



Общество с ограниченной ответственностью  
 «Донецкий Индустриальный Союз»

97, ул. Артема, г. Донецк, 83000, Украина, тис 26009174800 в ЗАО "Донгорбанк"  
 МФО 334970, ОКПО 24812777, тел: +380-62-3814602, факс: +380-62-3814628  
 e-mail: dis@dis.donetsk.ua

Директору УХИНа  
 Ковалеву Е. Т.

Уважаемый Евгений Тихонович!

Искренне и сердечно поздравляем Вас и вверенный Вам коллектив ученых и специалистов, всех сотрудников со знаменательной датой – 80-летием со дня основания Украинского государственного научно-исследовательского углехимического института.

Специалистам-коксохимикам хорошо известны высокоэффективные разработки УХИНа по расширению угольной сырьевой базы коксования, отечественным конструкциям коксовых печей с большегрузными камерами, новым технологиям улавливания и защите окружающей среды.

Нам очень приятно отметить, что сотрудничество УХИНа, ОАО «Алчевсккокс», «Гипрококс» и других организаций по разработке комплексной энергосберегающей технологии производства высококачественного металлургического кокса на ОАО «Алчевсккокс» отмечено Государственной премией Украины в области науки и техники 2009 года.

УХИН успешно выполняет задачу научного обеспечения технического прогресса в коксохимии.

В этот знаменательный для коллектива института день желаем ученым и сотрудникам эффективных решений, новых открытий, крепкого здоровья, трудовых успехов и семейного благополучия.

С уважением,

Генеральный директор  
 ООО «Донецкий индустриальный союз»

Гурал В. В.

УДК 66.092.89

**РАЗРАБОТКИ УХИНа ПО  
 СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ  
 ПРОМЫШЛЕННОЙ ТЕХНОЛОГИИ  
 КОКСОВАНИЯ**

© 2010 Васильев Ю.С., д.т.н.,  
 Шульга И.В., к.т.н.,  
 Торяник Э.И., к.т.н. (УХИН)

*Проанализировано состояние разработок УХИНа по совершенствованию промышленной технологии коксования – в частности, по повышению качества кокса, улучшению условий эксплуатации коксовых печей, решению экологических проблем, энерго- и ресурсосбережению.*

*UKHIN developments in the field of perfection of coking industrial technology – particularly, for upgrading coke, improvement of external environments of cokes stoves, decision of ecological problems, economy of resources and energy are presented in the article.*

Ключевые слова: кокс, качество, коксовая печь, эксплуатация, экология, ресурсосбережение.

В последние годы производство кокса в Украине стабилизировалось на уровне 18-20 млн. т в год (в расчете на 6 %-ную влажность). В соответствии с прогнозами ведущих специалистов, разработавших по заданию Минпромполитики проект концепции реформирования горно-металлургического комплекса на период 2010-2015 гг., такой уровень производства сохранится и в обозримой перспективе. При этом главное внимание должно уделяться решению двух взаимосвязанных проблем: повышению качества продукции и техническому перевооружению действующего печного фонда.

Необходимость решения первой из указанных задач обусловлена прежде всего техническим прогрессом в доменном производстве – ведущие украинские производители чугуна (ОАО «Алчевский МК», «Запорожсталь», ММК им. Ильича, «АрселорМиттал Кривой Рог», «МК «Азовсталь») ведут интенсивные работы по внедрению технологии вдувания пылеугольного топлива, позволяющей сократить расход кокса как минимум на 20 % и довести его до уровня 350-400 кг/т чугуна. В связи с этим существенно возрастают требования к качеству кокса, прежде всего по показателям реакционной способности и термомеханической прочности [1].

Одним из наиболее эффективных способов улучшения качества кокса является использование прогрессивных технологий подготовки шихты к коксованию. Поэтому такие разработки занимают важное место в исследованиях УХИНа. Среди наиболее значимых результатов прежде всего необходимо отметить успешное освоение на ОАО «Алчевсккокс» технологии трамбования угольной шихты. Это потребовало проведения комплекса исследований по разработке рациональных технологических параметров трамбования шихты и ее коксования.

В частности, на специально созданных исследовательских установках была определена трамбуемость индивидуальных углей и составленных из них шихт, изучено влияние величины работы трамбования на плотность и прочность трамбованного угольного пирога при наложении срезающих и сминающих усилий. Было установлено, что трамбуемая шихта должна измельчаться до 90-95 % содержания класса менее 3,15 мм (рассев на ситах с квадратными отверстиями), при этом содержание класса менее 1 мм должно составлять 60-65 %, менее 0,5 мм – 40-50 %, менее 0,25 мм – 25-30 %.

В ходе промышленных экспериментов на батарее № 9-бис изучено влияние на показатели качества кокса свойств трамбованной шихты и технологических параметров ее коксования. Показано, что наилучший кокс получается из шихт с толщиной пластического слоя 13-16 мм, при этом для коксования менее

спекающихся шихт требуется более высокий уровень температур в отопительной системе. Для обеспечения нормальной эксплуатации батареи свободное поперечное расширение трамбованного пирога при нагреве его в камере коксования не должно превышать 17 мм, а давление расприра, развиваемое после расширения на 12 мм, не должно быть более 6,5 кПа [2].

Полученные результаты позволили выдать Гипрококсу технологическое задание на проектирование комплекса батарей № 10-бис с трамбованием шихты и сухим тушением кокса. Первый кокс на батарее был выдан в 2006 г. После успешного освоения комплекса два сотрудника УХИНа (Е.Т.Ковалев и В.М.Кузниченко) в составе авторского коллектива специалистов ОАО «Алчевсккокс», Гипрококса и других организаций были отмечены за эту разработку Государственной премией Украины в области науки и техники за 2009 г.

Выполнен комплекс научных работ, целью которых было освоение технологии термической подготовки шихты и ее коксования на ОАО «Ясиновский КХЗ» (Ю.С.Васильев УХИН, А.И.Гордиенко (ЗАО «Донецксталь» – металлургический завод) [3]. По результатам выполненных теоретических и экспериментальных исследований были разработаны и запатентованы технические решения по оборудованию установок термической подготовки, а также по технологическим параметрам процесса, конструкции коксовой батареи с отопительным простенком повышенной прочности и выдано технологическое задание на проектирование установки производительностью 60 т шихты в час. Строительно-монтажные работы выполнялись под авторским надзором специалистов-разработчиков. Все это позволило успешно освоить установку и получать на ней кондиционный кокс для различных потребителей из шихт, содержащих до 70 % газовых углей. Использование кокса из термодобавленной шихты на доменной печи № 2 ОАО «ДМЗ» с вдуванием пылеугольного топлива показало эффективность применения такого кокса для выплавки чугуна [4].

Актуальными являются разработанная в УХИНе система ступенчатого подвода воздуха и отопительного газа в отопительные каналы (Ю.С.Васильев) [5]. Она позволяет решить важную теплотехническую проблему обеспечения равномерного прогрева по высоте в печах с высотой камеры до 10 м и сжигания отопительного газа в вертикалах при оптимальных и одинаковых значениях коэффициентов избытка воздуха по длине простенков. Кроме того, ступенчатый подвод является наиболее эффективным способом снижения выбросов оксидов азота из отопительной системы.

В работах по совершенствованию традиционной промышленной технологии коксования необходимо исходить из того, что формирование свойств кокса

происходит на всех стадиях его производства [6], начиная с угольной сырьевой базы. Непосредственно в коксовом цехе необходимо обеспечить равномерность свойств шихты, загружаемой во все камеры, требуемое количество подводимого тепла и скорость этого подвода, рациональные условия послепечной обработки кокса. Это и определяет основные направления технологических работ коксового отдела.

Даже при рациональной технологии углеподготовки свойства шихты, загружаемой в разные печи, могут существенно различаться в результате сегрегации по крупности. Причина этого заключается в неодинаковости механического импульса частичек угля разной крупности, что приводит к существенным различиям свойств шихты, загружаемой в различные камеры коксования. Для снижения сегрегации необходимо внедрение более эффективных схем подготовки, в частности ГДК, предусматривающей раздельное дробление различных по твердости углей, а также закрепление каждой печи за своим рядом затворов с учетом серийности загрузки-выдачи в сочетании с очередностью набора шихты по рядам и состоянию кладки каждой конкретной камеры. При необходимости также должен корректироваться температурный режим соответствующих отопительных простенков. Реализация этих мероприятий позволяет примерно вдвое снизить колеблемость свойств шихты, загружаемой в различные камеры [7].

В то же время различия в плотности загруженной шихты на различных участках камеры коксования объективно неизбежны, что требует учета этого фактора при разработке температурного режима обогрева: в вертикалы, смежные с участками повышенной плотности в камере, должно подводиться большее количество газа и воздуха, и наоборот. Поэтому сотрудниками коксового отдела (Э.И.Торяник, А.А.Журавский, Д.В.Беликов) разработан изображенный на рис. 1 прибор, позволяющий измерять плотность шихты в различных участках камеры коксования, а также в технологических емкостях (силосах закрытых складов и дозирочных отделений, угольных башнях, бункерах загрузочного вагона) [8]. Прибор представляет собой электрический колебательный контур. Время разрядки конденсатора 3 при известной величине включенного параллельно с ним активного сопротивления 4 зависит от плотности среды в емкости 1 между электродами 2. Это время фиксируется вторичным прибором 5. В отличие от широко применявшихся ранее радиоизотопных методов новый плотномер не требует специальных мер защиты. Его опытный образец успешно испытан на ряде предприятий (ОАО «АКХЗ», ОАО «Запорожжокс», ЗАО «Макеевжокс»).

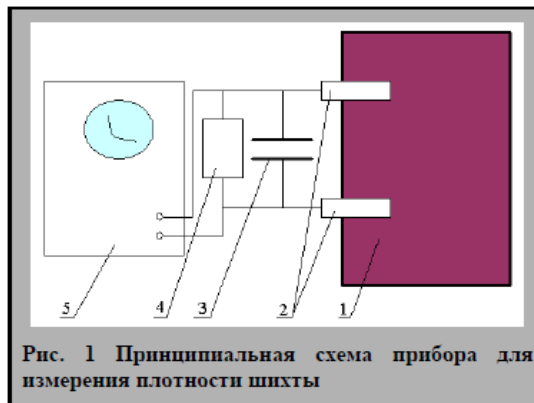


Рис. 1 Принципиальная схема прибора для измерения плотности шихты

Информация о свойствах угольной шихты и ее распределении в камерах коксования является основой для разработки температурного режима. В результате работ УХИНа, Коксохимстанции и предприятий подотрасли накоплены данные, количественно характеризующие изменение режимных показателей коксования (прежде всего уровня температур в контрольных вертикалах и расхода тепла) в связи с изменением периодов коксования и свойств шихты. Эти данные явились основой для рекомендаций по корректировке температурного режима коксования в зависимости от свойств угольных шихт:

1. Систематический контроль температур по оси пирога и использование полученных результатов для корректировки уровня температур в отопительной системе.
2. При удлинении периода коксования на 1 ч – снижение температуры в контрольных вертикалах на 15-20 °С, и наоборот.
3. При увеличении влажности шихты на 1 % – повышение температуры на 5-7 °С, и наоборот.
4. При увеличении выхода летучих веществ из шихты на 1 % – повышение температуры на 5-7 °С, и наоборот.
5. При увеличении насыпной плотности шихты на 10 кг/м<sup>3</sup> – повышение температуры в контрольных вертикалах на 2-4 °С и наоборот.
6. При переработке петрографически неоднородных углей уровень температур в контрольных вертикалах необходимо повышать на 1 °С на каждый процент содержания инертинита в шихте сверх 10 %, и наоборот. До получения результатов петрографического анализа при увеличении содержания в шихте на 10 % петрографически неоднородных углей, требующих для своих термохимических превращений большего количества тепла, температуру в вертикалах следует повысить на 3-4 °С, и наоборот.



Эти рекомендации использованы нами при проведении работ на многих предприятиях (ОАО «АКХЗ», ОАО «Алчевсккокс», КХП ОАО «МК «Азовсталь» и «АрселорМиттал Кривой Рог», ОАО «Запорожжкокс», ЗАО «Макеевкокс», ОАО «Ясиновский КХЗ»).

Необходимо отметить, что в современных условиях на предприятиях происходят частые и существенные изменения свойств шихты, идущей на коксование, что требует соответствующих корректировок температурного режима и контроля конечных температур по оси пироба. Термопарные замеры, по нашему мнению, уже не соответствуют современным требованиям контроля производства – их проведение чрезвычайно трудоемко, цена термопарной проволоки достигает 40 грн. за 1 м и выполнять их в полном объеме в соответствии с требованиями п. 7.184 ПТЭ очень сложно. Поэтому актуальной является разработка новых методов измерения температур кокса в камере. Такие разработки ведутся в течение ряда лет сотрудниками коксового отдела (А.А.Журавский, Л.Н.Фидчунов) совместно со специалистами ОАО «АКХЗ» (С.И.Кауфман, П.В.Жилавый). Успешно испытаны две конструкции приборов:

1. Излучающий элемент, помещаемый в чехол и перемещаемый по нему на разных уровнях. Сигнал от нагретого излучающего элемента воспринимается обычным оптическим пирометром [9].

2. Изображенный на рис. 2 приемник, воспринимающий без непосредственного контакта через огнеупорную кладку свода печей сверхвысокочастотное излучение непосредственно от верха пироба в камере и от продуктов сгорания в вертикалах [10].



Рис. 2 Измерение распределения температур по длине отопительного простенка с помощью интраскопического пирометра

В отличие от попыток прямого применения оптического пирометра для измерения температур

кокса при выдаче, предлагаемые методы более информативны, так как они дают возможность измерять динамику температур в течение всего периода коксования, в том числе – при использовании бесконтактного прибора – по ширине камеры. Кроме того, они позволяют определять температуру по оси коксового пироба перед выдачей, а именно этот показатель является основным при контроле технологического режима коксования.

Следует также отметить ряд технических решений, направленных на повышение равномерности прогрева коксуемой засыпи по длине и высоте камеры (устройства для подачи увеличенного количества воздуха и газа в крайние и предкрайние вертикали, удлинения факела горения и т.д.), разработанные сотрудниками коксового отдела.

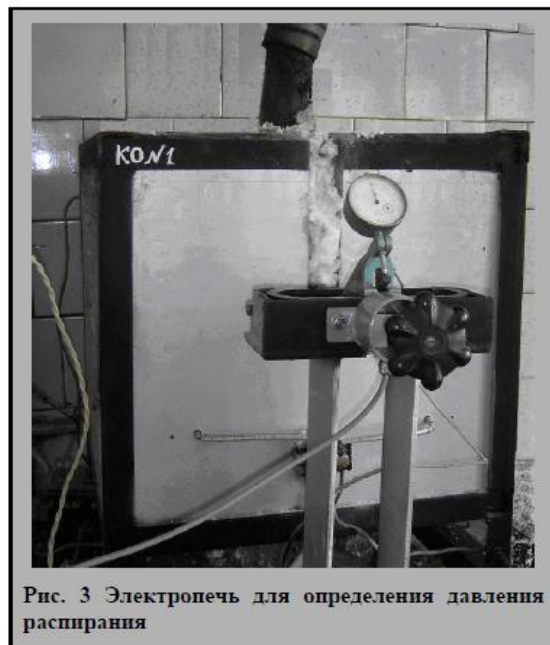


Рис. 3 Электропечь для определения давления расприраия

Важное значение для технологии коксования, качества кокса и сохранности кладки печей имеет давление расприраия. Оно возникает при термической деструкции углей и шихт. Выделяющиеся парогазовые продукты при своем движении в подсводовое пространство встречают гидравлическое сопротивление со стороны коксуемой засыпи, особенно находящейся в пластическом состоянии. Давление расприраия может значительно превышать величину 7 кПа, принимаемую при прочностных расчетах печей. Особенно важен этот показатель при коксовании шихт с повышенной плотностью, в частности трамбованных.

В последние годы в отделе (В.М. Кузниченко, А.В. Сытник) создана и введена в эксплуатацию лабораторная электропечь для определения давления расширения при коксовании угольных шихт различной плотности, изображенная на рис. 3 [11].

Ее отличительной особенностью является равенство максимальных значений давления расширения аналогичным, возникающим в промышленных печах. Исследование нескольких сотен проб индивидуальных углей, их смесей и шихт, характерных для крупнейших предприятий подотрасли (ОАО «Алчевсккокс», ОАО «Запорожжкокс», ОАО «АКХЗ») позволило установить, что на максимальную величину давления расширения в первую очередь влияют вязкость угольной пластической массы, объем и плотность образующихся при термической деструкции парогазовых продуктов. Полученные результаты позволили выдать рекомендации по составам шихт, обеспечивающих получение кокса требуемого качества при соблюдении безопасных условий работы огнеупорной кладки. В настоящее время разрабатывается атлас давлений расширения индивидуальных углей, их смесей и шихт, используемых ведущими заводами Украины. Начата разработка серийного образца прибора с учетом современных требований дизайна и эргономики.

Важной стадией формирования свойств кокса является его послепечная обработка – тушение и сортировка. На большинстве предприятий Украины тушение кокса производится мокрым способом. При этом главное требование доменного производства к влажности кокса – ее стабильность. Сотрудниками ЗАО «Макеевкокс» и коксового отдела УХИНа (И.В. Золотарев, Э.И. Торяник, А.В. Карпов) выполнена важная работа по реконструкции тушильных башен и по определению рациональных параметров тушения (расстановка форсунок, количество подаваемой воды, длительность тушения и отстоя), что позволило снизить на 0,5-0,7 % общий уровень влажности кокса и уменьшить колебания этого показателя.

Гораздо более прогрессивными являются установки сухого тушения кокса (УСТК). Наряду с эксплуатирующимися длительное время УСТК ОАО «АКХЗ» в 2007 г. введена в эксплуатацию УСТК на батарее № 10-бис ОАО «Алчевсккокс». Важное значение для успешной эксплуатации УСТК имеют выполненные УХИНОм (Ю.С. Васильев, Л.Н. Фидчунов, А.Л. Фидчунов) в последние годы работы по определению выхода кокса, потушенного сухим способом [12], по снижению потерь кокса при его частичной газификации («угаре»), по улучшению экологических показателей путем дожигания оксида углерода не в цикле тушения, а в сбрасываемом избыточном теплоносителе и по распределению температур по высоте и сечению камеры УСТК.

Большое значение для стабилизации свойств кокса как мокрого, так и сухого тушения имеет его

дотушивание. При этом важно как не допускать попадания очагов раскаленного кокса на конвейерные тракты, коксортировку, бункера и железнодорожные вагоны, так и не переувлажнять кокс. Наилучшие результаты достигаются при использовании автоматических систем дотушивания. Однако их датчики, с помощью которых включается и выключается подача воды на дотушивание, в оптически неоднородных средах (запыленных и/или запарованных) работают ненадежно. Сотрудниками УХИНа (Э.И. Торяник, А.А. Журавский, Л.Н. Фидчунов) и ОАО «АКХЗ» (В.И. Гаврилюк, В.С. Карпенко) разработана система дотушивания, лишенная указанных недостатков [13]. Основным ее элементом является оптический пирометр, размещенный в трубе, находящейся под избыточным давлением воздуха, открытый торец которой размещается непосредственно над конвейером для транспортирования кокса. Сжатый воздух, подаваемый в трубу и выходящий из нее над конвейером, обеспечивает прозрачность оптической трассы и надежность работы системы в целом.

Завершающей стадией формирования свойств кокса является его сортировка. Главная цель исследований, выполняемых в этом направлении – обеспечение рационального уровня механических воздействий для получения оптимального сочетания выхода и качества кокса. При чрезмерном уровне механических воздействий происходит снижение выхода металлургического кокса. Так, например, снижение уровня механических воздействий в бункерах валового кокса цеха № 2 ОАО «АКХЗ» позволило увеличить выход доменного кокса на 1,5 % [14].

При недостаточном уровне механических воздействий в коксе возрастает содержание класса более 80 мм, снижается его прочность, в результате разрушения кокса после грохотов увеличивается замусоренность мелкими классами. Наши многолетние исследования в этом направлении свидетельствуют, что наиболее эффективной в таком случае является механическая обработка крупных классов кокса в потоке для снижения содержания класса более 80 мм путем установки ударных плит. Такое решение, в отличие от применяемых на ряде предприятий дробилок для кокса, позволяет значительно (с 2-3 до 0,1-0,2 %) снизить потери крупного кокса при механической обработке. Ударные плиты устанавливаются на перепадах между конвейерами. В зависимости от конфигурации перепада может быть несколько вариантов установки плиты (консольная, подвесная, настенная). УХИН располагает типовыми решениями по этим вариантам и методикой расчета оптимального положения плиты, обеспечивающего механическую обработку классов крупнее 60 или 80 мм без дробления более мелких классов. Такая обработка позволяет снизить содержание класса более 80 мм в доменном коксе на 10-12 %.



Дробилки для валового кокса целесообразно применять только при работе на удлиненных периодах коксования и/или на шихтах, содержащих повышенные количества отошающих компонентов (высокометаморфизованных марок угля и/или инертинита), при значительном (на 10 % и более) превышении предельно допустимого содержания в коксе класса более 80 мм. В остальное время эти дробилки должны находиться в резерве.

Для снижения замусоренности доменного кокса классом менее 25 мм целесообразно применять специальное устройство для отсева мелких классов непосредственно при отгрузке кокса в железнодорожные вагоны. Опыт применения такого устройства

на батарее № 1-бис КХП ОАО «МК «Азовсталь» показал его эффективность – содержание класса менее 25 мм в доменном коксе снижается на 0,7-1,0 %.

Как уже отмечалось, в последние годы особенно большое внимание уделяется показателям реакционной способности и послереакционной прочности кокса. По инициативе Е.Т.Ковалева в практику научных исследований УХИНа была внедрена одна из первых в Украине установок по определению показателей индекса реакционной способности кокса CRI и прочности остатка кокса после реакции CSR в соответствии с методикой японской фирмы Nippon Steel Corporation по международному стандарту ISO 18894 (см. рис. 4).



Рис. 4 Установка по определению показателей индекса реакционной способности кокса CRI и прочности остатка кокса после реакции CSR по методике Nippon Steel Corporation  
а – общий вид; б – реторта

В настоящее время в Украине работают уже девять таких установок на коксохимических и металлургических предприятиях и в организациях.

Была выполнена большая методическая работа по модификации международного стандарта применительно к условиям работы украинских предприятий [15], результатом которой явилось введение в действие ДСТУ 4703:2006. Логическим продолжением этой работы явилось начатое в 2009 г. систематическое определение межлабораторной воспроизводимости результатов определения в соответствии с требованиями утвержденной Госпотребстандартом Украины

ПМУ 15-99 «Инструкция о порядке проверки точности результатов измерений в измерительных лабораториях». В соответствии с этим документом участие лабораторий в таких определениях является необходимым условием их аккредитации на выполнение соответствующего вида анализов. Также в 2010 году проводится работа по созданию стандартного образца кокса для определения показателей реакционной способности и послереакционной прочности.

Показано [16], что на величину реакционной способности определяющее влияние оказывает

однородность поверхности кокса. В первую очередь взаимодействие  $C + CO_2 \rightarrow 2CO$  происходит на дефектах структуры. В работе [1] сформулированы следующие основные направления повышения качества кокса за счет улучшения показателей его реакционной способности и структурных характеристик:

1. Разработка рациональной сырьевой базы коксования – формирование требуемых свойств угольной шихты, прежде всего по зольности, сернистости, спекаемости, степени метаморфизма: увеличение глубины обогащения углей и понижение зольности угольных концентратов; повышение степени их однородности по петрографическому составу; уменьшение количества концентратов, используемых для составления угольной шихты на каждом предприятии; снижение сернистости и повышение степени метаморфизма шихты за счет увеличения объемов добычи украинских малосернистых углей и импорта высокометаморфизованных углей; добавки к шихте органических мезогенных веществ и готовых анизотропных материалов.

2. Рациональная технология коксования – управление физико-химическими процессами для преобразования изотропной текстуры кокса в анизотропную (повышение степени упорядоченности углерода кокса) – снижение скоростей коксования до уровня не более 24 мм/ч, рациональный уровень конечных температур (1050-1100 °С), дополнительное выдерживание кокса в камере в течение 0,5-1,5 ч.

3. Послепечная обработка кокса – сухое тушение с выдержкой кокса в форкамере, рациональный уровень механических нагрузок на кокс при его сортировке и дополнительная механическая обработка с целью реализации имеющихся центров механических напряжений и трещинообразования, покрытие поверхности кокса органическими материалами (для закрытия пор и трещин) и неорганическими веществами (ингибиторами процессов газификации).

Наиболее сильное влияние на реакционную способность и послереакционную прочность, как и на остальные свойства кокса, оказывают свойства исходной шихты. Нашими исследованиями [17] впервые показано влияние спекаемости на показатели кокса, определяемые по методике Nippon Steel Corporation. Повышение спекаемости шихты приводит к улучшению показателей реакционной способности кокса даже при снижении среднего показателя отражения витринита и увеличении индекса основности, зольности и сернистости шихты до определенного предела. Это свидетельствует об участии серосодержащих функциональных групп в процессах спекания – в частности, с образованием сульфидных и дисульфидных связей.

Также впервые экспериментально определено положительное влияние сухого тушения на реакционную способность и послереакционную прочность кокса [2]: при прочих равных условиях показатель CRI снижается на 5,3-7,2 %, а CSR возрастает на 4,4-5,8 %.

Результаты опытных доменных плавов на коксе улучшенного качества

Период проведения исследований	октябрь 2005 г.	март – май 2006 г.	апрель – май 2008 г.	май – июнь 2008 г.
Батарея	1 КХП ОАО «МК «Азовсталь»	1 ЗАО «Макеевкокс», 5-6 ОАО «Ясиновский КХЗ»	5-6 ОАО «Запорожжкокс»	9 ОАО «АКХЗ»
Доменная печь	5 ОАО «МК «Азовсталь»	2 ОАО «Донецкий МЗ»	5 ОАО «Запорожсталь»	5 ОАО «Енакиевский МЗ»
Объем доменной печи, м <sup>3</sup>	1513	1033	1513	1513
Изменения качест-ва кокса в опытном периоде, %:				
A <sup>d</sup>	-0,6	-0,6	+0,1	-0,1
S <sub>1</sub> <sup>d</sup>	-0,20	-0,25	-0,03	-0,48
M <sub>25</sub>	+0,3	+1,7	+0,8	+0,6
M <sub>10</sub>	-0,9	-0,7	-0,2	-0,8
>80	+1,5	-4,1	-0,4	+0,4
CRI	-13,6	-13,0	-8,6	-12,0
CSR	+17,6	+12,8	+5,1	+18,5
Изменение производительности до-менной печи, т чугуна в сутки	+277	+343	+46	+153
Изменение расхода кокса, кг/т чугуна	-31	-51	-32	-21

Примечание: «+» – увеличение, «-» – снижение.



Дополнительным резервом улучшения свойств кокса является обработка его поверхности, в частности, неорганическими реагентами, ингибирующими газификацию кокса. Совместно со специалистами ЗАО «Макеевкокс» и Донецкого национального технического университета (И.В.Золотарев, В.И.Саранчук, Е.И.Збыковский, И.В.Шульга) теоретически обоснован механизм взаимодействия реагентов с поверхностью кокса. Показано, что для обработки поверхности необходимо использовать соединения р-элементов (главных подгрупп III-VII групп периодической системы элементов Д.И.Менделеева), образующих устойчивые химические комплексы, в отличие от s- и d-элементов, катализирующих реакции газификации углерода кокса. Защитные свойства образующихся устойчивых элементоорганических комплексов позволяют улучшить показатели реакционной способности и послереакционной прочности кокса.

Практическая реализация на коксохимических предприятиях Украины рекомендаций по улучшению качества кокса позволила успешно провести ряд опытных доменных плавов на коксе улучшенного качества [18-21]. Основные результаты этих плавов приведены в таблице.

Как видно из табличных данных, во всех доменных плавках было достигнуто увеличение производительности доменной печи (на 1,7-17,1 %) и снижение расхода кокса (на 4,9-8,6 %). При этом наилучшие результаты были достигнуты на доменной печи № 2 ОАО «Донецкий металлургический завод»: при практически неизменном расходе пылеугольного топлива (167-172 кг/т чугуна) расход кокса был снижен до 390 кг/т. Это свидетельствует о том, что наибольший эффект от улучшения качества кокса достигается в доменных печах с вдуванием пылеугольного топлива.

В подготовке и проведении доменных плавов принимали активное участие работники многих металлургических и коксохимических предприятий и организаций Украины – А.П.Белый, И.Д.Буга, П.Н.Бондарчук, А.И.Рыщенко, Ю.В.Телешев (ОАО «МК «Азовсталь»), Ю.В.Филатов, М.А.Ильяшов, Б.П.Крикунов, С.А.Медянец, А.И.Гордиенко, В.А.Замуруев (ЗАО «Донецксталь» – металлургический завод), А.И.Коломийченко, И.В.Золотарев, С.В.Базов (ЗАО «Макеевкокс»), В.И.Чаленко, В.Н.Дудяк (ОАО «Ясиновский КХЗ»), А.Ю.Путнок, А.П.Фоменко, И.А.Кухалашвили, М.Е.Шарапов (ОАО «Запорожсталь»), В.Н.Рубчевский, Ю.А.Чернышов, А.И.Компаниец, С.А.Овчинникова, А.В.Подлубный (ОАО «Запорожкокс»), Г.А.Власов, С.И.Кауфман, В.И.Гаврилюк, П.В.Жилавый (ОАО «Авдеевский КХЗ»), Е.Т.Ковалев, Ю.С.Васильев, И.В.Шульга, И.Д.Дроздник, Э.И.Горяник, (УХИН).

Полученные результаты позволили оценить влияние на работу доменной печи показателей CRI и CSR кокса.

При этом принимали во внимание, что для улучшения этих показателей необходимо снижать зольность и сернистость кокса и шихты, из которой он получен. Так как зольность и сернистость уже учитываются в существующих нормативах расхода кокса в доменных печах, они были исключены из анализа во избежание двойного подсчета. В таких условиях было установлено, что влияние показателя CRI обусловленное спекаемостью шихты, химическим составом минеральной части, условиями коксования и послепечной обработки кокса, характеризуется следующими величинами: при снижении (увеличении) CRI на 1,0 % производительность доменной печи возрастает (уменьшается) на 0,4 %, а расход кокса снижается (возрастает) на 0,55 %. Так как показатели CRI и CSR взаимосвязаны, то учитывать нужно лишь один из них, то есть, в отдельном учете послереакционной прочности нет необходимости [22].

Соблюдение современных экологических требований – необходимое условие эффективной работы коксохимического производства. В связи с этим сотрудники коксового отдела совместно со специализированным отделом защиты окружающей среды УХИНа проводят большую работу по снижению уровня негативного экологического воздействия путем предотвращения образования выбросов и их обезвреживания. Периодический характер промышленной технологии коксования объективно обуславливает выбросы загрязняющих веществ при подготовке сырья, его загрузке в печи и выдаче кокса. Однако количество этих выбросов за счет реализации технологических мероприятий может быть снижено в несколько раз. На ОАО «Запорожкокс» испытана локальная система беспылевой выдачи кокса. На ряде предприятий выполнены работы по нормализации режимов загрузки шихты в камеру коксования.

Еще одним крупным источником выбросов являются дымовые трубы коксовых батарей, через которые в атмосферу поступают продукты сгорания отопительного газа. Наиболее опасными загрязнителями при этом являются оксиды азота NO и NO<sub>2</sub>. На основании экспериментальных результатов измерений выбросов из дымовых труб коксовых печей [23] на ОАО «АКХЗ», ЗАО «Макеевкокс» и других предприятиях, анализа влияния технологических факторов на механизм образования топливных, термических и быстрых оксидов азота при сгорании отопительного газа [24] сотрудниками УХИНа (Ю.С.Васильев, Л.Н.Фидчунов, И.В.Шульга, А.Л.Фидчунов) предложена концепция обеспечения современных и перспективных нормативов содержания оксидов азота в выбросах из дымовых труб для батарей с различным техническим состоянием, основные положения которой сводятся к следующему:



– для батарей с хорошей газоплотностью кладки, характеризующихся минимальным (до 2 %) количеством прососов парогазовых продуктов коксования из камеры в отопительную систему, для обеспечения норматива достаточно соблюдения в полном объеме правил технической эксплуатации;

– при увеличении прососов до 2-5 % необходимо ограничивать уровень температур в отопительной системе максимальной величиной 1320 °С, что для печей с шириной камеры 410 мм соответствует периодам коксования не менее 21 ч;

– систематический мониторинг технического состояния кладки путем определения количества прососов по результатам анализа продуктов сгорания в соответствии со специально разработанной методикой [25];

– при большей величине прососов необходимо снижать их до приемлемых значений путем горячих ремонтов кладки либо частичной или полной перекладки простенков, их групп или батарей в целом;

– как крайняя мера при необходимости продолжения эксплуатации печей, требующих ремонта – ограничение содержания азота в шихте (снижение или полное исключение участия углей Кузбасса) для уменьшения количества образующихся топливных оксидов азота.

Необходимо также отметить, что эффективным решением проблемы снижения выбросов оксида азота может быть применение на новых коксовых батареях ступенчатого подвода воздуха в соответствии с уже упомянутыми выше техническими решениями.

В связи с актуальностью экологических проблем коксового производства в последние годы в зарубежных странах получает распространение система PROven, предусматривающая значительное снижение давления в газосборниках батарей. УХИНОм разработаны технические решения, направленные на реализацию аналогичной системы на вновь строящихся батареях. Начаты работы по опытно-промышленной проверке основных элементов этих решений на действующих батареях с двумя газосборниками.

Заслуживает упоминания создание методики эколого-теплотехнической оценки коксовых батарей (Э.И.Торяник). Эта методика рассматривает коксовую батарею как теплотехнический агрегат по аналогии с котельными установками. Основным критерием эффективности ее работы является отношение теплопроизводительности к величине негативного воздействия на окружающую среду.

В то же время главное назначение коксовой батареи – производство кокса, и, как любой технологический агрегат, она должна характеризоваться минимально возможными энерго- и ресурсоемкостью. Поэтому вопросы энергосбережения в последние годы занимают важное место в работах коксового отдела УХИНА. На ОАО «Запорожжкокс» выполнен комплексный анализ

энерго- и ресурсопотребления на предприятии, разработаны предложения по внедрению энергосберегающих технологий и снижению выбросов парниковых газов в ходе предстоящей реконструкции (И.В.Шульга, А.Л.Борисенко, А.С.Мальш). В 2010 г. работы в этом направлении начаты и на ОАО «Алчевсккокс».

Большое значение имеет разработка проекта ДСТУ 4370 «Энергосбережение. Коксохимическое производство. Ресурсы энергетические вторичные. Методика определения показателей выхода и использования» (Е.Т.Ковалев, И.В.Шульга). Разработанный ранее МНП «Энергозко» (г. Киев) ДСТУ 4370:2005 базировался на неверных методических положениях – в качестве вторичных энергоресурсов рассматривались все материальные потоки с температурой, превышающей 0 °С, безотносительно к технической и даже теоретической возможности их утилизации. Поэтому по инициативе УНПА «Укркокс», предприятий и организаций подотрасли Госпотребстандарт Украины приостановил введение в действие ДСТУ 4370:2005 до разработки новой редакции документа, которая в соответствии с письмом Первого заместителя Министра промышленной политики Украины Д.В.Колесникова № 12/2-4-176 от 15.05.2007 была поручена УХИНу.

Нами при разработке стандарта в качестве максимально возможного объема использования вторичных энергоресурсов была принята их физическая и/или химическая эксергия (техническая работоспособность) – та часть энергии, которая может быть реально преобразована в полезную работу. Такой методический подход предусматривает возможность использования не только тех вторичных ресурсов, для которых технические решения и оборудование по их применению существуют в настоящее время в нашей стране (тепло раскаленного кокса на УСТК, химическая энергия и теплосодержание коксового газа, низкопотенциальное тепло продуктов сгорания на выходе из отопительной системы), но и перспективных (например, конверсия коксового газа в разнообразные химические продукты, преобразование в электрическую энергию излучения теплоотдающих поверхностей, использование тепла раскаленного кокса для термоподготовки шихты и т.д.). Таким образом, новый стандарт должен стимулировать развитие энергосберегающих технологий.

Важно отметить, что впервые в нормативном документе такого уровня зафиксировано определение коксового газа как альтернативного топлива. Разработанный проект прошел все стадии согласования и сейчас находится на утверждении в Госпотребстандарте Украины.

В последние годы специалистами коксового и других технологических отделов УХИНА под руководством отдела технико-экономических исследо-

ваний проведена большая работа по созданию, согласованию и утверждению в установленном порядке методик нормирования различных ресурсов (газа, тепловой и электрической энергии, сырья, материалов) и автоматизации расчетов по этим методикам.

В связи с переходом на международную систему статистической отчетности, начиная с 2008 г. коксохимические предприятия отчитываются о выпуске основных видов продукции (в частности, кокса, газа, смолы) не только в натуральных единицах (т, тыс. м<sup>3</sup>), но и по теплотворной способности (Гкал). Поэтому УХИНам в 2010 г. начата работа по созданию отраслевой методики расчета показателей теплотворной способности, исходя из свойств сырья, технологических параметров производства и показателей качества выпускаемой продукции. Вопросы экологии, энерго- и ресурсосбережения найдут отражение и в новой редакции Положения о технологических регламентах, разработка которой начата нами в 2010 г.

Прогрессивные решения, созданные в результате совместных работ специалистов отдела и коксохимических предприятий, используются в технологических заданиях на проектирование Гипрококсом реконструируемых батарей. В частности за последние пять лет по технологическим заданиям УХИНа спроектирован, построен, введен в действие и успешно эксплуатируется уже упоминавшийся комплекс коксовой батареи № 10-бис на ОАО «Алчевсккокс» с трамбованием шихты и сухим тушением кокса; выдано задание на реконструкцию коксовой батареи № 1-бис ОАО «Запорожкокс» с печами новой конструкции и сухим тушением кокса. Выполнены проработки по расширению производства на Горловском КХЗ со строительством батарей № 1-бис (с трамбованием шихты) и № 3; а также для Харьковского КЗ со строительством батареи № 1 на 45 камер; в том числе проработан вариант с трамбованием шихты.

#### Библиографический список

1. Ковалев Е.Т., Шмалько В.М., Шульга И.В., Рыценко А.И. Формирование свойств кокса. Реакционная способность // Углехимический журнал. – 2006. – № 5-6. – С. 13-20.
2. Ковалев Е.Т., Васильев Ю.С., Кузниченко В.М. и др. Теория и практика производства доменного кокса высокого качества из трамбованных шихт пониженной спекаемости // Углехимический журнал. – 2009. – № 3-4. – С. 24-30.
3. Васильев Ю.С., Гордиенко А.И., Долгарев Г.В. Опыт промышленного использования термической подготовки угольной шихты перед коксованием // Кокс и химия. – 2008. – № 7. – С. 22-25.
4. Васильев Ю.С., Гордиенко А.И., Долгарев Г.В. и др. О влиянии качества кокса, полученного из термopодготовленных шихт, содержащих слабоспекающиеся угли, на эффективность доменного процесса, использующего ПУТ // Углехимический журнал. – 2008. – № 5-6. – С. 38-40.
5. Васильев Ю.С., Вирозуб А.И., Лурье М.В., Фидчунов Л.Н. Исследование динамики смешения газа с воздухом в отопительных каналах коксовых печей со ступенчатым подводом газа // Кокс и химия. – 1984. – № 9. – С. 14-17.
6. Рыценко А.И., Шульга И.В. Факторы, влияющие на формирование свойств доменного кокса // Углехимический журнал. – 2009. – № 3-4. – С. 56-64.
7. Рафальский П.Н., Матвеев А.Н., Ренка Л.В., Шульга И.В. и др. Стабилизация свойств угольной шихты // Углехимический журнал. – 2006. – № 1-2. – С. 4-7.
8. Журавский А.А., Беликов Д.В., Гужа П.Ю. Новый способ определения плотности угольной шихты в действующих камерах коксования // Энергосбережение, энергетика, энергоаудит. – 2007. – № 1. – С. 8-14.
9. Фидчунов Л.Н., Журавский А.А., Федорова С.В. и др. Новый способ контроля температуры коксового пирога // Углехимический журнал. – 2004. – № 1-2. – С. 34-37.
10. Журавский А.А., Мартынов С.С., Таран А.Г. и др. Замер температур в черной металлургии сверхвысокочастотным пирометром // Энергосбережение, энергетика, энергоаудит. – 2006. – № 7. – С. 36-40.
11. Кузниченко В.М., Шульга И.В., Сытник А.В. Лабораторный способ определения давления расширения коксуемой угольной загрузки различной насыпной плотности // Углехимический журнал. – 2007. – № 3-4. – С. 29-33.
12. Васильев Ю.С., Кауфман С.И., Гаврилюк В.И. и др. Выход валового кокса при коксовании влажной шихты и сухом тушении кокса на Авдеевском коксохимическом заводе // Углехимический журнал. – 2005. – № 5-6. – С. 9-13.
13. Журавский А.А., Фидчунов Л.Н., Торяник Э.И. и др. Система дотушивания кокса для работы в оптически неоднородных средах // Углехимический журнал. – 2007. – № 6. – С. 26-28.
14. Журавский А.А., Торяник Э.И., Шульга И.В. и др. Коксортировка № 2 Авдеевского коксохимического завода. Повышение эффективности ее работы // Кокс и химия. – 1999. – № 8. – С. 11-15.
15. Шмалько В.М., Толмачев Н.В., Ковалев Е.Т. Влияние внутреннего диаметра реторты на определение реакционной способности методом «Нитрон Стил» // Углехимический журнал. – 2005. – № 5-6. – С. 16-19.



16. Шмалько В.М., Толмачев Н.В., Головки М.Б. Оцінка неоднорідності поверхні коксів з різною реакційною здатністю // Углекимический журнал. – 2007. – № 3-4. – С. 33-37.
17. Рыщенко А.И., Шульга И.В., Мирошниченко Д.В., Шмалько В.М. Влияние свойств углей на реакционную способность и послереакционную прочность кокса // Углекимический журнал. – 2009. – № 5-6. – С. 17-22.
18. Буга И.Д., Бондарчук П.Н., Рыщенко А.И. и др. Опытные доменные плавки на коксе с улучшенной реакционной способностью // Углекимический журнал. – 2006. – № 3-4. – С. 22-29.
19. Филатов Ю.В., Крикунов Б.П., Гордиенко А.И. и др. Опыт производства доменного кокса улучшенного качества из украинских углей и испытание его в доменной печи с использованием ПУТ // Углекимический журнал. – 2007. – № 5. – С. 11-18.
20. Фоменко А.П., Набока В.И., Крутас Н.В. и др. Опытная доменная плавка на коксе улучшенного качества ОАО «Запорожжкокс» // Кокс и химия. – 2009. – № 3. – С. 17-23.
21. Опыт освоения и оптимизации технологии на доменной печи № 5 Енакиевского металлургического завода // Бюл. Черная металлургия. – 2008. – № 11.
22. Ковалев Е.Т., Шульга И.В., Рыщенко А.И. и др. Влияние качества угольной шихты на реакционную способность, послереакционную прочность кокса и технико-экономические показатели доменного процесса // Углекимический журнал. – 2008. – № 3-4. – С. 41-48.
23. Шульга И.В., Фидчунов А.Л., Кирбаба В.В. и др. Определение выбросов CO и NO<sub>x</sub> из дымовых труб коксовых батарей // Углекимический журнал. – 2006. – № 3-4. – С. 39-43.
24. Васильев Ю.С., Фидчунов А.Л., Шульга И.В. Влияние технологических факторов на механизм образования оксидов азота при обогриве коксовых печей // Углекимический журнал. – 2004. – № 1-2. – С. 37-42.
25. Фидчунов А.Л., Шульга И.В., Васильев Ю.С., Кириченко Н.С. О методике оценки прососов сырого коксового газа в отопительную систему коксовых печей // Углекимический журнал. – 2007. – № 6. – С. 20-26.

Рукопись поступила в редакцию 20.03.2010