

УДК 669.162.2: 6626/9(477)

В.И.Большаков, А.Л.Чайка, В.В.Лебедь, Б.В.Корнилов, А.Г.Шевелев

**СИСТЕМНАЯ НАДЕЖНОСТЬ ДОМЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА.
ОПЫТ И ПЕРСПЕКТИВЫ ОСВОЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ
ДОМЕННОЙ ПЛАВКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
ПЫЛЕУГОЛЬНОГО ТОПЛИВА В УКРАИНЕ**

Институт черной металлургии НАН Украины

Целью работы является оценка и разработка направлений и мероприятий модернизации доменных печей и технологии производства чугуна в Украине с применением пылеугольного топлива (ПУТ) с учетом накопленного научного и производственного опыта ИЧМ НАНУ. Показано, что освоение технологии доменной плавки с применением ПУТ требует комплексного подхода. Должно быть обеспечено улучшение шихтовых условий и техническое переоснащение доменных печей (ДП). Требуется разработка рациональных приемов управления тепловой работой доменных печей на базе 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. Решение этих вопросов особенно актуально для ДП большого объема $2000 \div 5000 \text{ м}^3$.

Ключевые слова: доменная печь, пылеугольное топливо, шихтовые условия, техническое переоснащение, распределение шихты, параметры дутья

Состояние вопроса. Институту черной металлургии НАН Украины (ИЧМ) исполняется 75 лет. За это время сформировались научные школы, знания которых накапливаются и переосмыслиются. По этому поводу великий мыслитель и естествоиспытатель В.И.Вернадский написал: «История науки и её прошлого должна критически составляться каждым научным поколением и не только потому, что меняются запасы наших знаний о прошлом, открываются новые документы или находятся новые приёмы восстановления былого.... Каждое поколение научных исследователей ищет и находит в истории науки отражение научных течений своего времени. Двигаясь вперёд, наука не только создаёт новое, но и неизбежно переоценивает старое, пережитое. Только этим путём возможна правильная и полная оценка того, что определяется современной наукой, что высказывается ею, как важное, истинное или нужное ...».

Этот тезис применим и к научной деятельности ИЧМ за его 75-летнюю историю. Развитие на Украине доменного производства за сорок лет Советской власти отображено в первом сборнике «Металлургия чугуна», выпущенного после перевода института из Киева в Днепропетровск, где приведены основные научно-технические задачи, которые решались в области производства чугуна в Отечестве и в ИЧМ в частности. На первом месте авторы работ выделяли мероприятия по

комплексной подготовке шихты, увеличению объема и производительности печей, повышению температуры и обогащению дутья кислородом, важное значение имеет регулирование газового потока в печи, переход на выплавку чугуна при кислых шлаках с внедомненным обессериванием чугуна и др.

Особое место в деятельности ИЧМ занимало развитие коксоберегающих технологий доменной плавки, основанных на вдувании в горн топливных добавок [2]. Огромное внимание уделялось организации и проведению опытных плавок на доменных печах.

Первые опытно-промышленные эксперименты по вдуванию пылеугольного топлива (ПУТ) и природного газа в горн доменных печей проводились на металлургических предприятиях Украины в 40–60 годах прошлого века, позднее – в США и Западной Европе [2-4]. Вид топливных добавок, используемых в доменном производстве, определялся их наличием и стоимостью. К 1960 году при участии ИЧМ освоена технология работы с применением природного газа на более чем 30 доменных печах Украины [5].

В настоящее время, из-за высокой цены природного газа и его дефицита, комбинаты Украины переходят от технологии работы с природным газом к технологии доменной плавки с ПУТ: ПАО «АМК» 2009 год, «Запорожсталь» 2011 год, «ММК им.ИЛЬИЧА» 2012 год, «ДМКД» 2014 год. 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 [6-8].

Впервые в мировой практике промышленное испытание технологии вдувания ПУТ в доменную печь осуществлено в Украине в 1948 году на заводе им.Дзержинского [2, 3]. В 1966 году на заводе «Запорожсталь» по инициативе З.И.Некрасова была построена разработанная по технологическому заданию ИЧМ и проекту Укргипромеца первая отечественная установка для вдувания пылеугольного топлива в горн доменной печи № 3 объемом 1300 м^3 [2, 9]. В 1980 году завершено строительство на Донецком металлургическом заводе промышленной установки для вдувания ПУТ в доменные печи № 1, 2 и в дальнейшем успешно освоена технология плавки с ПУТ на ДМЗ [2, 10].

Вопросам разработки технологии доменной плавки с применением пылеугольного топлива и оборудования для ее реализации посвящены исследования Института черной металлургии, ЦНИИЧермета, Днепродзержинского индустриального института, Донничермета, Карагандинского, Западно-Сибирского, Днепроовского им. Дзержинского комбинатов, металлургического комбината (МК) «Запорожсталь» и Тульского металлургического завода.

Консультативную помощь по вдуванию пылеугольного топлива в печь завода им.Дзержинского оказал основоположник энергетической теории печей И.Д.Семикин, имеющий многолетние творческие связи по

решению многообразных проблем металлургической теплотехники на заводе в области металлургии стали, прокатного производства и опыта использования ПУТ при отоплении крупнейших 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 понятия коэффициента использования теплоты топлива (КИТ) и метод тепловой компенсации [11]. Этот метод сыграл важную роль в освоении технологии и техники применения комбинированного дутья в доменных печах, что отмечено рядом исследователей [12-14], и положил основание для выбора оптимальных параметров дутьевого режима печи формализованными методами математического программирования [14].

В послевоенной металлургии вдувание пылеугольного топлива в доменные печи не стало главной задачей, – остро стояли перед экономикой страны задачи восстановления народного хозяйства, повышения производительности печей в тяжелой промышленности, новая проблема – расширение использования высококалорийного природного газа как основного источника тепловой энергии вместо твердого топлива и искусственных газов. В 1949 г. образован Институт использования газа АН УССР, директором которого стал академик Н.Н.Доброхотов. Разрабатывались новые газовые месторождения, строились магистральные газопроводы Дашава – Киев, Саратов – Москва и др.

Низкие цены на природный газ и большие его запасы не способствовали широкому применению пылеугольного топлива в отечественном производстве чугуна, но теоретические исследования и экспериментальные разработки новой техники и технологии по пыледуванию в домы продолжались на ряде металлургических предприятий и исследовательских институтов. Советскими учеными проведена большая аналитическая и экспериментальная работа по использованию и пылеугольного топлива и природного газа для выплавки чугуна. Доменщики ИЧМ во главе с академиком З.И.Некрасовым активно разрабатывали эту далеко не простую задачу по коренному расширению энергетической базы металлургии путем вдувания в доменные печи заменителей кокса и повышения производительности доменных печей, применения кислорода и увеличения объема печей [5]. Роль подготовки шихты постоянно отмечалась как ведущая и этому соответствуют не только рекомендации З.И.Некрасова, начиная с аналитической работы, но и его теоретические разработки и промышленные испытания полученных новых видов сырья: богатого агломерата, различных видов окатышей, вюститных брикетов и др.

В работе [9] З.И.Некрасовым, Л.Д.Юбко, А.В.Воловиком описана система вдувания пылеугольного топлива в горн доменной печи завода «Запорожсталь», включающая в себя отделение приготовления угольной

пыли, установку для подачи пыли к доменной печи, узел распределения угля по фурмам, узел вывода, пульт автоматизированного управления и контрольно измерительные приборы, объекты энергетического хозяйства. Представлены оптимальные режимы эксплуатации двухкамерных пневмонасосов, работающих по измененной схеме пневмо- и электроавтоматики. Также показаны результаты опытной доменной плавки при совместном применении угольной пыли марки АШ и природного газа, приведен критический анализ и практические предложения по совершенствованию системы пылевдувания и отдельных её узлов.

В работе [15] З.И.Некрасовым, Л.Д.Юбко, Я.М.Ободаном и др. показано, что широкое внедрение в доменное производство вдувания пылеугольного топлива тормозится отсутствием надежного оборудования, удовлетворяющего требованиям современной технологии доменной плавки. В статье дано описание созданной в ИЧМ пневмоустановки принципиально новой конструкции, успешно прошедшей промышленные испытания на печи объемом 1300 м³ завода «Запорожсталь». Установка свободна от недостатков других конструкций и обеспечивает на одном приводе равномерное и регулируемое питание ряда фурм. Приведена техническая характеристика пневмоустановки и схема ее работы в автоматическом режиме. Описаны изменения, вносимые в процесс пусконаладочных работ. Подача 10 тыс. тонн угля в горн подтвердила высокую работоспособность и стойкость работы группового роторного питателя, воздушных фурм с узлом ввода угля и других узлов пневмоустановки, которая рекомендована для широкого применения в черной металлургии. Приведены краткие результаты плавки: при подаче в горн 7500 т измельченного антрацитового штыба сэкономлено 6000 т кокса.

В работе [16] представлены результаты освоения технологии плавки при подаче пылевидного топлива марки АШ в горн печи №3 завода «Запорожсталь», работающей на комбинированном дутье. Установлено, что подача угля марки АШ в количестве до 30 кг/т чугуна является рациональной и дает экономию кокса, теоретическая температура горения изменяется незначительно и нет необходимости сокращать расход природного газа. При дальнейшем увеличении расхода пылеугольного топлива указанная мера становится необходимой. При подаче пыли в количестве до 50 кг/т чугуна коэффициент замены кокса углем марки АШ составляет 0,85 кг/кг. Расчет балансов показал, что экономия кокса достигается благодаря замене части вносимого им углерода углеродом вдуваемого угля. Также приведены результаты исследований некоторых процессов плавки. Установлено, что протяженность окислительной зоны не зависит от расхода пыли. Вместе с тем, подача ее в печь ведет к уменьшению содержания СО₂ в газе в осевой зоне колошника.

В работе [17] З.И.Некрасова, Л.Д.Юбко, П.Я.Мухина и др. приведены результаты доменной плавки при различных расходах пылеугольного топлива в сочетании с комбинированным дутьем. Выявлено, что подача измельченного угля в количестве до 70 кг/т чугуна дает реальную экономию кокса. Величина коэффициента замены не зависит от количества вдуваемой пыли и составляет 0,9 кг/кг. Разработаны мероприятия по сохранению теплового состояния печи при прекращении подачи пыли и при возобновлении вдувания. Приведены данные по контролю теплового состояния горна и распределению газового потока при использовании угольной пыли марки АШ.

Старейший сотрудник ИЧМ, ученик З.И.Некрасова, Н.А.Гладков, в работе [12] выделил ранние наработки З.И.Некрасова, касающиеся исследования физико-химических процессов в фурменной и периферийной зонах доменных печей с использованием и развитием современных достижений в теплофизике слоевых процессов, управления плавкой, борьбы с настывами и использовании проб газа по радиусам и периферии печи, теории, технологии и оборудованию вдувания порошкообразных материалов в шахту домны и добавлением материалов (пыли из руды 40-го класса) в воздушные фурмы. В 1957 году начал развиваться предложенный Зотом Ильичем способ использования в доменной плавке природного газа, широкое внедрение которого совместно с обогащением дутья кислородом проводилось в 1958–60 годы. Он отмечает, что такая возможность была подтверждена расчетами, методика которых почерпнута из работы И.Д.Семикина [11]. В заключении Н.А.Гладков утверждает, что, по мнению ряда специалистов высокого ранга, посещавших ИЧМ в разное время, оборудование, уровень и глубина выполненных исследований не уступали, а в отдельных случаях превосходили результаты и возможности, которыми обладали такие известные исследовательские корпорации как Бисро (Англия) и Ирсид (Франция).

В.Н.Андроновым в дискуссии с Г.В.Коршиковым [13] так же отмечается вклад проф. И.Д.Семикина в становление теории применения комбинированного дутья в доменные печи. Пожалуй, впервые анализируются технологом работы И.Д.Семикина, который сформулировал “идеологию” плавки, дал количественные соотношения расходов компонентов комбинированного дутья (термин предложен А.Н.Раммом), оценил возможный прирост производительности печей и спрогнозировал экономию кокса.

По прохождению длительного отрезка времени видна огромная положительная роль Института черной металлургии в становлении и развитии путей использования природного газа и кислорода при выплавке чугуна и основополагающая роль З.И.Некрасова в расширении энергетической базы металлургии СССР, становлении и развитии научного направления коренного повышения показателей доменной

плавки с применением природного газа и кислорода [5]. Для научного творчества академика АН УССР З.И.Некрасова характерна практическая направленность исследований, всесторонняя и тщательная подготовка опытных плавок и огромный объем уникальных экспериментальных исследований, выполненных на действующих агрегатах. Поэтому когда, во многом благодаря энергии и эрудиции З.И.Некрасова, объем доменных печей на Украине и в России последовательно увеличивался до 2000, 2700, 3000, 3200, 5000 м³ остро встал вопрос обеспечения эксплуатационной надежности и долговечности агрегатов большой единичной мощности, в Институте черной металлургии НАН Украины были развернуты экспериментальные, а затем и теоретические исследования тепловых процессов в периферийной зоне доменных печей. Была сформирована лаборатория теплотехники доменной плавки, куда были приглашены специалисты имеющие опыт работы в этой области, в том числе и по охлаждению доменных печей [14].

Полученные по единой методике (калориметрическим методом) и систематизированные, экспериментальные данные показали, что тепловые процессы в периферийной зоне являются важнейшим фактором стабилизации и экономичности технологии плавки, надежности и долговечности доменных печей. Они использовались при освоении технологии доменной плавки на комбинированном дутье высоких параметров в печах большой единичной мощности (объемом 3000 – 5500 м³), при совершенствовании конструкций и режимов работы систем охлаждения этих печей, развитии математических моделей доменного процесса, а также вошли в учебную и справочную литературу и положили начало развитию нового научного направления в металлургии: системной надежности доменного производства [14, 18].

Развитие комплексных опытно-промышленных и научно-исследовательских работ, как правило, требует объединения усилий специалистов различного направления. З.И.Некрасов широко пользовался принципом научной кооперации, привлекал и объединял усилия многих известных специалистов для целенаправленного выполнения таких работ. Он активно сотрудничал с В.И.Кармазиным по получению и проплавке богатого «суперагломерата», И.Д.Семикиным, Б.И.Китаевым по теплотехническим проблемам в металлургии, В.С.Кудрявцевым по получению металлизированного сырья, рядом проектных институтов.

Как правило, технолог рассматривает свою проблему слишком узко, принимая во внимание лишь единичный сегмент того сложного энерготехнологического цикла, каким является производство металла. Это может отрицательно сказываться на эксплуатационной надежности агрегатов, качестве металла, и придает решающую роль так называемой гибкости, т.е. быстрой и экономичной перестройке технологических режимов, самих агрегатов и в целом производственного комплекса. В этом направлении к анализу технологических режимов целесообразно

добавлять использование закономерностей тепловой работы печей и эксергетического баланса доменной плавки.

В настоящее время теплоэнергетический подход к исследованию и совершенствованию режимов работы доменных печей успешно используется в фундаментальных и прикладных работах проводимых ИЧМ НАНУ, развития нового научного направления в области доменного производства – системной надежности при производстве чугуна [14, 18]. (В работе принимали участие: А.В.Бородулин, А.А.Сохацкий, А.А.Жеребецкий, В.Г.Зайцев, Н.Н.Лычагин, А.А.Москалина, И.А.Осташко, Г.В.Панчоха, К.С.Цюпа, А.И.Швачка, В.Ю.Шостак).

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 этого 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, обеспечение технической надежности работы доменной печи и агрегатов ее обслуживающих, минимального вредного воздействия производства на окружающую среду. Системная надежность отличается тесным переплетением достижений теории и передовой практики и кооперацией целенаправленных усилий специалистов различного профиля.

В течение последних пяти лет с использованием отмеченных выше научных подходов выполнялись работы по освоению технологии доменной плавки с ПУТ на доменных печах ПАО «АМК» и ПАО «им.Ильича», технологии задувки печей без природного газа на ПАО «АМКР» и ПАО «ММК», освоение форсированной и энергосберегающей технологии доменной плавки на введенной в эксплуатации в 2011 году ДП №7 ОАО «НЛМК», полезным объемом 4200 м³, внедрение автоматизированных систем контроля внешних тепловых потерь доменных печей ПАО «АМКР» и ПАО «Запорожсталь». Названия некоторых из перечисленных работ и полученные в них результаты приведены ниже.

Целью настоящей работы является оценка и разработка направлений и мероприятий модернизации доменных печей и технологии производства чугуна в Украине с применением пылеугольного топлива (ПУТ) с учетом накопленного научного и производственного опыта ИЧМ НАНУ.

Изложение основных результатов исследования.

В работе «Предпусковые исследования работы оборудования системы загрузки. Совершенствование распределения шихтовых материалов на

колошнике, разработка мероприятий и технологических решений по повышению эффективности работы доменной печи №1 ОАО «АМК» (Руководитель – В.И.Большаков, договор № ТО-0333-10 с ПАО АМК от 17.09.10г.) обоснованы принципы, внедрена и совместно с технологами ОАО «АМК» освоена технология совместной подачи природного газа и пылеугольного топлива на все фурмы, включающая установление рациональных соотношений топливных добавок к дутью, технологического кислорода и кислорода подаваемого с ПУТ, через горелочные устройства при максимально достижимой величине температуры дутья с учетом химического состава пылеугольного топлива [6-8].

Рациональное управление распределением шихтовых материалов на колошнике, режимом сжигания топлива в фурменной зоне и выдачей продуктов плавки позволило в течение 2011 года достигнуть на ДП №1 ПАО «АМК» лучших технико-экономических показателей в Украине, которые соответствуют мировой практике работы ДП с ПУТ (рис.1). Расход кокса составляет порядка 395- 400 кг/т чугуна, что на 70 -100 кг/т чугуна. меньше, чем при работе без ПУТ. Расход природного газа составляет 33 м³/т чугуна. Для сравнения, до использования ПУТ, использовалось 85 – 90 м³ природного газа на тонну чугуна. Расход ПУТ составляет 130 кг/т чугуна при производстве порядка 6300 тонн в сутки на доменной печи объемом 3000 м³ [6-8].

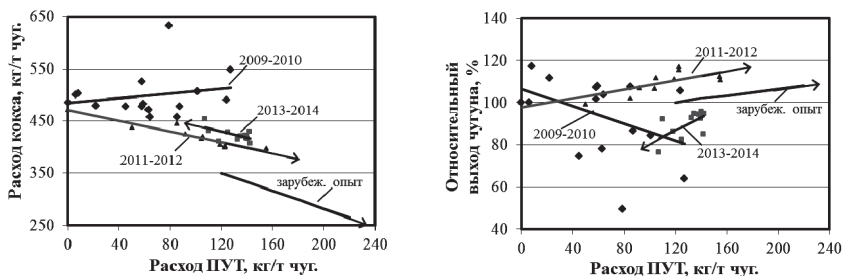


Рис.1 Показатели работы ДП №1 ПАО «АМК» в 2009-2014 гг.

Установлено, что при вдувании природного газа в сравнении с вдуванием ПУТ газодинамический режим более устойчив, что объясняется меньшим содержанием FeO в первичном шлаке. При вдувании ПУТ газодинамическое сопротивление доменной печи растет в зависимости от химического состава топлива за счет увеличения содержания закиси железа и количества первичного шлака [19, 20]. Как следствие, увеличиваются колебательные процессы в газодинамической системе «ТВД – доменная печь». В случае возмущения, например, в виде обрушения шихты в фурменную зону появляются колебания с большой амплитудой. Это отрицательно сказывается на устойчивости работы печи и на ресурсе работы турбокомпрессора. Компромиссным вариантом,

является совместное вдувание в горн доменной печи ПУТ и природного газа (рис.2).

В нестабильных условиях работы печи и при невысоком качестве сырья совместное вдувание в горн печи вместе с ПУТ небольшого

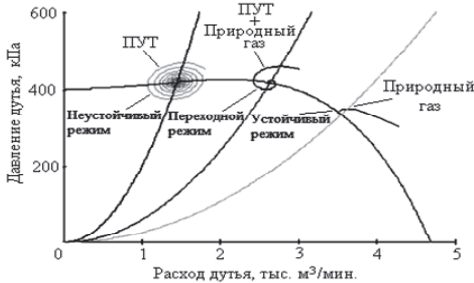


Рис.2. Фазовые портреты системы ТВД – доменная печь при применении природного газа, ПУТ и их смеси

количества природного газа, порядка $30 \text{ м}^3/\text{т}$ чугуна, через все воздушные фурмы способствует уменьшению тепловых нагрузок на горн и низ шахты печи, более устойчивой газодинамической работе системы «ТВД–доменная печь» и уменьшает окружающую неравномерность тепловой работы печи.

В 2013 году сотрудничество с ПАО «АМК» в рамках НИР ТО.0350.13 «Исследование параметров распределения шихтовых материалов и работы оборудования системы загрузки, разработка рациональных режимов работы ДП №1 ПАО «АМК» с применением пылеугольного топлива» (Руководитель – В.И. Большаков, договор №ТО.0350.13 с ПАО «АМК» от 10.10.13г.) было продолжено. На основе результатов предпусковых исследований, выполненных в рамках НИР, рекомендованы рациональные параметры работы оборудования системы загрузки ДП №1 ПАО «Алчевский металлургический комбинат». Разработаны рациональные режимы работы печи, обеспечивающие среднесуточное производство чугуна около 5500 т/сут. с вдуванием пылеугольного топлива до 150 кг/т чугуна и более без применения природного газа, которые учитывают неудовлетворительное, аварийно-опасное техническое состояние шахты печи [6-8].

Предложена и успешно опробована методика инструментального измерения искажения профиля выдутой печи с применением лазерных приборов.

Установлены закономерности влияния технологии работы с ПУТ на тепловые потери в системе охлаждения, окружающую и по высоте печи неравномерность горения холодильников и выхода из строя фурм. Обоснованы и предложены технические мероприятия по увеличению ресурса работы шахты доменных печей, переходящих на технологию доменной плавки с ПУТ.

Разработан проект дополнений в технологическую инструкцию по ведению доменной плавки с ПУТ. Разработаны рекомендации по форсированию, увеличению экономичности и увеличения ресурса работы ДП №1 ПАО «АМК».

Опыт (ПУТ) в 2009-2014 году на второй по величине доменной печи Украины ДП №1 ПАО «АМК», полезным объемом 3000 м^3 , 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 ее системы охлаждения и качеству сырья [6–8, 24]. В июне 2014 года ДП №1 остановлена на расширенный капитальный ремонт второго разряда, который предусматривает реализацию новых технических решений в конструкции печи, загрузочном оборудовании и системе охлаждения.

Аналитические и экспериментальные исследования динамики выхода холодильников ДП №1 ПАО «АМК» из строя, изменения тепловых нагрузок по высоте и периметру печи, тепловых потерь в системе охлаждения показали, что основными причинами уменьшения ресурса работы заплечиков, маратора и низа шахты ДП №1 являются изменения в тепловой и газодинамической работе при переходе на технологию доменной плавки с вдуванием пылеугольного топлива [6-8]:

- увеличение тепловых нагрузок на систему охлаждения печи, особенно на фурменный пояс, горн, заплечики и низ шахты;
- ухудшение ровности хода печи в связи с увеличением рудной нагрузки на кокс на 25% и уменьшением газопроницаемости столба шихты, особенностей сжигания ПУТ в фурменном очаге;
- увеличение производства и степени прямого восстановления железа, количества первичного шлака и содержание в нем монооксида железа;
- увеличение окружной неравномерности в тепловой и газодинамической работе печи.

Последствия влияния перехода ДП №1 на технологию доменной плавки с ПУТ на горение охлаждаемых водой трубок холодильников заплечиков, маратора и шахты ДП №1 приведено на **рис.3**.

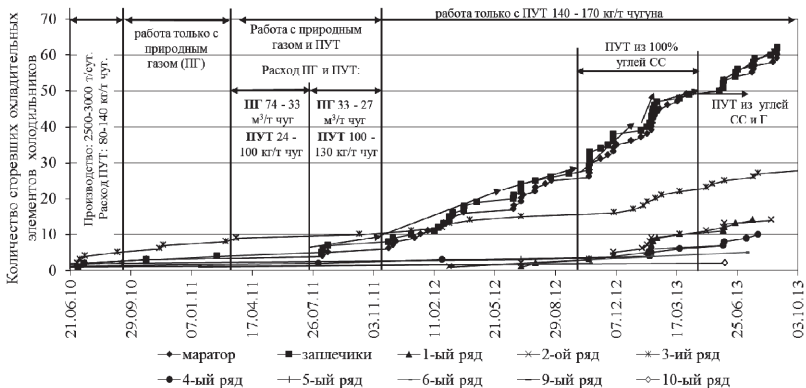


Рис.3 Динамика горения охлаждаемых водой трубок холодильников заплечиков, маратора и шахты ДП №1

Количество вышедших из строя водоохлаждаемых элементов печи увеличивалось при увеличении окружной неравномерности и величины температурно-тепловых нагрузок в нижней части печи, особенно на заплечики и фурменные приборы с увеличением расхода ПУТ. Тепловые

нагрузки на одну фурму увеличились с $130 \div 190$ до $160 \div 240$ кВт, неравномерность их распределения увеличилась более, чем в полтора раза. Средняя величина внешних тепловых потерь рабочего пространства исследованных печей по данным инструментальных замеров при работе с природным газом составляла 14 МВт, при работе с ПУТ и с природным газом – 20, только с ПУТ – 23 МВт [6-8].

В работе «Разработка приемов и освоение мероприятий по использованию информации о тепловых потерях в системе охлаждения, температурах футеровки и кожуха ДП №9 для обнаружения на ранней стадии и принятия мер по предупреждению «расстройств» в работе печи» (Руководитель – А.Л.Чайка, договор № ОЧ-0161-11 с ПАО «АМКР» от 10.06.11г.) разработана и реализована в составе АСУ ТП ДП №9 подсистема «Контроль внешних тепловых потерь и расход кокса на их покрытие». Разработаны рекомендации и направления использования информации, поступающей из подсистемы, для предупреждения «расстройств» и увеличения эксплуатационной надежности работы ДП №9, уменьшения расхода кокса, оценки эффективности выбранного тепло-газодинамического режима при изменении параметров и состава дутья, давления в колошниковом пространстве, программы загрузки печи (рис.4) [19, 25].

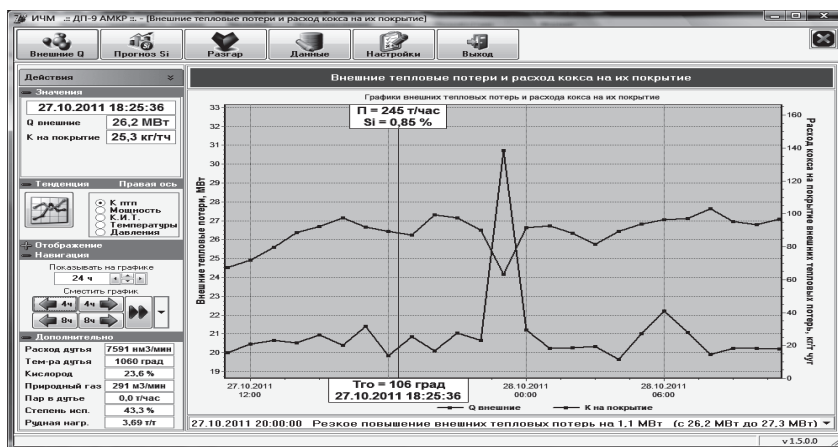
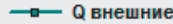
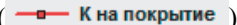


Рис.4. Видеокادر измерения внешних тепловых потерь ( Q внешние) и контроля расхода кокса на их покрытие ( K на покрытие)

В работе «Технологическое сопровождение подготовительных мероприятий и выдувки ДП №9. Технологическое сопровождение задувки ДП №9» (Руководитель – В.И.Большаков, договор №ТО.0328.08 с ПАО «АМКР» от 09.12.08г.) разработаны и опробованы на ДП №9 ПАО «АМКР» рекомендации по организации рационального тепло-газодинамического режима задувки и выдувки доменной печи с применением нагретого

азота. Обоснованы теплотехнические основы применения нагретого азота на комбинате при задувке, работе в нестабильных условиях по требованиям к количеству выплавляемого чугуна, коксовой плавки без топливных добавок к дутью и выдувки печи [20, 21].

В работе «Разработка и освоение режимов загрузки, обеспечивающих улучшение показателей плавки при раздувке доменных печей ОАО «ММК», оборудованных БЗУ» (Руководитель – В.В.Лебедь, договор ТО.0349.13 с ОАО «ММК» 2013г.) разработаны и успешно опробованы рекомендации по повышению эффективности раздувок печей, направленные на формирование рационального теплового состояния футеровки и работы системы охлаждения, предотвращающие начальное искажение рабочего профиля футеровки и обеспечивающие вывод влаги из печи, нормальный прогрев столба шихтовых материалов и продуктов плавки без использования природного газа, кислорода и пара до выдачи физически прогретых продуктов плавки.

Разработан проект дополнений в технологическую инструкцию по сушке, задувке и раздувке доменных печей ОАО «ММК».

В работе «Разработка и освоение технических и технологических мероприятий, обеспечивающих повышение эффективности работы доменной печи №7 ОАО «НЛМК»» (Руководитель – В.И.Большаков, договор №ТО.0345.12 с ОАО «НЛМК от 10.05.2012г.) разработан и реализован комплекс мероприятий, обеспечивших повышение эффективности плавки на ДП №7 («Россиянка») ОАО «Новолипецкий металлургический комбинат» за счет совершенствования параметров и состава дутья, тепловой работы, режима загрузки и распределения газового потока [22, 23]. Разработан проект дополнений в технологическую инструкцию по ведению доменной плавки. Разработаны рекомендации по форсированию и повышению экономичности работы ДП «Россиянка».

В период выполнения работы на ДП №7 фактическое производство чугуна увеличено на ~1700 т/сутки до 10700 т/сутки, среднемесячный расход кокса уменьшен на ~27 кг/т чугуна до 409 кг/т чугуна, расход суммарного топлива уменьшен на ~ 16 кг/т чугуна до 488 кг/т чугуна, величина суммарных тепловых потерь в системе охлаждения уменьшена на ~100 Мдж/т чугуна до 316 Мдж/т чугуна.

Применительно к освоенной в 2012-2013 гг. году технологии ведения доменной плавки на ДП «Россиянка» разработана методика, которая позволяет прогнозировать рациональное сочетание давления под колошником, температуры и выхода колошникового газа (рис.5) [23]. При поддержании скорости колошникового газа в пределах $0,9 \div 1,1$ м/с, увеличение тепловой мощности печи и выхода колошникового газа можно ожидать увеличение производства чугуна при сохранении ровности хода печи за счет увеличения давления под колошником. При поддержании давления под колошником на том же уровне можно ожидать увеличения производства чугуна при сохранении ровности хода печи за

счет увеличения тепловой мощности и выхода колошникового газа в случае уменьшения его температуры (рис.5).

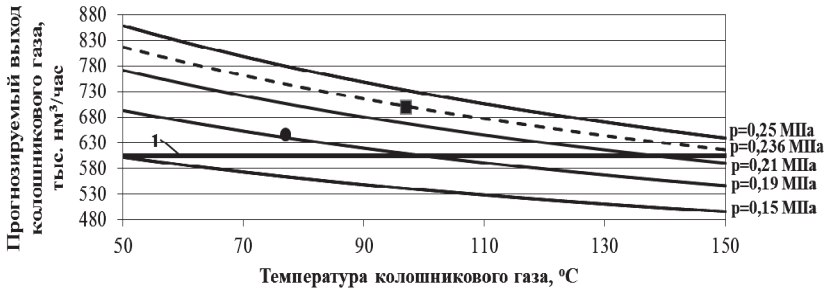


Рис.5. Прогнозные варианты выхода колошникового газа, приведенного к нормальным условиям, в зависимости от давления под колошником (Р) и его температуры при поддержании скорости колошникового газа в пределах 0,9÷1,1 м/с. ● – базовый период (март 2013 г.); ■ – работа январь 2013 г.; 1 – проектный выход колошникового газа, приведенный к нормальным условиям

Заключение. В ИЧМ НАН Украины накоплен опыт успешного освоения передовых технологий доменной плавки на 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 применением различной природы топливных добавок дутью позволяет научное направление – системная надежность доменного производства.

1. Некрасов З.И., Красавцев Н.И. Развитие на Украине доменного производства за 40 лет Советской власти.// *Металлургия чугуна*. Сб.трудов Института черной металлургии. Академия наук Украинской ССР. – Днепропетровск, 1957. –С.3 - 28.
2. В.И.Большаков. Применение в Украине технологии доменной плавки с вдуванием пылеугольного топлива / *Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии*: Сб. науч. тр. – 2011. – Вып. 23. – С.30 – 35.
3. *Вдувание пылеугольного топлива в горн доменной печи*. / В.И.Логинов, Г.Г.Орешкин, И.Г.Половченко и др../ *Сталь*. – 1956.– №8. – С. 675 – 682.
4. *Future Sources of Energy For Ironmaking* / W.C.Sieghardt, H.E.Harris, C.S. Finney // *Blast Furnace and Steel Plant*. – 09. – 1967. – P.809-815.
5. Некрасов З.И. 12 лет применения комбинированного дутья в доменном производстве СССР. // *«Металлург»*. – 1970. – №4. – С.29-32.
6. *Освоение работы доменной печи полезным объемом 3000 м³ с применением пылеугольного топлива* / В.И.Большаков, А.Л.Чайка, В.В.Лебедь и др. // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2012. – № 4. – С.36-40.
7. *Опыт и перспективы применения пылеугольного топлива на доменных печах Украины* / В.И. Большаков, А.Л.Чайка, В.В. Лебедь и др. // *Металл и литье Украины*. – 2013. – № 10. – С.5-10.
8. *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. // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2014. – № 3. – С.106–110.
9. *Вдувание пылеугольного топлива в горн доменной печи завода «Запорожсталь»* / З.И.Некрасов, Л.Д.Юбко, А.В.Воловик и др. // В сб. «Исследование шихтовых материалов и процессов доменной плавки» (ИЧМ) Труды второй научно – технической конференции молодых исследователей черной металлургии 15 – 18 окт. – 1968. – Том XXXIII. – М.: Металлургия, 1971. –С.72 – 77.
10. Ярошевский С.Л. Выплавка чугуна с применением пылеугольного топлива. – М.: Металлургия, 1988. – 176 с.
11. Семикин И.Д. Использование природного газа в металлургии, Доклад на республиканской секции металлургических печей Использование кислорода, угольной пыли и природного газа в доменной печи. – Днепропетровск: Изд. УкрНТО, 1957. – С.36 – 42.
12. Гладков Н.А. Основы разработок Зота Ильича Некрасова. - Институт черной металлургии им. З.И. Некрасова./ Под ред. чл.- корр. НАНУ, д – ра техн. наук, проф. В.И.Большакова. – Днепропетровск: АРТ – Пресс, 2007. . – С. 47–84.
13. Андронов В.Н.. Современная доменная плавка. - Санкт – Петербург: Изд-во С - Пб ГТУ. 2001. – 100 с.
14. *Домна в энергетическом измерении* / А.В. Бородулин, А.Д. Горбунов, В.И. Романенко и др. – Кривой Рог: СП Мир, 2004. – 413 с.
15. *Конструкция и промышленное опробование пневмоустановки ИЧМ для подачи пылеугольного топлива в горн доменной печи*. / З.И.Некрасов, Л.Д.Юбко, Я.М.Ободан и др../ Тематический сб. Металлургия чугуна. – М.: Металлургия, 1973. – Вып.1. – С. 91-109.
16. *Освоение технологии плавки с вдуванием пылеугольного топлива совместно с применением природного газа и обогащенного кислородом дутья на доменной печи завода «Запорожсталь»* / З.И.Некрасов, Л.Д.Юбко,

- В.Л.Покрышкин и др. // Сб. №1. Metallургия чугуна. МЧМ СССР. – М.: Metallургия, 1973. – С.98
17. *Работа доменной печи при применении природного газа, пылеугольного топлива и обогащенного кислородом дутья* / З.И.Некрасов, Л.Д.Юбко, П.Я.Мухин и др. // Интенсификация процессов доменной плавки и освоение печей большого объема. – М.: 1978. – №4. – С. 22 – 29.
 18. *О развитии научного направления в металлургии – системной надежности доменного производства* / А.В.Бородулин, С.П.Сушев, А.Л.Чайка и др. //Международная научно-техническая конференция «Теория и практика производства чугуна», посвященная 70-летию КГТМК “Криворожсталь”. – Кривой Рог. – 2004. – С.324 -328.
 19. *Пат. Украины* на изобретение 104228. Способ контроля хода доменной печи / В.И.Большаков, А.В.Бородулин, А.Л.Чайка, А.И. вачка Зарегистрирован в Госреестре патентов на изобретение 10.01.2014.
 20. *Исследования тепло-газодинамической работы в «сухой» зоне доменной печи и применение их результатов* / В.И.Большаков, А.А.Сохацкий, А.Л.Чайка, А.Г.Шевелев, А.И.Швачка // Metallургическая и горнорудная промышленность. – 2013. – № 2. – С.15-19.
 21. *Теплообмен* в домнах большого объема при задувке и использование нагретого азота / Чайка А.Л., Сохацкий А.А., Листопадов В.С., Пинчук Д.В., Нынь С.В., Лукьяненко И.А. // Материалы VIII международной научно-технической конференции «Тепло и массообменные процессы в металлургических системах». – Мариуполь, 7-9 сентября, 2010. – С.237–244.
 22. *Исследования тепло-газодинамической работы в «сухой» зоне доменной печи и применение их результатов* / В.И.Большаков, А.А.Сохацкий, А.Л.Чайка, А.Г.Шевелев, А.И.Швачка // Metallургическая и горнорудная промышленность. – 2013. – № 2. – С.15-19.
 23. *Исследование влияния параметров колошниковогаза и конструкции колошника на вынос колошниковой пыли* / Б.В.Корнилов, А.Л.Чайка, А.А.Сохацкий, В.Ю.Шостак // Экология и промышленность. – 2014. – №2. – С.54-58
 24. *Теплотехнические аспекты сокращения затрат энергии в металлургии чугуна: проблемы и перспективы.* / А. В. Бородулин, А.А.Сохацкий., А.Л. Чайка и др. // Теория и практика тепловых процессов в металлургии. Сб. докл. Международной научно – практ. конференции УрФУ, Екатеринбург: Россия, 18-21 сентября 2012. – С. 57–66.
 25. *Контроль суммарной величины тепловых потерь с охлаждающей водой на печах доменного цеха и их приложения* / В.И.Большаков, А.В.Бородулин, А.Л.Чайка, А.Г.Швачка // Тр. Международной научно-практической конференции «Теоретическое наследие В.Е. Грум – Гржимайло, посвященной 150-летию со дня рождения Владимира Ефимовича Грум – Гржимайло. УрФУ, Екатеринбург, Россия, 26 – 29 марта 2014. – С. 74 – 80.

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

В.І.Большаков, А.А.Сохацький, Б.В.Корнілов, А.Г.Шевельов *А.Л.Чайка,* *В.В.Лебідь,*

Системна надійність доменного виробництва, досвід і перспективи освоєння технології доменної плавки з використанням пиловугільного палива в Україні

Метою роботи є оцінка та розробка напрямів і заходів модернізації доменних печей та технології виробництва чавуну в Україні із застосуванням пиловугільного палива (ПВП) з урахуванням накопиченого наукового і виробничого досвіду ІЧМ НАНУ. Показано, що освоєння технології доменної плавки із застосуванням ПВП вимагає комплексного підходу. Необхідно забезпечити поліпшення шихтових умов та технічне переоснащення доменних печей (ДП). Потрібно також забезпечити розробку раціональних прийомів управління тепловою роботою доменних печей на базі управління розподілом шихти, узгодження теплової та газодинамічної роботи верху і низу печі, вибір параметрів і складу дуття, організацію ефективної роботи фурменної зони в існуючих шихтових умовах. Вирішення цих питань є особливо актуальним для доменних печей великого обсягу 2000 ÷ 5000 м³.

Ключові слова: доменна піч, пиловугільне паливо, шихтові умови, технічне переоснащення, розподіл шихти, параметри дуття

V.I.Bolshakov, A.L.Chayka, V.V.Lebed, S A.A.okhatsky, B.V.Kornilov, A.G.Shevelev

System reliability of blast furnace production, experience and prospects of development of the blast furnace technology using pulverized coal in Ukraine

The aim is to assess and develop the directions and measures of modernization of blast furnace in Ukraine using coal injection (PCI) in the light of scientific and industrial experience ISI NASU. It is shown that the development of blast furnace technology with PCI requires an integrated approach. Should be an improvement in terms technical re-equipment of blast furnace (BF). Requires the development of rational methods of control thermal performance of blast furnaces on the basis of controlling the distribution of the charge, matching thermal and gas-dynamic work of top and bottom of the furnace, effective operation of the tuyere in existing conditions. Dealing with these issues is especially important for large BF Ukraine 2000 ÷ 5000 m³.

Keywords: blast furnace, pulverized coal, technical reequipment, the charge distribution, the parameters of the blast