплексные исследования доменной плавки, посвященные движению шихтовых материалов и газов в печи, были проведены в США в 1923–1929 гг. и опубликованы Кинни С.П. [6]. Для исследований распределения газов в столбе шихты с одной стороны печи объемом 700 м^3 на четырех горизонтах были расположены отверстия, через которые при помощи охлаждаемой трубы отбирались пробы газа, хромель–алюмелевой термопарой замерялась температура, а трубкой Пито – давление.

Следует отметить, что по результатам исследований Кинни сделал ряд ошибочных выводов, которые при поддержке ряда сторонников на некоторое время ограничили развитие объема доменных печей [7]. Сторонники этого мнения оспаривали целесообразность строительства больших доменных печей в СССР. Группа исследователей под руководством академика М.А.Павлова опровергла эти утверждения на основе результатов исследований [8], проведенных в 30–х гг. прошлого века на доменных печах объемом до 1300 м^3 . Исследования проводились на более высоком техническом уровне, чем предыдущие: с трех сторон на верхнем горизонте и с двух противоположных сторон на двух нижних горизонтах были расположены отверстия в печи для контроля газораспределения [9]. Результаты исследований подтвердили вывод Соколова И.А. [2] о неравномерной работе печи по окружности, установлена взаимосвязь между температурой и химическим составом газа, экспериментально подтверждено более эффективное использование восстановительных газов на больших печах.

Основные тенденции развития и классификация существующих средств контроля газораспределения

Первые исследования распределения газов в доменных печах осуществлялись, как правило, с применением оборудования, проектируемого исследователями самостоятельно, исходя из условий экспериментов и имеющихся технических возможностей. Это обуславливало подробное изложение методики исследований и особенностей исследовательского оборудования [6, 8]. Следует отметить, что различие условий контроля распределения газов приводило к усложнению обобщенного анализа результатов исследований, а иногда и к ошибочным выводам. 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. Совершенствование технологии доменной плавки, сопровождаемое увеличением давления и температуры газов в рабочем пространстве печи, способствовало непрерывному повышению требований к средствам контроля параметров плавки по точности и надежности.

При многообразии применяемых в настоящее время средств контроля газораспределения можно условно произвести их классификацию по характерным особенностям:

- по измеряемому параметру газовой среды (давление, скорость, температура, химический состав);
- по конструкции (стационарные и подвижные);
- по степени взаимодействия с газовой средой (контактные и бесконтактные);
- по расположению относительно элементов структуры столба шихты (над поверхностью засыпи шихты и под ней).

Контроль распределения статического давления газа по радиусу верхней части столба шихты не получил широкого распространения вследствие его малой информативности. Данный параметр газовой среды эффективно применяется при контроле газодинамических процессов в вертикальных сечениях печи, а также для контроля положения зоны размягчения и плавления.

В теории доменной плавки сформулировано основное требование для достижения высокой эффективности плавки – обеспечение рационального соотношения количества шихтовых материалов и восстановительных газов по сечению печи [1]. Поэтому естественным является стремление доменщиков к получению информации о количественном распределении газового потока, которое характеризуется распределением его действительных скоростей в слое шихты. Различными исследователями выполнялись измерения скорости газа трубками Пито [6, 10], однако, несоответствие эквивалентных диаметров просветов трубок и пустот в слое шихты приводит, по данным работы [11], к погрешности измерения скорости газа

от 20 до 100% и более, что делает указанный метод малоприемлемым 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 известного и непрерывно изменяющегося сечения. Известен метод [12] измерения интенсивности газового потока по сечению доменной печи с помощью радиоактивных изотопов.

В настоящее время отсутствуют достаточно надежные устройства для определения скорости газа в слое шихты, поэтому степень неравномерности распределения газового потока в основном оценивается по составу или температуре газа. Для определения состава и измерения температуры по радиусу колошника применяются два основных типа устройств, в которые вмонтированы трубки для отбора проб газа или термопары:

- периодически вводимые в печь на разных уровнях зонды [13, 14];
- стационарные балки, устанавливаемые в верхней части печи под определенным углом над или под уровнем засыпи [14, 15].

Существуют конструкции зондов для одновременного отбора проб газа и измерения его температуры [15–17], широко применяются также отборные устройства с охлаждением (технической водой или азотом).

Конструкции устройств контроля радиального газораспределения в слое шихты недостаточно надежны при длительной эксплуатации. Так, использование подвижных устройств осложняется деформацией отборных труб под воздействием движущихся шихтовых материалов и трудоемкостью очистки отверстий в кладке печи. Использование стационарных балок, устанавливаемых под уровнем засыпи, является также не надежным вследствие быстрого засорения отборных трубок и разрушения термопар. Следует отметить, что выход из строя наиболее распространенных хромель–алюмелевых термопар в большинстве случаев связан не с прямым механическим воздействием, а с их быстрым науглероживанием в процессе эксплуатации при высокой температуре (до 800⁰С), вследствие чего они становятся хрупкими. Более надежными устройствами являются радиальные балки или трубы, устанавливаемые над поверхностью засыпи шихты, где они подвергаются только нагреву и периодическому воздействию загружаемых в печь материалов. Преимуществами устройств этого типа являются простота замены их на работающей печи, более длительный срок эксплуатации термопар вследствие меньших значений температуры над поверхностью засыпи, возможность непрерывного контроля газораспределения [17].

Для измерения распределения температуры газового потока применяются также устройства, в которых измеритель не контактирует непосредственно с контролируемой средой (бесконтактные средства), а регистрирует тепловое излучение. С точки зрения достоверности информации зонды с оптическим измерением температуры значительно лучше зондов

с термопарами (термозондов) за счет значительно меньшей инерционности [18]. Однако испытания оптических зондов показали, что световод, находящийся между приемником излучения и шихтой, истирается и скалывается при движении зонда в шихте, кроме того, конструкция оказывается в условиях ударов и вибраций слишком сложной. С 80-х гг. прошлого века внедряется перспективная бесконтактная аппаратура инфракрасного типа для контроля распределения температурного поля на колошнике доменной печи (термографы, термовизоры). Одной из реализаций этого типа устройств является система «Спиротерм» [19,20], которая формально не предназначена для контроля газораспределения, однако по анализу динамики разогрева шихты позволяет получить информацию о распределении газового потока [21]. Для точного измерения температур системой «Спиротерм» необходима информация об уровне и форме профиля поверхности засыпи [20], 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 в получении архивной информации.

Совершенствование газоотборных средств контроля газораспределения осуществлялось как в конструктивно-механической, так и в метрологической части применяемых устройств, что обеспечивало повышение их надежности и достоверности результатов контроля. Так, например, в работе [22] предложена схема модернизации привода подвижного газоотборного зонда для уменьшения изгиба и вибраций. Авторами работы [17] для выполнения исследований было спроектировано и изготовлено специальное стационарное отборное устройство, позволяющее одновременно отбирать пробу газа и замерять его температуру в любой точке радиуса колошника, при этом для уменьшения инерционности термопары горячий спай ее был выведен непосредственно в газовую среду. Сотрудниками ИЧМ [23] разработан подвижный охлаждаемый термозонд со специальным съемным наконечником, что позволяет осуществлять малоинерционные измерения температуры под поверхностью засыпи открытым спаем.

Контроль распределения химсостава газов по радиусу печи подвижными газоотборными зондами на многих печах осуществляется при определении содержания компонентов в пробах газа в специальных лабораториях, что обуславливает значительное запаздывание (2–4 часа) результатов контроля. С конца 70-х гг. прошлого столетия получили распространение системы автоматического отбора и анализа колошникового газа по радиусу печи, которые были внедрены на ДП №8 завода «Криворожсталь» и ДП №6 Новолипецкого металлургического завода. Принцип действия 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 [24]. 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 [25].

Современные требования к метрологическому обеспечению доменной плавки подразумевают наличие на печи средств контроля распределения газового потока, которые должны предоставлять технологическому персоналу следующую информацию [26]:

- скорость и расход газового потока в печи;
- распределение температурного поля на колошнике;
- распределение по диаметру печи температуры и содержания CO , CO_2 и H_2 в газе под уровнем засыпи.

На практике оснащенность многих доменных печей средствами контроля газораспределения не соответствует необходимому объему. Кроме того, минимальная погрешность большинства измеряющих устройств составляет 2,5–4,0% при предельно допустимом для доменной плавки уровне 2,0%. В работе [26] отмечено, что для автоматизированного управления доменной плавкой с применением ЭВМ необходимо определять содержание составляющих газа с погрешностью $\pm(0,5-1,0)\%$, что достигается с применением новых масс-спектрометров, отличающихся также высокой надежностью и быстродействием. В настоящее время в составе комплекса АСУ ДП №9 «АрселорМиттал Кривой Рог» («Криворожсталь») для контроля газораспределения используется автоматизированная масс-спектрометрическая газоаналитическая система «Гранат», обеспечивающая технологов достаточно точной и оперативной информацией о распределении химсостава газа по двум диаметрам верхнего сечения шахты печи.

Эксплуатация средств контроля параметров газораспределения неизбежно приводит к их износу и уменьшению точности измерений. Для восстановления заданных метрологических характеристик рабочих средств измерения необходимо периодически (по установленному графику) направлять их на планово-предупредительный ремонт и осуществлять метрологическую калибровку по утвержденным методикам.

Таким образом, с учетом вышеизложенного для информативного и надежного контроля газораспределения *в верхней части столба шихты*, в достаточной мере характеризующего общий ход плавки, целесообразно оснащение доменной печи следующими устройствами: подвижными газоотборными зондами под поверхностью засыпи, работающими в автоматическом режиме с местным определением полного химического анализа газа с помощью современных масс-спектрометров, и стационарными зон-

дами над поверхностью засыпи с установленными в заданных точках по радиусу колошника малоинерционными термомпарами. Эффективность применения указанных средств контроля в значительной мере определяется особенностями их конструкции и расположением относительно поверхности засыпи шихты.

Установка подвижных зондов для отбора проб газа в столбе шихты на горизонте вблизи рабочего уровня засыпи шихты при воронкообразном профиле засыпи приводит к искажению результатов контроля газораспределения вследствие частичного смещения газового потока к оси печи в верхних слоях шихты. Размещение газоотборных зондов на значительном расстоянии (более 3–4 м) от поверхности засыпи приведет к анализу химического состава недоиспользованных печных газов, т.е. не в полной мере характеризующих конечное состояние массообменных восстановительных процессов в столбе шихтовых материалов.

При выборе местоположения над поверхностью засыпи неподвижных (стационарных) термозондов необходимо стремиться к максимально близкому их расположению к рабочему уровню засыпи, однако для увеличения срока эксплуатации зондов слои загружаемой в печь шихты не должны достигать их корпуса, что в большинстве случаев может быть обеспечено расстоянием 0,5–0,6 м. Близкое расположение термозондов к поверхности засыпи обуславливает уменьшение их влияния на процесс формирования слоя загружаемой шихты и, следовательно, на распределение материалов в соответствующем секторе колошника. Так, в работе [27] отмечено возникновение после выгрузки порций шихты на поверхности засыпи заметного диаметрального углубления, смещенного относительно оси термобалок на угол 6° в сторону вращения лоткового распределителя БЗУ при расстоянии от поверхности шихты до термопар зонда 2,3–2,7 м. В конструкции термозонда должен быть предусмотрен непосредственный контакт «горячих» спаев термопар с потоком восходящих газов, а также возможность аварийного охлаждения термопар при превышении допустимого диапазона измеряемых температур.

Применение результатов контроля газораспределения для анализа хода доменной плавки

Как отмечено выше, в процессе развития доменной технологии было произведено множество исследований газораспределения в печах на различных уровнях. При этом известно [8], что характер распределения температур, состава газов и его давления сохраняется на различных горизонтах шахты доменной печи, то есть соответствует характеру газораспределения в верхней части столба шихты при изменении абсолютных значений параметров газа. Сотрудниками ВНИИМТ по результатам исследований [17] установлено соответствие полей концентраций двуокиси углерода CO_2 в газе или его температуры над и под уровнем засыпи, и наличие тесной взаимосвязи между составом и температурой газа над поверхностью засыпи. При этом отмечено небольшое изменение характера газо-

распределения над поверхностью засыпи вследствие наличия смешивания газового потока при его движении к газоотводам. В работе [27] выполнены подобные исследования взаимосвязей, по результатам которых разработана математическая модель оценки радиального распределения CO_2 в газе на основе текущего распределения температуры газового потока. Поэтому для регулярной и оперативной диагностики хода плавки посредством контроля распределения газового потока необходимо и достаточно расположение устройств контроля на верхних горизонтах доменной печи (над и под поверхностью засыпи шихтовых материалов).

Практика повышения технико-экономических показателей за счет эффективного управления распределением шихтовых материалов по радиусу колошника на основе информации о газораспределении в печи сопряжена с появлением и внедрением бесконусных загрузочных устройств [20, 28]. При этом наиболее распространенным критерием управления загрузкой в отечественной практике является диаграмма доли CO_2 [29], однако результаты контроля распределения температуры колошниковога газа с помощью термозондов также эффективны для формирования рационального распределения шихты [30].

Значительная часть современных устройств позволяет осуществлять контроль параметров радиального газа только в определенных точках сечения печи, поэтому важна обоснованность выбора их расположения. Многие доменщики на основе понимания неравнозначности кольцевых зон одинаковой ширины, расположенных на различном расстоянии от оси печи, стремились обеспечить соответствие точек контроля газового потока кольцевым зонам равной площади. Такой способ контроля при допущении равномерности распределения количества газов по радиусу печи позволяет качественно оценить степень влияния газа определенной кольцевой зоны на химсостав общего колошниковога газа, т.е. на эффективность плавки в целом. Аналогичный подход был использован после создания бесконусных загрузочных устройств при выборе значений рабочих углов наклона лоткового распределителя, обеспечивающих загрузку материалов в середины равновеликих по площади кольцевых зон колошника, что должно было обеспечить связь угловых позиций лотка и параметров колошниковога газа в характерных точках контроля газораспределения.

На разных предприятиях конструкция термозондов или методика отбора радиального газа может существенно отличаться, что зачастую осложняет сравнение характера газораспределения на двух (или более) различных печах. Известны исследования, посвященные обоснованному выбору расположения точек отбора проб радиального газа. Так, в работе [31] приводится основанный на ряде допущений расчет для определения точек отбора газа по радиусу печи при заданном количестве равновеликих колец, на которое разбивается вся площадь колошника.

В ряде научных работ рассмотрены вопросы адекватной оценки газораспределения для анализа эффективности доменной плавки. В публикации [32] указывается необходимость учета скоростей газового потока, величину которых в первом приближении можно заменить температурами, при этом площадь, ограниченная кривой CO_2/t , характеризует контакт газов со столбом шихты, а степень отклонения этой кривой от прямой – неравномерность структуры столба шихты.

Для эффективного управления распределением шихтовых материалов на колошнике на основе данных о распределении газового потока важно определить наиболее информативный момент выполнения отбора проб радиального газа под поверхностью засыпи с учетом особенностей применяемой программы цикла загрузки и других факторов, влияющих на газораспределение. В работе [33] установлено, что газораспределение в верхних слоях шихты существенно зависит от изменений фактического уровня засыпи при загрузке порций, заданных программой загрузки. Результаты работы [33] подтверждают необходимость систематизированного изучения влияния различных технологических факторов на газораспределение в верхней части столба шихты, что позволит разработать обоснованный регламент отбора проб газов и оценить степень взаимосвязи распределения химического состава газов с распределением шихтовых материалов в печи.

Важное место в контроле газораспределения занимают расчетные методики, позволяющие на основе выбора критериев оценки или аналитической свертки параметров распределения газов осуществлять сопоставление его различных вариантов. Ряд работ [34–36] характерен схожей схемой определения показателей количественной оценки радиального распределения в доменной печи, основанной на сопоставлении площадей треугольников, вписанных под диаграммами распределения CO_2 , что по мнению исследователей является мерой степени развития периферийного и осевого потоков и их соотношения. Следует отметить, что такой способ оценки применим только при распределении газов, которое, как правило, наблюдается на печах, оснащенных конусными загрузочными устройствами.

Применение расчетных методов позволяет расширить набор доступных технологическим параметрам газового потока, а в некоторых случаях качественно проверить результаты прямых измерений. Так, академиком М.А.Павловым разработан метод расчета состава колошниковых газов по заданной степени прямого восстановления железа, пользуясь которым, он обнаружил ошибочность значительной части встречающихся в литературе данных о составе колошниковых газов, что объяснялось неполнотой поглощения окиси углерода при анализе [37].

Известны разработки расчетных методов количественного распределения газов по кольцевым зонам печи на основе данных о химическом составе радиального и общего колошниковых газов при известной величине

не расхода последнего. В работе [38] сформулирован принцип такого расчета, реализованный в системе уравнений для трех условных кольцевых зон колошника: периферийной, промежуточной и осевой. Результаты других исследований, изложенные в публикациях [39–41], основаны на расширении существующей схемы расчета для более точного учета материального баланса. По методикам [38–40] на основе данных о распределении газового потока можно оценить распределение шихтовых материалов по сечению печи.

Уровень развития этого направления научных разработок в настоящее время не обеспечивает достаточно широких возможностей контроля для эффективного управления доменной плавкой посредством формирования рационального распределения шихтовых материалов и газового потока по сечению печи, особенно для доменных печей, оснащенных бесконусными загрузочными устройствами. Для этого необходимо разработать универсальный комплекс технологических требований к уровню оснащенности печей средствами контроля газораспределения и создать методическую базу оперативной оценки хода доменной плавки по распределению газов в печи, что является одним из важнейших направлений деятельности Института черной металлургии в последние годы.

Заключение.

Эффективность доменной плавки в значительной мере определяется распределением газового потока по сечению печи, что обуславливает необходимость осуществления достоверного и информативного контроля газораспределения. По мере развития доменной технологии происходит совершенствование метрологического оснащения доменных печей средствами контроля распределения газов при непрерывном повышении требований к ним по точности и надежности.

Существуют различные способы и конструкции устройств для контроля газораспределения, однако значительная часть из них не обеспечивает достаточного уровня достоверности информации и надежности эксплуатации. Для информативного и надежного контроля газораспределения в верхней части столба шихты, в достаточной мере характеризующего общий ход плавки, целесообразно оснащение доменной печи подвижными газоотборными зондами под поверхностью засыпи, работающими в автоматическом режиме с местным определением полного химического анализа газа с помощью современных масс–спектрометров, и стационарными зондами над поверхностью засыпи с установленными в заданных точках по радиусу колошника малоинерционными термопарами.

Важное место в контроле газораспределения занимают расчетные методики, позволяющие на основе выбора критериев оценки или аналитической свертки параметров распределения газов осуществлять сопоставление его различных вариантов. Уровень развития этого направления научных разработок в настоящее время не обеспечивает достаточно широких возможностей для эффективного управления доменной плавкой посредст-

вом формирования рационального распределения шихтовых материалов и газового потока по сечению печи.

В современных условиях нестабильной конъюнктуры мирового рынка для обеспечения экономичного режима доменной плавки при переменной ее интенсивности и нестабильных шихтовых условиях, для обоснованного выбора управляющих воздействий на ход плавки необходимо применение на доменных печах эффективного инструментария. Необходимо разработать и внедрить комплекс технологических требований к уровню оснащенности печей средствами автоматизации (в том числе устройствами контроля газораспределения), расчетно-методической базы оперативной оценки состояния доменной плавки и разработать регламент их использования.

1. Павлов М.А. *Металлургия чугуна. Ч.2. Доменный процесс.* / М.: Металлургиздат, 1945. – 492с.
2. Соколов И.А. *Технические исследования работы древесно-угольных доменных печей.* – Свердловск, 1922.
3. Левин и Нидт. *Исследование состава газов доменной печи.* / ЖРМО. – 1911. – 2ч. – С.442–456.
4. Левин и Вессельман. *Зависимость между составом колошниковых газов и прочими условиями работы доменной печи.* / ЖРМО. – 1914. – 2 ч. – С.429–436.
5. Булле и Ленинге. // *Verichte.* – 1926. – №78.
6. Кинни С.П. *Движение шихты и газов в доменной печи.* // ДОМЕЗ. – 1930. – №3–7.
7. Половченко И.Г. *Движение шихтовых материалов и газов в доменной печи.* – Харьков: Металлург, 1958. – 164с.
8. *Доменный процесс по экспериментальным данным* // Труды ЛПИ им. М.И.Калинина. – Ленинград, 1949. – №2. – 346с.
9. *Исследование работы шахты и горна доменной печи №1 Магнитогорского завода.* / И.З.Козлов, Я.М.Гольмшток, В.Т.Басов и др. // Советская металлургия. – 1935. – №5–6.
10. Штекер, Корнелиус. *К вопросу о распределении газов в шахте доменной печи.* // ДОМЕЗ. – 1931. – №2.
11. Кузнецов Р.Ф., Чукин В.В. *К методике измерения скоростей газа в слое пневмотрубками* // Сб. научн. трудов ВНИИМТ. – 1969. – №16. – С.40–49.
12. *Методика исследования интенсивности газового потока по сечению верхнего горизонта шахты доменной печи с помощью радиоактивных изотопов* / К.М.Бугаев, И.П.Семика, Ю.П.Беляев и др. // Труды ДонНИИчермет. Сер. Металлургия чугуна. – 1969. – №12. – С.74–86.
13. Штарбер Л.Я. *Дистанционный отбор проб газа по радиусу колошника.* / Металлург. – 1956. – №9. – С.35–36.
14. Сучков И.А., Бурцев В.В. *Автоматический контроль газораспределения в шахте доменной печи* // Сталь. – 1958. – №2. – С.110–113.
15. Некрасов З.И., Ободан Я.М. *Автоматический контроль состава и температуры газов по диаметру печи.* // Металлург. – 1959. – №3. – С.5–7.

16. *Полтавец В.В.* Контроль распределение газа по радиусу колошника доменной печи. // Бюллетень ЦНИИЧМ. – 1961. – №7 (411).
17. *Паршаков В.М., Бабушкин Н.М., Тимофеев В.Н.* Разработка метода контроля распределения газового потока по радиусу печи // Теплотехника доменного и агломерационного процессов. Сб. научн. трудов ВНИИМТ. – №14. – М.: Metallургия, 1966. – С.292–305.
18. *Дукарский С.М.* Черная металлургия. // Бюл. НТИ. – 1969. – сер.15.
19. *Контроль* распределения температур поверхности на колошнике доменной печи / М.Н.Байрака, Н.С.Гринштейн, А.К.Тараканов и др. // Сталь. – 1985. – №4. – С.3–7.
20. *Большаков В.И.* Теория и практика загрузки доменных печей. – М.: Metallургия, 1990. – 256 с.
21. *А.С.1330163 СССР.* Способ определения радиального распределения газового потока на колошнике доменной печи / Б.М.Мирошниченко, В.И.Большаков, М.Н.Байрака и др. // №3922725; заявл. 22.04.85; опубл.15.08.87, Бюл.№ 30.
22. *Б.М.Раковский.* Устройства для текущего контроля работы доменных печей. // Metallург. – 1959. – №7. – С.10–12.
23. *Новый* термозонд для исследования температурных полей в доменных печах / И.Н.Эльке, Г.Ю.Воронин, А.Г.Ульянов и др. // Сталь. – 1985. – №7. – С.8–10.
24. *Автоматический* отбор и анализ колошникового газа / С.З.Немченко, А.И.Таранец, Н.Ш. Гринштейн и др // Metallургическая и горнорудная промышленность. – 1979. – № 4. – С.55–56.
25. *Совершенствование* методов контроля параметров газораспределения доменной печи с помощью ЭВМ / Н.С.Антипов, А.П.Калинин, М.М.Шмонин и др. // Metallургическая и горнорудная промышленность. – 1981. – № 2. – С.48–49.
26. *Серов Ю.В., Михалевич А.Г.* Метрологическое обеспечение доменной плавки // Сталь. – 1980. – № 2. – С.88–93.
27. *В.И.Большаков, В.В.Лебедь.* Исследование взаимосвязи распределения температуры и химического состава газового потока по радиусу доменной печи // «Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии». Сб. науч. тр. ИЧМ. – 2006. – Вып.13. – С.27–35.
28. *Большаков В.И., Покрышкин В.Л., Шутылев Ф.М.* Совершенствование способов загрузки доменных печей в СССР и за рубежом. // Обзорная информация ин-та «Черметинформация», сер. Подготовка сырьевых материалов к metallургическому переделу и производство чугуна. – Вып. 2. – М., 1983. – 32с.
29. *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.
30. *Освоение* загрузки реконструированной доменной печи Нижнетагильского metallургического комбината. / В.И.Большаков, Н.Г.Иванча, В.В.Лебедь и др. // Бюл. НТЭИ. Черная metallургия. – 2005. – Вып. 11(1271). – С.34–40.
31. *Котов В.Г., Быков М.С.* О рациональной методике контроля распределения газового потока по сечению доменной печи // Известия вузов. Черная metallургия. – 1974. – №2. – С.45–47.
32. *Сорокин В.А.* Комплексная автоматизация доменных печей. – М.: Metallургиздат, 1963. – 280 с.

33. *Большаков В.И., Лебедь В.В.* Исследование распределения химсостава газов по радиусу доменной печи // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2009. – № 2. – С.6–10.
34. *Влияние режимов загрузки и дутья на распределение потока газов по радиальному сечению верха доменной печи* / Г.А.Воловик, Е.Г.Донсков, В.И.Бондаренко и др. *Проблемы автоматизированного управления доменным производством*. – К.: Наукова думка, 1974. – С.93–99.
35. *Тарасов В.П., Тарасов Ф.П.* Выбор критерия оценки распределения газового потока по радиусу доменной печи // *Проблемы автоматизированного управления доменным производством*. – М.: Metallurgia, 1974. – С.96–104.
36. *Автоматическое управление газодинамическим режимом доменной печи*. / К.А.Шумилов, А.М.Довгаль, В.Л.Мельничук и др. – М.: Metallurgia, 1982. – 104 с.
37. *Работы академика Михаила Александровича Павлова в области металлургии чугуна*. // *Металлургия чугуна. Труды ЛПИ*. – Вып. №179. – М.:Металлургиздат, 1955. – С.5–17.
38. *Апарин Б.В., Грузинов В.К., Грузинов В.В.* О связи между распределением материалов на колошнике и температурным полем в шахте доменной печи // *Известия вузов. Черная металлургия*. – 1968. – №2. – С.27–31.
39. *Мойшелис П.Л., Швыдкий В.С., Ярошенко Ю.Г.* Расчет распределения колошникового газа и шихтовых материалов по сечению верхней части доменной печи // *Известия вузов. Черная металлургия*. – 1971. – №10. – С.148–151.
40. *Определение количественного распределения газового потока и материалов по радиальному сечению доменной печи* / Б.В.Боклан, Е.Г.Донсков, В.И.Бондаренко и др. // *Металлургия и коксохимия*. – 1974. – №38. – С.34–39.
41. *Товаровский И.Г., Бондаренко В.И.* Методика оценки радиальной неравномерности работы газового потока в доменной печи // *Металлургия и коксохимия*. – 1975. – №43. – С.29–36.

*Статья рекомендована к печати:
заместитель ответственного редактора
раздела «Доменное производство»:
докт.техн.наук, проф. И.Г.Товаровский*

В.И.Большаков, В.В.Лебедь

Сучасний стан контролю газорозподілу у доменній печі

Метою дослідження є аналіз і розробка перспективних науково-технічних напрямів вдосконалення і застосування різних засобів контролю розподілу газів у доменних печах. Показано, що для інформативного і надійного контролю газорозподілу доцільним є оснащення доменної печі рухомими і стаціонарними газовідбірними зондами над поверхнею засипу. Приведено перспективні напрями впровадження в області автоматизації для підвищення ефективності управління доменною плавкою.