

Большаков В. И. /д. т. н./, Чайка А. Л. /к. т. н./,
Лебедь В. В., Сохацкий А. А. /к. т. н./
Институт черной металлургии им. З. И. Некрасова
НАН Украины

Опыт и перспективы применения пылеугольного топлива в доменном производстве Украины

В работе представлен анализ отечественного и зарубежного опыта применения пылеугольного топлива (ПУТ) с целью оценки и разработки направлений, мероприятий модернизации доменных печей и технологии производства чугуна в Украине с применением ПУТ. Показано, что наиболее целесообразный путь уменьшения энергетических и других производственных затрат заключается в строительстве доменных печей большого объема, оснащении их бесконусными загрузочными устройствами, оборудованном для вдувания пылеугольного топлива и современными средствами контроля процесса плавки. Ил. 3. Библиогр.: 8 назв.

Ключевые слова: доменная печь, пылеугольное топливо, бесконусное загрузочное устройство, производительность, система охлаждения, тепловые потери, ресурс

Analysis of native and foreign experience of application of pulverized coal (PC) in order to evaluate and develop directions, measures concerning modernization of blast furnaces and technologies of pig iron production in Ukraine with application of PC is given in the work. It is shown that the most preferred way to cut energy and other manufacturing expenditures lies in building of high volume blast furnaces, their equipage with bell-less top, equipment for coal injection and modern means of control of smelting process.

Keywords: blast furnace, pulverized coal, bell-less top, productivity, cooling system, heat loss, resource

История освоения пылеугольного топлива в Украине

Первые в мире опыты по вдуванию пылеугольного топлива в доменную печь были проведены в 1948 г. на доменной печи объемом 427 м³ завода им. Дзержинского в Днепродзержинске под руководством профессора В. И. Логинова [1, 2]. В результате опытов установлена возможность и целесообразность вдувания ПУТ в доменную печь, достигнута скорость вдувания в горн печи до 20 т/час. Показано, что вдувание угольной пыли в количестве 5-6 % от общего расхода кокса позволяет уменьшить последний примерно на такую же величину. При вдувании угольной пыли с содержанием золы 16-18 % и 1,7-3 % серы, качество чугуна не ухудшилось.

Консультативную помощь по вдуванию пылеугольного топлива в печь завода им. Дзержинского оказал основоположник энергетической теории печей – И. Д. Семикин, имевший многолетние творческие связи по решению многообразных проблем металлургической теплотехники в области металлургии стали, прокатного производства и опыта использования ПУТ при отоплении отражательных печей в цветной металлургии. Позднее И. Д. Семикин предложил

метод расчета оптимального соотношения между кислородом, температурой дутья, различными топливными и иными добавками: природным газом, угольной пылью, паром, используя понятие коэффициента использования теплоты топлива (КИТ) и метод тепловой компенсации [3]. Этот метод сыграл важную роль в освоении технологии и техники применения комбинированного дутья в доменных печах, что отмечено рядом исследователей [2, 3], и заложил основание для выбора оптимальных параметров дутьевого режима печи формализованными методами математического программирования [3].

В 1966 г. на заводе «Запорожсталь» была построена первая в Украине установка для вдувания пылеугольного топлива в горн доменной печи № 3 объемом 1300 м³, разработанная по технологическому заданию ИЧМ и проекту Укргипромеза (инициатором и руководителем этих разработок был академик З. И. Некрасов) [2]. Угольная пыль подавалась от системы пылеприготовления одного из котлов ТЭЦ. Пылеугольное топливо фракции менее 0,088 мм подавалась пневмонасосом по двум пылепроводам в циклоны осадительных устройств, где ПУТ отделялась от транспортирующего воздуха, и да-

лее – к распределительным устройствам у доменной печи, откуда направлялась к шестнадцати фурмам доменной печи. При испытаниях было обнаружено неравномерное распределение ПУТ по окружности доменной печи, что потребовало усовершенствования системы распределения топлива по фурмам [2].

В 1967 г. в английском журнале [4] была опубликована статья о применении ПУТ как будущего источника энергии для производства чугуна, где указано, что первыми установили возможность использования углей в доменной плавке ученые СССР. К началу 1966 г. с вдуванием ПУТ в мире работали 8 ДП: одна в СССР, 4 в США, 2 во Франции и одна в Англии.

В 1978 г. З. И. Некрасовым с сотрудниками ИЧМ опубликованы результаты исследований и совершенствования технологии доменной плавки при использовании ПУТ, природного газа и обогащенного кислородом дутья [2]. Показано, что при вдувании ПУТ до 70 кг на тонну чугуна коэффициент замены кокса составил 0,88 кг/кг. Трехлетняя промышленная эксплуатация установки ИЧМ для вдувания ПУТ подтвердила ее надежность в работе и возможность подачи угольной пыли в горн доменной печи в пределах от 40 до 200 т/сутки.

В 1980 г. было завершено строительство на Донецком метзаводе промышленной установки для вдувания ПУТ в доменные печи № 1 и № 2 ДМЗ. Применение этих установок позволило в 2002-2010 гг. обеспечить выплавку чугуна с вдуванием ПУТ 120 кг/т чугуна, уменьшить расход кокса с 550 до 420 кг/т и расход природного газа на 80 %. Это было достигнуто путем улучшения качества кокса и использования концентрата угля марки «Т» для вдувания в горн ПУТ. Применение кокса улучшенного качества позволило на ДП-2 ДМЗ увеличить расход ПУТ до 165-170 кг/т чугуна без вдувания природного газа при применении ПУТ из 70 % углей марки «Т» и 30 % углей марки «Г». Следует заметить, что опыт вдувания ПУТ накоплен на доменных печах Донецкого МЗ объемом около 1000 м³, оснащенных конусными загрузочными устройствами, с ограниченными возможностями управления распределением шихты и газов по радиусу печей. Видимо по этой причине в работах С. Л. Ярошевского и др. [2] вопросы управления распределением шихты и газов по сечению печи не рассматриваются. В то же время в зарубежных странах освоение технологии плавки с применением ПУТ ведется на печах большего объема, оснащенных бесконусными загрузочными устройствами, что существенно увеличивает возможности управления процессом.

Для успешного освоения технологии доменной плавки с применением пылеугольного топлива на металлургических заводах Украины, кроме совершенствования шихтовых условий и выбора углей для пылевдувания, необходимо разрабатывать приемы управления тепловым режимом доменной плавки, средства контроля и способы управления распределением шихты и газов в доменных печах различного объема, оснащенных современными загрузочными устройствами [2].

Неудовлетворительное, в сравнении с зарубежной практикой, качество кокса, железорудного сырья и углей для приготовления ПУТ, отличия в конструкции и технической оснащенности доменных печей Украины требуют проведения научных исследований для изучения особенностей применения пылеугольного топлива.

В настоящее время из-за высокой цены природного газа и его дефицита металлургические комбинаты Украины переходят от технологии работы с природным газом к технологии доменной плавки с ПУТ: ПАО «Алчевский металлургический комбинат» («АМК») – 2009 г., «Запорожсталь» – 2011 г., Мариупольский металлургический комбинат имени Ильича («ММК им. Ильича») – 2012 г., ПАО «Днепропетровский металлургический комбинат им. Дзержинского» («ДМКД») – 2014 г. ИЧМ НАНУ принимает активное участие в освоении современной технологии работы доменных печей с ПУТ на ПАО «АМК» и ПАО «ММК им. Ильича» в рамках НИР с комбинатами [5-8].

Развитие комплексных опытно-промышленных и научно-исследовательских работ, как правило, требует объединения усилий специалистов различного направления. Институт черной металлургии НАНУ широко пользовался принципом научной кооперации, привлекал и объединял усилия проектных институтов, многих известных специалистов для целенаправленного выполнения таких работ.

В настоящее время в фундаментальных и прикладных работах, проводимых ИЧМ НАНУ, в том числе и по вопросам рационального применения ПУТ в Украине, успешно используется новое в области доменного производства научное направление – системная надежность при производстве чугуна [3, 8].

Под системной надежностью понимается способность производства и предприятия в целом в процессе функционирования сохранять в определенных пределах требуемый уровень производства металла заданного качества при нормируемых воздействиях на окружающую среду и расходе энергоресурсов. Основной задачей это-

ДОМЕННОЕ ПРОИЗВОДСТВО

го направления для доменного производства является поиск формализованными методами и на основании опытных плавок компромиссных решений, обеспечивающих, с одной стороны, требуемый объем выплавки чугуна заданного качества, с другой стороны, – минимальный расход энергетических ресурсов и с третьей стороны, – техническую надежность работы доменной печи и минимальное вредное воздействие производства на окружающую среду (рис. 1).



Рис. 1. Архитектура системной надежности доменного производства и принятия компромиссных решений по ее обеспечению

Системная надежность отличается тесным переплетением достижений теории и передовой практики и предусматривает кооперацию целенаправленных усилий специалистов различного профиля.

Современный опыт освоения ПУТ в Украине

Внедрение комплекса научно-обоснованных мероприятий, разработанных ИЧМ и включающих эффективное использование существующих возможностей по нагреву дутья, расходу

технологического кислорода, ПУТ и природного газа, а также мощностей оборудования внедоменного обессеривания чугуна, при формировании рационального распределения шихтовых материалов и газового потока, позволили вывести вторую по величине доменную печь Украины ДП № 1 полезным объемом 3000 м³ ПАО «АМК» в 2011 г. на режим работы, который соответствует тенденциям получения эффекта от внедрения технологии вдувания ПУТ в зарубежной практике, и достигнуть лучших технико-экономических показателей работы печей с ПУТ в Украине (рис. 2) [5-8].

Опыт освоения пылеугольного топлива (ПУТ) в 2009-2014 гг. на ДП № 1 ПАО «АМК» показал, что больший объем печи позволяет увеличить эффект от перехода на технологию работы с ПУТ в сравнении с печами малого объема, но в то же время повышает требования к технической оснащенности печи, конструкции системы ее охлаждения и качеству сырья [5-8]. В июне 2014 г. ДП № 1 остановлена на расширенный капитальный ремонт второго разряда, который предусматривает реализацию новых технических решений в конструкции печи, грузочном оборудовании и в системе охлаждения.

На сегодня одним из главных факторов, который уменьшает эффективность доменной плавки с ПУТ в Украине, в сравнении с зарубежной практикой, является увеличение рисков прогара холодильников, уменьшение ресурса работы шахты доменных печей (рис. 2-3).

При переходе на технологию работы ДП № 1 с ПУТ тепловые нагрузки на заплечики и горн увеличились более чем в полтора раза, увеличились в два и более раза риски прогара холодильников (рис. 3). Средняя величина внешних тепловых потерь при работе с природным газом составляла 14 МВт, при работе с ПУТ и с природным газом – 20, только с ПУТ – 23 МВт [5-8]. Расчетная величина расхода кокса на покрытие внешних тепловых потерь изменялась

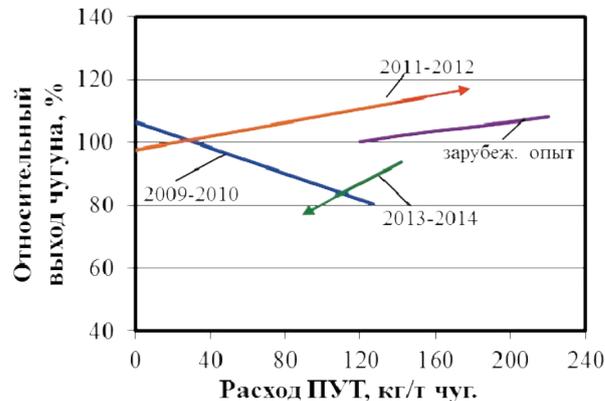
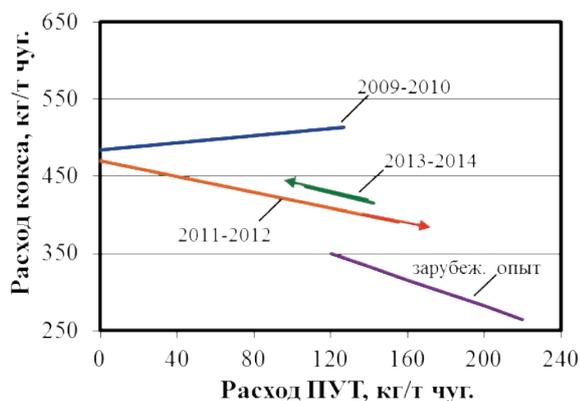


Рис. 2. Показатели работы ДП № 1 ПАО «АМК» в 2009-2014 гг.

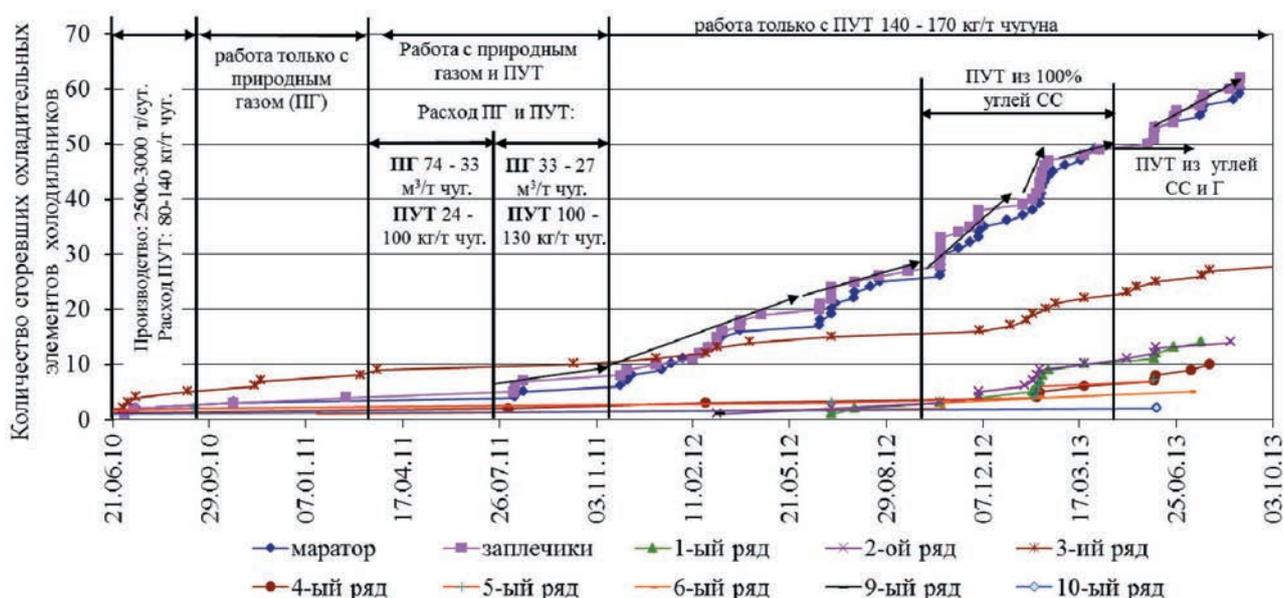


Рис. 3. Динамика горения охлаждаемых водой трубок холодильников заплечиков, маратора и шахты ДП при переходе на технологию работы с ПУТ

от 18 до 36 кг/т чугуна. В результате износа системы охлаждения печи и уменьшения ее производительности удельные тепловые потери на тонну чугуна увеличились на 20 %, а расход кокса на покрытие тепловых потерь увеличился на 7 кг/т чугуна [5-8].

Увеличение тепловых нагрузок на заплечики и горн, усиление окружной неравномерности их распределения требует пересмотра технологических и технических решений, принимаемых при разработке рационального режима загрузки печи, параметров и состава дутья, выбора конструкции, системы охлаждения, холодильников, фурм и профиля печи, автоматизированных средств контроля за тепловой и газодинамической работой печи, переходящей на технологию работы с ПУТ [5-8].

Опыт ИЧМ НАНУ, накопленный при освоении работы доменных печей большого и среднего объема, показал, что уменьшить тепловые нагрузки на систему охлаждения и продлить кампанию доменной печи можно за счет формирования в печи интенсивного осевого газового потока и рационального дутьевого режима плавки. Эффективно реализовать эти мероприятия позволяют современные бесконусные загрузочные устройства и конструкции фурменных приборов [3, 5-8]. Увеличение содержания водорода и летучих в ПУТ способствует увеличению ровности хода печи, уменьшению интенсивности износа шахты и горна за счет уменьшения степени прямого восстановления железа, количества первичного шлака и содержания в нем монооксида железа [5-8].

В 2013-2014 гг. в рамках научно-технического сотрудничества Института с Алчевским метал-

лургическим комбинатом разработаны и внедрены рациональные режимы загрузки и дутья на доменной печи № 1, что обеспечило производство чугуна около 5500 тонн в сутки при вдувании пылеугольного топлива до 150 кг на тонну чугуна и более, без применения природного газа, которые учитывают неудовлетворительное, аварийно-опасное техническое состояние шахты печи. Разработаны и предложены технические мероприятия по увеличению ресурса работы шахт доменных печей, переходящих на технологию доменной плавки с ПУТ.

В 2014 г. специалистами ИЧМ на Мариупольском меткомбинате им. Ильича выполнена НИР, в рамках которой на основе экспериментальных и аналитических исследований газодинамического и теплового режима работы доменных печей определены причины преждевременного выхода из строя фурменных приборов в условиях применения ПУТ. По рекомендациям ИЧМ реализованы технологические мероприятия по повышению эффективности работы ДП № 3.

С октября 2014 г. на МК «Азовсталь» выполняется НИР по разработке и освоению рациональных режимов загрузки, задувки, раздувки и энергосберегающей технологии работы ДП № 4. Научно-обоснованным базисом разработок являются результаты предпусковых исследований параметров распределения шихтовых материалов в печи.

При переходе на технологию работы ДП с ПУТ уменьшается удельный выход и теплота сгорания доменного газа, что может увеличивать потребление природного газа в других переделах. Решение этого вопроса требует ком-

плексного рассмотрения, которое учитывает взаимосвязи доменного передела с энергобалансом металлургического комбината.

Выводы

Изложенное позволяет сформулировать следующие задачи, требующие оперативного решения учеными и специалистами-доменщиками, а также опытно-экспериментальной проверки способов и приемов вдувания ПУТ, обеспечения полного сгорания частиц пыли, выбора рациональных режимов дутья, распределения шихтовых материалов и газового потока по сечению печи. Для эффективного и обоснованного решения главной задачи – уменьшения расхода кокса и природного газа при обеспечении стабильной и высокопроизводительной работы доменных печей – необходимо активизировать новые разработки и обеспечить их реализацию на доменных печах Украины. С этой целью необходимо выполнить следующие исследования и разработки, опирающиеся на имеющиеся в ИЧМ научные знания и опыт их реализации на доменных печах различного объема, оснащенных современным оборудованием и новыми средствами автоматизированного контроля параметров плавки и распределения шихты и газов [1, 2, 4-8]:

1. Изучить формирование рационального распределения газового потока при использовании различных загрузочных устройств, выполнить разработки эффективных режимов загрузки.

2. Оценить влияние химического состава ПУТ, его нагрева, способов-подачи и сжигания в горне с энергоносителями различной природы, кислородом, флюсами, пылевидными окислами железа и паром на показатели тепловой, восстановительной и газодинамической работы печи.

3. Усовершенствовать методы контроля и организации управления радиальным и окружным распределением шихтовых материалов на колошнике при различной степени замены кокса ПУТ и другими топливными добавками к дутью.

4. Определить влияние пылеугольного топлива на выход, температуру, калорийность доменного газа и на энергетический баланс металлургического комбината.

5. Разработать методы расчета и определения критериев оценки, характеризующих высокоэффективную работу доменной печи с вдуванием в горн ПУТ с учетом энерготехнологических связей доменного производства с другими переделами.

6. Оценить эффективность различных типов конструкций металлоприемника и шахты доменных печей, типов загрузочных устройств и

режимов их работы при освоении технологии плавки с ПУТ.

7. Определить влияние технологии работы доменных печей с ПУТ, параметров и распределения газового потока на вынос колошниковой пыли, состав и калорийность доменного газа.

8. Оценить необходимость и особенности управления газовым потоком, в том числе интенсивностью движения газов в осевой и периферийной зонах печи.

9. Выполнить сравнительный анализ особенностей работы доменных печей различного объема с вдуванием ПУТ, оснащенных бесконусными и конусными загрузочными устройствами, при близких шихтовых условиях и различной интенсивности вдувания ПУТ.

10. Выбрать рациональный состав и объем средств контроля и управления, необходимых для обеспечения стабильного и эффективного процесса плавки с применением ПУТ.

11. Для успешного и эффективного применения технологии доменной плавки с использованием ПУТ в Украине необходимо ускорить замену ДП малого и среднего объема печами большого объема, оснащенными БЗУ.

12. Разработать технологические требования и рекомендации, направленные на увеличение эффективности технологии доменной плавки в Украине с вдуванием пылеугольного топлива.

В ИЧМ НАНУ накоплен опыт успешного освоения передовых технологий доменной плавки в доменных печах Украины с применением ПУТ, разработки проектных решений по технической модернизации новых и реконструируемых доменных печей, сопровождении вывода их на рациональный режим работы.

Успешное освоение технологии доменной плавки с применением ПУТ на металлургических предприятиях Украины требует комплексного рассмотрения и решения, которое охватывает не только вопросы улучшения шихтовых условий для доменного производства и технического переоснащения печей, но и, в первую очередь, касается разработки рациональных приемов управления тепловой работой доменных печей на основании управления распределением шихты, согласования тепловой и газодинамической работы верха и низа печи, выбора параметров и состава дутья, организации эффективной работы фурменной зоны в существующих шихтовых условиях Украины с учетом технического состояния печи, требований по производительности и качеству чугуна.

Систематизировать разработки теплотехнических и других направлений совершенствования тепловой работы доменных печей с приме-

нением различной природы топливных добавок дутью позволяет научное направление – системная надежность доменного производства.

Библиографический список

1. Вдувание пылеугольного топлива в горн доменной печи / В. И. Логинов, Г. Г. Орешкин, И. Г. Половченко и др. // Сталь. – 1956. – № 8. – С. 675-682.
2. Применение в Украине технологии доменной плавки с вдуванием пылеугольного топлива / В. И. Большаков // Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии: Сб. научн. тр. – Днепропетровськ.: ІСМ НАН України. – 2011. – Вып. 23. – С. 30-36.
3. Домна в энергетическом измерении / А. В. Бородулин, А. Д. Горбунов, В. И. Романенко, С. П. Суцев. – Днепродзержинск: ДГДУ, 2006. – 542 с.
4. Future Sources of Energy For Ironman king / W. C. Sieghardt, H. E. Harris, C. S. Finney // Blast Furnace and Steel Plant. 09. 1967. – P. 809-815.
5. Опыт и перспективы применения пылеугольного топлива на доменных печах Украи-

ны / В. И. Большаков, А. Л. Чайка, В. В. Лебедь и др. // Металл и литье Украины. – 2013. – № 10. – С. 5-10.

6. Тепловая работа и перспективные конструкции шахты и металлоприемника доменной печи при применении пылеугольного топлива / В. И. Большаков, А. В. Бородулин, А. Л. Чайка и др. // Металлург. и горноруд. пром-сть. – 2014. – № 3. – С. 106-1107.

7. Эксергетический анализ энергоэффективности применения пылеугольного топлива в доменном производстве / В. И. Большаков, А. Л. Чайка, А. А. Сохацкий, А. А. Москалина // Экология и промышленность. – 2014. – № 2. – С. 87-94.

8. Системная надежность доменного производства, опыт и перспективы освоения технологии доменной плавки с использованием пылеугольного топлива на Украине / В. И. Большаков, А. Л. Чайка, В. В. Лебедь, Б. В. Корнилов, А. Г. Шевелев // Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии. – 2014. – Вып. 28. – С. 16-31.

Поступила 16.02.2015



УДК 669.169

Наука

Тараканов А. К. /д. т. н./, Бочка В. В. /д. т. н./,
Костомаров А. С.
НМетаУ

Кариков С. А.
ПАО «МК «АЗОВСТАЛЬ»

Оптимизация параметров дутьевого режима доменной плавки

Приведено теоретическое и практическое обоснование методики оптимизации дутьевого режима доменной плавки на основе комплексного расчетного анализа значений теоретической температуры горения топлива, объема фурменного газа и полной механической мощности фурменного газа. Ил. 4. Библиогр.: 3 назв.

Ключевые слова: доменная технология, дутьевой режим, оптимизация параметров дутья

Theoretical and practical grounding of optimization of the blast-furnace blast regime on the base of complex analysis of the theoretical fuel combustion temperature, volume rate of tuyere gas formation and tuyere gas complete mechanical power – is adduced.

Keywords: blast-furnace technology, blast regime, optimization of the blast parameters

Выбор оптимальных технологических режимов доменной плавки требует согласованной оптимизации параметров загрузки и дутья. Критериями оптимизации при этом обычно являются производительность доменной печи и удельный расход кокса.

При взаимосвязанном подборе оптимальных режимов загрузки и дутья чаще всего ведущим фактором оптимизации выступает распределение материалов на колошнике. Именно оно, в первую очередь, определяет, с одной стороны, степень использования газа и, следовательно,