

РАЗВИТИЕ ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕРАБОТКИ УГЛЯ

© И.В. Шульга

Государственное предприятие «Украинский государственный научно-исследовательский углехимический институт (УХИИ)» 61023, г. Харьков, ул. Веснина, 7, Украина

Шульга Игорь Владимирович канд. тех. наук, заведующий коксовым отделом, e-mail: ko@ukhin.org.ua

Изложены основные результаты разработок ГП «УХИИ» по совершенствованию промышленной технологии коксования, в частности, повышению качества кокса, улучшению условий эксплуатации коксовых печей, решению экологических проблем, энерго- и ресурсосбережению. Показана актуальность работ по развитию перспективных технологий термохимической переработки угля: коксования в печах без улавливания, полукоксования, газификации.

Ключевые слова: уголь, термохимическая переработка, качество кокса, режим работы коксовых печей, энергосбережение, ресурсосбережение, экология, коксование в печах без улавливания, полукоксование, газификация.

В 2012-2013 гг. в Украине проводились активные работы по внедрению прогрессивной технологии выплавки чугуна с использованием пылеугольного топлива [1]. Кроме эксплуатируемой длительное время первой в Европе установки на ПАО «Донецксталь» – МЗ, были введены в эксплуатацию более мощные установки на доменных печах большего объема на ПАО «Запорожсталь», ПАО «ММКИ» (г. Мариуполь), ПАО «Алчевский МК». Планировалось также внедрение аналогичных технологий на ПАО «Енакиевский МЗ», ПАО «МК «Азовсталь», ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог».

Известно [2], что использование пылеугольного топлива позволяет не только сократить расход кокса на 150-200 кг/т чугуна (30-40 %), полностью отказаться от использования в доменном процессе природного газа, но и одновременно предъявляет повышенные требования к качеству кокса, выполняющего в доменной печи три основные функции: восстановителя железа из руд, источника тепла для осуществления фазовых переходов и химических реакций в доменной плавке, разрыхлителя столба шихтовых материалов. Любые заменители кокса (в том числе и пылеугольное топливо) в состоянии частично выполнять только первые две функции. Кокс как разрыхлитель заменить ничем – именно он является единственным компонентом доменной шихты, остающимся в твердой фазе на нижних горизонтах доменной печи и воспринимающим в термоокислительных условиях нагрузку от веса всех вышележащих слоев засыпи. В соответствии с этим кокс должен иметь низкую реакционную способность, чтобы его максимальное количество достигало нижних горизонтов печи, сохраняя свои первоначальные свойства, и высокую прочность в условиях одновременных термических, химических и механических воздействий. При этом по-прежнему остаются актуальными традиционные требования к качеству кокса: низкие зольность и сернистость, однородный гранулометрический состав, высокая механическая прочность в холодном состоянии, равномерность всех свойств кокса во времени.

Исходя из этого, основным направлением работ коксового отдела ГП «УХИИ» является обеспечение выпуска на коксохимических предприятиях Украины кокса в соответствии с современными требованиями основного потребителя – доменного производства. Эти требования обобщены в разработанных институтом по заданию ведущих производителей кокса нашей страны технических условиях – ТУ У 23.1-001904443-086:2006 «Кокс доменный марки «Премьюм»» (ПАО «Донецксталь – МЗ») и ТУ У 19.1-00190443-065:2012 «Кокс доменный ООО «Метинвест-холдинг». Опытная партия»*. На основании этих требований была теоретически обоснована и сформулирована концепция производства высококачественного кокса [3], включающая в себя следующие основные направления:

1. Формирование рациональной сырьевой базы коксования:

- обеспечение требуемых (проверенных на практике) свойств угольной шихты, прежде всего по зольности, сернистости, степени метаморфизма;
- повышение глубины обогащения рядовых углей и уменьшение зольности угольных концентратов в зависимости от химического состава минеральной части и требований к свойствам получаемого кокса;

* В настоящее время завершается разработка постоянных ТУ У 19.1-00190443-065:2015.

– повышение степени однородности угольных шихт по стадиям метаморфизма;

– уменьшение количества марок и шахтогрупп концентратов, используемых для составления шихты на каждом предприятии;

– увеличение добычи малосернистого угля с благоприятным химическим составом минеральной части (зола).

2. Рациональная технология коксования:

– направленное влияние на физико-химические процессы термической деструкции и синтеза для получения кокса с наибольшей долей участков анизотропной структуры (повышение степени упорядочения углерода кокса);

– рациональная величина скоростей коксования;

– корректировка температурного режима при изменении условий коксования для достижения стабильно высокой готовности кокса с прогревом всей массы коксового пирога до уровня температур 1100-1150 °С.

3. Применение послепечной обработки кокса для стабилизации его крупности, механической и послереакционной прочности:

– обеспечение равномерной стабильной влажности;

– рациональный уровень механических нагрузок на кокс при его сортировке и дополнительная механическая обработка кокса для реализации имеющихся центров механических нагрузок и трещинообразования.

Угольная шихта для производства кокса улучшенного качества должна иметь оптимальные значения показателей технического анализа (влажности, зольности, сернистости, выхода летучих веществ), спекаемости (оцениваемой в СНГ в первую очередь по толщине пластического слоя), петрографии, химического состава минеральной части*. Кроме того, необходима оптимальная степень измельчения шихты, обеспечивающая соответствие количества выделяющихся при термической деструкции жидкоподвижных продуктов величине смачиваемой ими поверхности. Развиваемое при коксовании угольными шихтами давление расpiration не должно оказывать разрушающего воздействия на кладку отопительных простенков.

При определении конкретного уровня зольности и сернистости шихты, требуемого для получения кокса с заданными значениями этих показателей, необходимо учитывать коэффициенты озоления и обессеривания шихты и ее компонентов. Эти значения были экспериментально определены для углей различных бассейнов в зависимости от химического состава минеральной

части углей и соотношения в углях различных форм серы [4].

Выход летучих веществ из горючей массы шихты должен составлять 26-28 %, максимальное допустимое значение 30 %. При большем уровне выхода летучих веществ снижается выход кокса, что негативно влияет на технико-экономические показатели производства. При меньшем выходе летучих веществ усадка коксового пирога в камере становится недостаточной для обеспечения нормальных условий эксплуатации.

Толщина пластического слоя шихты должна быть 14-16 мм. При меньших значениях во время термической деструкции органической массы образуется недостаточное для обеспечения эффективного спекания количество жидкоподвижных продуктов. При большей толщине пластического слоя происходит чрезмерное переожирение шихты, приводящее к получению крупного, но недостаточно прочного кокса.

Степень измельчения шихты по содержанию класса менее 3 мм должна составлять 79-83 %. При меньшей степени измельчения поверхность шихты при спекании будет недостаточна для ее эффективного смачивания образующимися при термической деструкции угля жидкоподвижными продуктами. Наоборот, при чрезмерном переизмельчении образуется избыточная поверхность, и для ее смачивания уже не будет хватать образующихся жидкоподвижных продуктов, что приведет к «самоотощению» шихты.

Показатели реакционной способности и послереакционной прочности кокса зависят в первую очередь от комплекса технологических свойств шихты. По результатам выполненных в ГП «УХИН» исследований, для получения кокса с реакционной способностью CRI не более 35 % сернистость шихты не должна превышать 1,0 %, а индекс основности ее минеральной части должен быть не более 2,2.

Сотрудниками отдела (О.И. Зеленский, Н.В. Толмачев) совместно со специалистами практически всех коксохимических и металлургических предприятий, лаборатории которых определяют для кокса показатели реакционной способности CRI и послереакционной прочности CSR, систематически, начиная с 2009 г., проводится проверка межлабораторной воспроизводимости результатов определения этих показателей в соответствии с требованиями утвержденной Госпотребстандартом Украины ПМУ 015-99 Инструкции 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. Полученные при этом результаты [5-7] использованы при плановой проверке разработанного институтом на основе международного стандарта ISO 18894:2006 нацио-

* Вопросам научных основ и практики составления угольных шихт для коксования посвящена статья специалистов угольного отдела, помещенная выше в этом же номере журнала.

нального стандарта ДСТУ 4703:2006 «Кокс. Метод визначення індексу реакційної здатності коксу (CRI) і міцності залишку коксу після реакції (CSR)».

В 2010 году институтом впервые разработан отраслевой стандартный образец кокса для определения показателей реакционной способности и послереакционной прочности ГСЗУ 23.10.10-186 с аттестованными значениями показателей (%): CRI=29,8±1,3; CSR=58,1±1,5. Материалом для изготовления стандартного образца был кокс ЧАО «Макеевкокс». Практика применения стандартного образца украинскими лабораториями, определяющими соответствующие показатели, засвидетельствовала его востребованность при контроле правильности выполнения измерений. В настоящее время все экземпляры стандартного образца (общая масса 120 кг) близки к полному израсходованию, а срок его действия заканчивается 01.03.2016. В связи с этим институтом начато изготовление нового стандартного образца из кокса ПАО «Днепродзержинский КХЗ». В настоящее время ведется межлабораторная аттестация материала стандартного образца.

Возрастающие требования к качеству кокса обуславливают необходимость разработки новых характеристик его технологических свойств. Так, для оценки готовности кокса взамен морально устаревшего неточного показателя массового выхода летучих веществ сотрудниками института (Э.И. Торяник, А.В. Грызлов, С.С. Кубрак, Н.И. Саливон) совместно со специалистами ПАО «Запорожкокс» разработаны и внедрены в исследовательскую и производственную практику два новых метода: определение объемного выхода летучих веществ [8] и удельного электрического сопротивления [9]. Также начата разработка метода оценки сопротивляемости кокса раздавливающим усилиям, характеризующая его способность противостоять аналогичным нагрузкам в доменной печи (А.А. Журавский).

В связи со значительным увеличением в последние годы экспортных поставок кокса из Украины в зарубежные страны [10] возникла необходимость разработки национального стандарта для определения применяемого за рубежом показателя механической прочности кокса M_{40} взамен морально устаревшего ГОСТ 8929-75. Эта работа была выполнена совместно со специалистами отдела аналитических исследований, стандартизации, метрологии и экологии. ДСТУ 7665:2014 «Кокс кам'яновугільний. Метод визначення механічної міцності» утвержден приказом Минэкономразвития Украины № 1484 от 29.12.2014. Срок введения в действие нового стандарта – 01.07.2015.

При коксовании шихт в результате термической деструкции угля и выделения парогазовых продуктов в печной камере возникает избыточное давление. Пластическая масса оказывает гидравлическое сопротивление движению парогазовых продуктов через засыпь. Поэтому часть давления передается на стенку камеры.

Эта величина называется давлением расприрания. В расчетах прочности отопительных простенков учитывается величина давления расприрания, равная 7 кПа. Поэтому все разрабатываемые составы шихт перед их промышленным применением проверяются на величину давления расприрания на разработанной в УХИНе специальной лабораторной установке (В.М. Кузниченко, А.В. Сытник). Ее конструкция защищена патентом Украины [11]. Экспериментально определены значения давлений расприрания в насыпном и трамбованном виде для 116 угольных концентратов, используемых предприятиями Украины – как отечественных, так и импортных, поступающих из США, России, Канады и других стран. Типичные кривые развития давления расприрания при коксовании насыпных угольных концентратов основных технологических марок приведены на рис. 1.

Полученные результаты свидетельствуют, что угли марок К и ОС, образующие наиболее вязкую пластическую массу, развивают значительно большие безопасные значения давления расприрания – до 17-22 кПа. Вязкость – неаддитивная величина. В соответствии с этим и обусловленная ею величина давления расприрания также является неаддитивной даже в двухкомпонентных смесях, как показано на рис. 2 [12], а тем более в многокомпонентных шихтах. Аналогичные результаты были получены и на трамбованных угольных смесях [13]. В связи с этим был разработан расчетный метод прогноза давления расприрания многокомпонентных шихт с помощью специально составленных номограмм [14]. Также определены критериальные уровни давления расприрания для коксовых батарей различных размеров, срока службы и технического состояния [15].

Одним из путей обеспечения требуемого качества кокса является модификация свойств шихты, позволяющая также в ряде случаев улучшить условия эксплуатации коксовых батарей. Исследовано влияние спекающихся [16] и неспекающихся [17] добавок. Среди основных полученных результатов следует отметить:

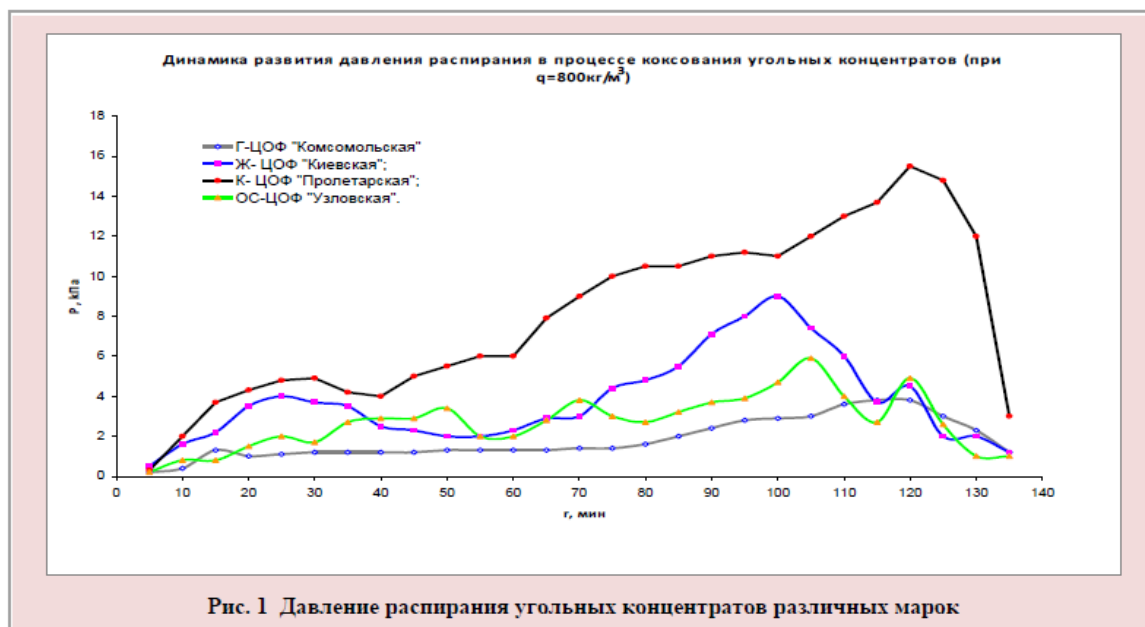
- экспериментально установленную возможность увеличения выхода кокса и улучшения его качества при добавке в насыпную и трамбованную шихту коксовой мелочи для условий КХП ПАО «Алчевский МК» [18];

- положительное влияние пыли установок беспылевой выдачи кокса и его сухого тушения на трамбуемость угольной шихты [19];

- улучшение показателей реакционной способности и послереакционной прочности кокса путем введения в шихту объемно-модифицирующих добавок – соединений p -элементов (микрочастиц α -оксида алюминия Al_2O_3 [20] и α -карбида кремния SiC [21]) в определенных концентрациях (как правило, до 0,5 %), что позволяет влиять на процессы, протекающие в пластическом состоянии. Соединения p -элементов (главных подгрупп III-VII групп периодической системы элементов Д.И.

Менделеева) образуют устойчивые комплексы с углеродом, в отличие от *s*- и *d*-элементов, являющихся катализаторами реакций газификации углерода кокса. Это

позволяет снизить реакционную способность доменного топлива.



Зерна микропорошков, равномерно распределенные по всему объему угольной шихты, выступают в качестве центров кристаллизации в жидкоподвижной угольной массе при температуре 400-500 °С на стадии затвердевания пластической массы, то есть инициируют образование в коксе дополнительных анизотропных высокоупорядоченных участков, отличающихся низкой реакционной способностью.

Выполненная сотрудниками коксового отдела О.И. Зеленским и А.В. Сытником работа «Разработка методов модификации свойств угольной шихты и создание оптимальных условий эксплуатации коксовых печей для получения высококачественного кокса» подана на соискание Премии Президента Украины для молодых ученых 2015 г.

Основным показателем, характеризующим технологический режим получения кокса, является скорость коксования. Эта величина рассчитывается как частное от деления ширины камеры на продолжительность периода коксования. Она характеризует скорость продвижения навстречу друг другу пластических слоев в камере коксования. Ее оптимальные значения при получении кокса улучшенного качества составляют 21-23 мм/ч. При меньших скоростях снижается производительность коксовых печей и ухудшаются технико-экономические показатели процесса. При больших

скоростях не достигается требуемая глубина протекания процессов термического синтеза, необходимая для получения кокса упорядоченной структуры с максимальной долей анизотропных участков.

В соответствии с этим оптимальные периоды коксования при получении кокса улучшенного качества составляют для печей со средней шириной камеры 410 мм, эксплуатируемых в течение проектного срока, 18-20 ч. В связи с необходимостью на многих предприятиях продления срока эксплуатации коксовых батарей длительности проектного для обеспечения сохранности огнеупорной кладки необходимо снижать уровень температур в отопительной системе и соответственно удлинять период коксования. При этом в первую очередь необходимо учитывать не формальный срок эксплуатации, а реальное техническое состояние каждой конкретной батареи [22]. Это предусмотрено в разработанной ГП «УХИН» новой редакции Инструкции по расчету производственной мощности коксохимических предприятий и производств, утвержденной приказом УНПА «Укркокс» № 6 от 11.03.2014. Разработан комплекс технических решений, направленных на обеспечение эффективной эксплуатации коксовых батарей на удлиненных периодах коксования [23]. При этом необходимым условием является своевременное и в полном объеме выполнение ремонтов огнеупорной кладки [24].

Их необходимо планировать по результатам оценки технического состояния батарей [25]. Это позволяет обеспечить не только эффективную эксплуатацию батарей, но и требуемые экологические характеристики [26]. Это особенно важно при переработке в современных условиях шихт, характеризующихся повышенными

давлениями расприраия, что является фактором, интенсифицирующим прососы сырого коксового газа из камеры коксования в отопительную систему печей [27]. Разработана автоматизированная система планирования ремонтов [28].

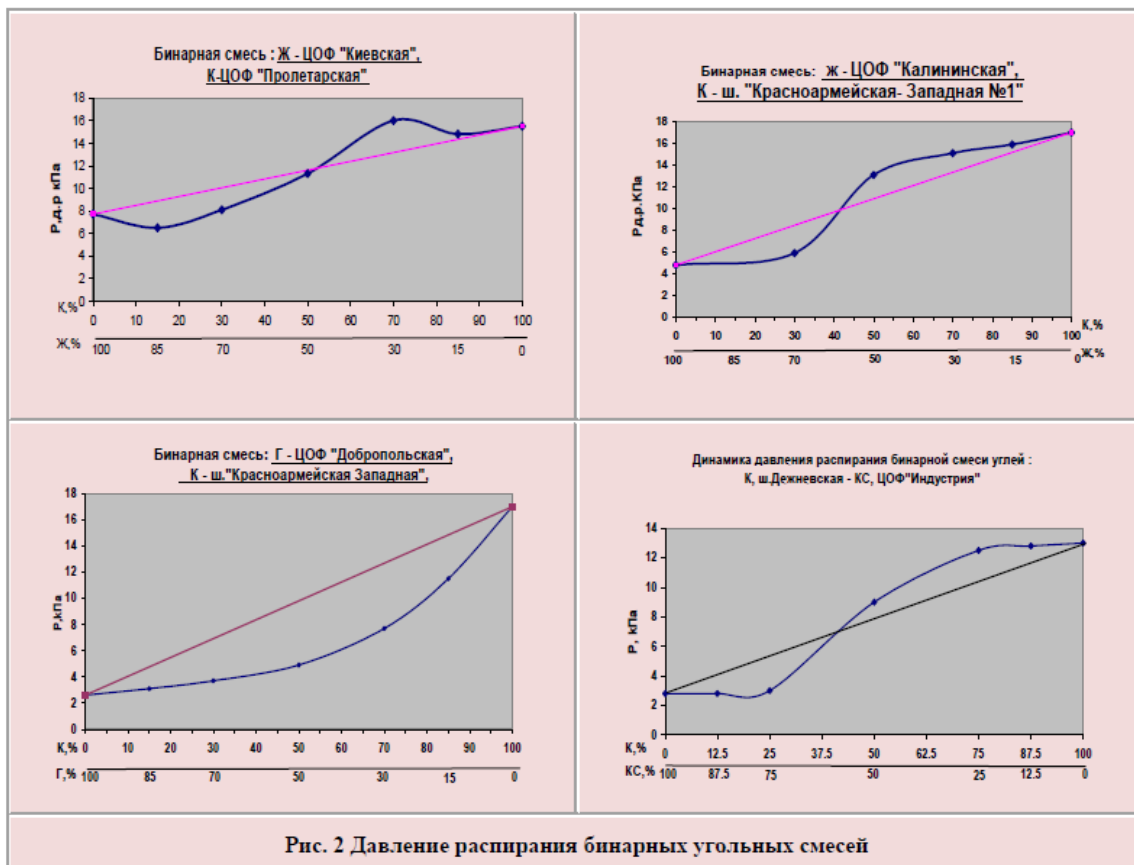


Рис. 2 Давление расприраия бинарных угольных смесей

Конечная температура кокса, измеренная бесконтактным способом при выдаче, должна составлять в осевой плоскости коксового пирога 1100-1150 °С. При меньших температурах не достигается необходимая глубина протекания процессов термического синтеза. При больших температурах существует опасность перегрева массива огнеупорной кладки с ухудшением условий ее эксплуатации. Кроме того, перегрев кокса может приводить к растрескиванию получаемого пирога непосредственно в камере, уменьшению выхода доменного кокса и усложнению условий выдачи кокса из печей.

Уровень температур в отопительной системе в соответствии с требованиями ПТЭ должен обеспечивать

необходимый уровень конечных температур коксования. Повысить информативность, оперативность выполняемых измерений и снизить их трудоемкость позволяет разработанный институтом и успешно испытанный в производственных условиях бесконтактный интраскопический пирометр [29]. В соответствии с уровнем температур в отопительной системе устанавливаются все остальные значимые технологические параметры обогрева печей (расходы отопительного газа общие и по сторонам батарей, коэффициент избытка воздуха, расстановка и свободные сечения постоянных и переменных регулировочных средств и т.д.).

При изменении свойств шихты и условий коксования уровень температур в отопительной системе необ-

ходимо корректировать с учетом следующих правил [30]:

- при удлинении периода коксования на 1 ч температуру в контрольных вертикалах необходимо снижать на 15-20 °С и наоборот;
- при увеличении влажности шихты на 1 % температура должна повышаться на 5-7 °С, и наоборот;
- при возрастании насыпной плотности шихты на 10 кг/м³ температуру в контрольных вертикалах повышают на 2-4 °С, и наоборот;
- при переработке петрографически неоднородных углей повышение температуры в контрольных вертикалах на 1 °С на каждый процент содержания инертинита более 10 %. 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.

Необходимо систематически контролировать уровень конечных температур в коксе. По результатам этого контроля при необходимости выполняется корректировка уровня температур в отопительной системе, исходя из изменения температур в коксе в среднем на 3 °С при изменении температур в отопительной системе на 1 °С.

Совместно со специалистами ПАО «АКХЗ» и ПАО «Запорожжкокс» разработаны методические рекомендации для ИТР и газовщиков коксовых цехов по ведению температурного и гидравлического режимов коксования, используемые в практической работе и при производственном обучении. Также при разработке рациональных технологических параметров обогрева может быть полезна разработанная нами автоматизированная система обработки параметров пассивного промышленного эксперимента [31].

Правильная технология ведения обогрева позволяет не только добиться эффективной эксплуатации батарей и производства кокса требуемого качества, но и обеспечить экологическую безопасность. Однако возможности снижения уровня выбросов на действующих батареях во многом ограничены их конструктивными особенностями. В то же время в ближайшие годы ожидается значительное ужесточение нормативов по выбросам вредных веществ в соответствии с международными требованиями. В связи с этим институтом по заданию ГП «Гипрококс» выданы исходные данные для проектирования коксовых печей со ступенчатым подводом воздуха, что позволит не только улучшить равномерность прогрева по высоте коксуемой засыпи, но и обеспечить снижение выбросов вредных веществ из отопительной системы (в первую очередь оксидов азота [32]) до уровня перспективных требований (Ю.С. Васильев, Л.Н. Фидчунов, А.Л. Фидчунов).

Послепечная обработка кокса после выдачи его из камеры коксования является, наряду с подготовкой и коксованием угольной шихты, важной технологической составляющей производства кокса. Она включает в себя следующие стадии: охлаждение (тушение) кокса, транспортировку и сортировку по крупности, а также обработку поверхности кусков кокса различными веществами.

Основным требованием к процессу тушения является обеспечение стабильной влажности кокса. Современные технологии мокрого тушения должны обеспечивать стабильную влажность кокса на уровне 3,0-4,0 %. Это достигается за счет использования прогрессивных технических решений, в частности, импульсного тушения. Комплекс таких решений был реализован специалистами института и коксохимических заводов на ЧАО «Макеевкокс» [33] и ПАО «Запорожжкокс» [34].

Среди наиболее значимых работ, выполненных совместно с заводами по технологии сухого тушения кокса, необходимо отметить:

- определение выхода кокса при сухом тушении;
- исследование поля температур в камере тушения;
- разработка системы дожигания оксида углерода в сбрасываемом избыточном теплоносителе.

Также совместно со специалистами ДонНТУ проводились теоретические исследования, направленные на разработку новой конструкции дутьевого устройства [35, 36].

Задачей технологии сортировки является получение товарных классов крупности кокса. При этом механические нагрузки на кокс формируют его ситовый состав. В результате промышленных исследований в коксовом цехе № 1 ПАО «АКХЗ» показано, что снижение до уровня требуемых значений содержания в коксе класса более 80 мм не может быть достигнуто при сортировке без применения специального дробящего оборудования [37]. Полученные экспериментальные результаты послужили исходными данными для подбора и технологического расчета оборудования для отсева и дробления кокса. При этом дроблению подвергают не весь кокс, а только выделенный при отсеве класс более 80 мм. Такое решение позволяет снизить потери доменного кокса и увеличить его выход.

На ПАО «Запорожжкокс» специалистами завода и института реализована схема сортировки кокса, предусматривающая выделение двух классов крупного кокса:

- более 80 мм, направляемый потребителям литейного и других производств, для которых необходимо использование наиболее крупных классов кокса;
- 25-80 мм – доменный кокс улучшенного качества.

Результаты выполненных исследований обобщены в разработанных специалистами института и ПАО «Донецксталь - МЗ» Методических рекомендациях по производству кокса улучшенного качества, утвержденных и введенных в действие приказом Минпромполитики

Украины № 271 от 27.09.2011. Также с целью обеспечения единой технологической политики при производстве кокса и других видов выпускаемой продукции институтом разработана новая редакция Положения о технологических регламентах для выпуска продукции на коксохимических предприятиях, утвержденная и введенная в действие приказом Минпромполитики Украины № 283 от 13.10.2011.

Работа «Ресурсосберегающие технологии металлургического производства на основе использования украинского угля» [38], выполненная авторским коллективом ведущих специалистов ПрАО «Донецксталь – МЗ», ООО «Метинвестхолдинг», ДонНТУ, УНПА «Укркокс» и ГП «УХИИ», удостоена Государственной премии Украины в области науки и техники за 2012 г.

Выходы коксовой продукции являются важнейшими характеристиками, во многом определяющими технико-экономическую эффективность коксохимического производства. Поэтому мы в своей работе уделяем большое внимание этим показателям. При этом принимается, что зависимость выхода валового кокса от шихты может быть описана уравнением [39]:

$$V_k = A \cdot BV^d \cdot C \cdot t_0 \quad (1)$$

где $A = 95-105$ – свободный член, включающий в себя в неявном виде влияние условий коксования и послепечной обработки кокса, который может изменяться при изменении этих условий (например, продолжительности периода коксования, способа тушения и др.);

$B = 0,65-0,75$ – коэффициент, учитывающий влияние на выход кокса выхода летучих веществ из шихты и численно равный среднему изменению выхода кокса в % при изменении выхода летучих веществ из шихты на 1 %;

V^d – выход летучих веществ из сухой массы шихты, %;

$C = 0,006-0,008$ – коэффициент, учитывающий влияние на выход кокса конечной температуры коксования и численно равный среднему изменению выхода кокса в % при изменении конечной температуры коксования на 1 °С;

t_0 – конечная температура коксования по оси пирога, °С.

В результате совместных работ со специалистами ПАО «Запорожкокс», ПАО «АКХЗ», КХП ПАО «Алчевский МК» экспериментально определены числовые значения величин A , B и C для конкретных условий каждого предприятия, в том числе для двух последних заводов – отдельно для кокса сухого и мокрого тушения. Полученные результаты необходимы для планирования объемов производства и анализа выполнения производственной программы.

Необходимо отметить развитие прогрессивных технологий подготовки угольных шихт к коксованию. Кроме отмеченных выше работ по трамбованию, институтом совместно со специалистами ПрАО «До-

нецксталь» – МЗ» и ПАО «Ясиновский КХЗ» выполнялись исследования по термической подготовке шихты. При реконструкции коксовой батареи № 4, проект которой был выполнен ЧАО «Коксохимпроект» на основании технологического задания ГП «УХИИ», были реализованы технические решения, предусматривавшие коксование термически подготовленной шихты [40]. В частности, ширина камеры коксования была увеличена до 480 мм, что позволило увеличить полезный объем камеры до 24,3 м³ и при проектном периоде коксования (14,5 ч) обеспечить при переработке термopодготовленной шихты производственную мощность 460 тыс т в год валового кокса 6 %-ной влажности. Площадь поперечного сечения стоек для отвода парогазовых продуктов увеличена на 30 % с учетом большего количества газов, выделяющихся при загрузке термически подготовленной шихты и ее коксовании. Предусмотрен отдельный отвод газов загрузки и коксования через два газосборника. При этом газы загрузки из газосборника коксовой стороны поступают в подводящее пространство 5-6 ближайших к выдаче печей, подключенных одновременно к двум газосборникам. Там газы загрузки очищаются от большей части пыли и поступают вместе со всеми газами в газосборник машинной стороны, а затем – в цех улавливания. Для переработки водосмоляной смеси из газосборника предусмотрено специальное отделение «малой» конденсации. Специалистами института и завода была разработана методика определения материального баланса термической подготовки шихты и ее коксования, успешно апробированная при переработке влажной шихты.

Была проведена подготовка к использованию кокса из термopодготовленной шихты в ферросплавном производстве. Такой кокс должен обладать высокой реакционной способностью, определяемой, в отличие от доменного кокса, не по потере массы, а по константе скорости взаимодействия углерода с углекислым газом. Поэтому возникла необходимость разработки взамен морально устаревшего ГОСТ 10089-89 национального стандарта для определения этого показателя. Работа была выполнена совместно со специалистами отдела аналитических исследований, стандартизации, метрологии и экологии. ДСТУ 7664:2014 «Кокс кам'яновугільний. Метод визначення реакційної здатності» утвержден приказом Минэкономразвития Украины № 1484 от 29.12.2014. Срок введения в действие нового стандарта – 01.07.2015.

Большое энергосберегающее значение имеет технология производства кокса без улавливания химических продуктов, позволяющая одновременно с коксом получать значительные количества энергетических ресурсов: электроэнергии (700 кВт×ч/т кокса) и пара (0,3 т/т кокса) давлением 20 ата и температурой 370 °С. Институтом, в развитие ранее выполненных исследований, проработаны вопросы получения по этой технологии 2

млн т в год сухого валового кокса из угля Любелского месторождения (Львовская обл.).

Оценка эффективности использования кокса как источника тепла в доменном и других производствах проводится на основании значений низшей теплоты сгорания. В связи с тем, что лаборатории большинства предприятий не имеют установок для экспериментального определения этого показателя, ГП «УХИН» была экспериментально определена низшая теплота сгорания для продукции практически всех коксохимических предприятий Украины (за исключением Горловского КХЗ) [41]. Выявлена взаимосвязь этого показателя со свойствами шихты и условиями коксования. Результаты выполненных исследований обобщены в разработанной специалистами института Методике расчетного определения средневзвешенных показателей низшей теплотворной способности коксохимической продукции, утвержденной и введенной в действие приказом Минпромполитики Украины № 284 от 13.10.2011.

Приказом Госпотребстандарта Украины № 69 от 25.02.2011 с 01.07.2011 введен в действие разработанный ГП «УХИН» ДСТУ 4370:2011 «Энергосбережения. Коксохимичне виробництво. Ресурси енергетичні вторинні. Методика визначення показників виходу і використання». 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 энтальпия 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 термодготовки 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, что распространяет на коксовый газ действие Закона Украины «Об альтернативных топливах».

Завершается разработка ДСТУ «Энергосбережения. Коксохимичне виробництво. Енергоємність основних технологічних процесів. Методика визначення». Стандарт позволит определять технически обоснованные нормы расхода энергоресурсов всех видов (тепло, электроэнергия, вода, сжатый воздух) в технологических

процессах коксохимического производства. Базой для его создания явились разработанные ранее институтом отраслевые методики, прошедшие апробацию на предприятиях подотрасли:

- Сводная методика нормирования ресурсов образования коксового газа и его расходования на коксохимических предприятиях Украины, согласованная с Госкомэнергоэкономии Украины, Минпромполитики Украины и утвержденная приказом ХМО «Укркок» № 31 от 27.11.2002 г.;

- Методика нормирования расходов электрической энергии на коксохимических предприятиях, утвержденная приказом Минпромполитики Украины № 310 от 19.08.2005 г.;

- Методика нормирования расходов тепловой энергии на коксохимических предприятиях, утвержденная приказом Минпромполитики Украины № 527 от 06.10.2010 г.

Проект стандарта прошел все стадии разработки и сейчас находится на согласовании и утверждении. С целью подготовки к его внедрению ведется работа по автоматизации расчетов в соответствии с алгоритмами, установленными стандартом [42].

Для проведения реконструкции коксохимических предприятий Украины институтом за последние пять лет выданы ГП «Гипрокок» технологические задания на проектирование:

- реконструкции коксовой батареи № 1-бис ОАО «Запорожжкокс» с печами новой конструкции и сухим тушением кокса;

- расширения производства на Горловском КХЗ со строительством батарей № 1-бис (с трамбованием шихты) и 3;

- строительства батарей № 1 Харьковского КЗ на 45 камер, в том числе проработан вариант с трамбованием шихты.

Кроме того, по заданию ЧАО «Макеевкокс» проанализированы возможные варианты реконструкции батарей № 3 и 4.

К сожалению, с середины 2014 года большинство коксохимических предприятий Украины оказались в зоне боевых действий, ряд из них в результате этого были аварийно переведены на горячую консервацию. Сотрудники отдела оказывали консультативную помощь специалистам предприятий в работах по организации горячей консервации, определении расходов различных видов топлива на консервацию. Затем специалистами института, ГП «Коксохимстанция» и ПАО «АКХЗ» по заданию ООО «Метинвестхолдинг» была разработана Инструкция по возобновлению производства кокса после горячей консервации коксовых батарей, утвержденная приказом УНПА «Укркок» № 23 от 01.12.2014. Материалы инструкции были использованы при возобновлении производства на ПАО «АКХЗ» и ПАО «Донецккокс».

Для Украины, не имеющей собственных значительных ресурсов нефти и природного газа, очень важны термические процессы химико-технологической переработки угля, позволяющие производить заменители продуктов, получаемых при переработке жидких и газообразных топлив. Эти процессы постоянно находятся в поле зрения специалистов института [43]. Среди таких технологий в мире наибольшее развитие получила газификация углей - высокотемпературный процесс взаимодействия топлива с окислителями (воздух, кислород, водяной пар, углекислый газ либо их смеси) с целью получения горючих газов (водорода, метана, оксида углерода).

ГП «УХИН» совместно с ГП «Гипрококс» ведет систематические работы в этом направлении. В частности, разработаны различные варианты сырьевой базы процессов газификации, предусматривающие использование малометаморфизованных углей различных бассейнов и месторождений Украины (длиннопламенные угли действующих шахт «Терновская» и им. Героев Космоса Западного Донбасса, угли действующих и строящихся шахт Львовско-Вольнского бассейна, бурые угли Ново-Дмитровского месторождения Харьковской обл. и др.). Для различных вариантов технологического оформления процесса (парокислородная газификация в стационарном слое по технологии Lurgi и в потоке по технологии Siemens, кислородная газификация водоугольной пульпы в потоке по технологии Тенасо) определены основные параметры газификации: количество и состав дутья, температура, давление, размеры и количество реакторов, количество и свойства получаемого газа (состав, теплотворная способность, содержание примесей), потребность в энергоресурсах (пар, электроэнергия, кислород, вода), количество получаемой попутной продукции, образующихся сточных вод и отходов производства. Наилучшие показатели достигаются в технологиях, предусматривающих газификацию в потоке. Получаемый генераторный газ предусматривается использовать для получения моторных топлив (по технологиям Фишера - Тропша или Mobile) либо для прямого восстановления железа. Также прорабатывались вопросы прямого синтеза углеводородов, пригодных для использования в качестве компонентов моторных топлив, по технологии гидрогенизации бурых и малометаморфизованных каменных углей.

Считаем также необходимым отметить работы по полукоксованию углей, ставшие особенно актуальными в настоящее время в связи с возможностью и необходимостью получения заменителей кокса для недоменных целей, бытового бездымного топлива, малопродуцированных парогазовых продуктов.

За последние пять лет молодыми сотрудниками коксового отдела защищены три кандидатские диссертации по специальности 05.17.07 «Химическая техноло-

гия топлива и горюче-смазочных материалов» (О.И. Зеленский, А.В. Сытник, А.Л. Фидчунов).

Сотрудники коксового отдела приняли активное участие в подготовке третьего издания «Справочника коксохимика». Им написан ряд разделов в I и II томах, посвященных вопросам петрографического анализа углей, теоретических основ процесса коксования, обогрева коксовых печей, их расчетов, производства кокса из трамбованной шихты, получения формованного кокса, полукоксования, газификации и гидрогенизации углей. Также выполнено научное редактирование разделов II и VI томов по конструкциям коксовых печей, их кладке, эксплуатации, контролю производства, технико-экономическим показателям углеподготовительных и коксовых цехов, а также перспективным технологическим процессам.

В целом анализ работ ГП «УХИН» по термохимической переработке углей позволяет заключить, что институт по-прежнему занимает ведущие позиции в этом направлении как ведущая научно-исследовательская организация по технологии коксования и перспективным химико-технологическим процессам применения угля.

Библиографический список

1. Ярошевский С.Л. Совершенствование и повышение эффективности технологии в доменных цехах Украины / Ярошевский С.Л., Минаев А.А., Шульга И.В. и др. – Москва: ОАО «Черметинформация». Бюл. Черная металлургия. 2012. Сообщение 1. В. 10. С. 26-30. Сообщение 2. В. 11. С. 17-22. Сообщение 3. В. 12. С. 29-33.
2. Филатов Ю.В. Теория и практика производства и применения доменного кокса улучшенного качества / Филатов Ю.В., Ковалев Е.Т., Шульга И.В. и др. – К.: Наукова думка, 2011. – 153 с.
3. Ковалев Е.Т. Формирование свойств кокса. Реакционная способность / Ковалев Е.Т., Шмалько В.М., Шульга И.В., Рыщенко А.И. – УглеХимический журнал. – 2006. № 5 б. С. 13-20.
4. Ильяшов М.А. Опыт производства кокса улучшенного качества на ЧАО «Макеевкокс» / Ильяшов М.А., Зинченко С.Г., Золотарев П.В., Давидзон А.Р., Шульга И.В. – УглеХимический журнал. 2012. № 5-б. С. 34-43.
5. Романюк И.В. Показатели CRU/CSR кокса: межлабораторные исследования и факторы влияния / Романюк И.В., Лысик Н.А., Ремков В.Н., Зеленский О.П. и др. – УглеХимический журнал. 2012. № 3-4. С. 14 – 22.
6. Медянец С.А. Современные представления об определении прочностных характеристик кокса / Медянец С.А., Саенко А.К., Дудяк В.Н., Шмалько В.М., Шульга И.В. – УглеХимический журнал. 2013. № 6. С. 28-39.

7. Гайдаенко А.С. Участие ПАО «Запорожжкокс» в межлабораторных исследованиях кокса по показателям CRI/CSR / Гайдаенко А.С., Обчинникова С.А., Зеленский О.И., Шульга И.В. – УглеХимический журнал. 2014. № 1-2. С. 41-43.
8. Рубчевский В.Н. Оценка готовности кокса по данным объемного выхода летучих веществ / Рубчевский В.Н., Обчинникова С.А., Чернышов Ю.А., Кафтан Ю.С., Торяник Э.И., Грызлов А.В. – Кокс и химия. 2014. № 4. С. 22-28.
9. Рубчевский В.Н. Совершенствование методики определения удельного электрического сопротивления порошка кокса / Рубчевский В.Н., Обчинникова С.А., Чернышов Ю.А., Золотарев И.В., Яценко Ю.А., Торяник Э.И. и др. – Кокс и химия. 2014. № 10. С. 9-20.
10. Ярошевский С.Л., Ємченко А.В., Шульга І.В. та ін. Ресурсозберігаючі технології металургійного виробництва на основі використання українського вугілля. – Харків: Контраст, 2012. – 204 с.
11. Патент 57708 Україна, МПК G01N 33/22. Лабораторна установка для визначення тиску розпирання вугілля та шихт різної насипної щільності / Сытник О.В., Кузниченко В.М., Шульга І.В.; заявник та патентовласник УХИ. – и201009749; заявл. 05.08.2010; опубл. 10.03.2011; Бюл. № 5.
12. Сытник А.В. Давление распирания при коксовании бинарных смесей углей насыщенным методом / Сытник А.В., Кузниченко В.М., Шульга И.В. – УглеХимический журнал. 2011. № 1-2. С. 41-48.
13. Кузниченко В.М. Давление распирания трамбованных бинарных угольных смесей / Кузниченко В.М., Сытник А.В., Шульга И.В. – УглеХимический журнал. 2011. № 5-6. С. 42-49.
14. Кузниченко В.М. Разработка марочных составов шихт ПАО «Запорожжкокс» с учетом их давления распирания / Кузниченко В.М., Сытник А.В., Гайдаенко А.С. и др. – Кокс и химия. 2014. № 4. С. 10-15.
15. Пастернак А.А. Разработка критериальных уровней давления распирания угольных шихт для коксовых батарей ПАО «АКХЗ» / Пастернак А.А., Скришченко Н.П., Кузниченко В.М. и др. – УглеХимический журнал. 2013. № 5. С. 52-56.
16. Зеленский О.И. Современные направления использования неспекающих добавок в производстве кокса // УглеХимический журнал. 2013. № 3. С. 21-28.
17. Григоров А.Б., Зеленский О.И. Спексающие органические добавки в шихту для коксования // Кокс и химия. 2013. № 7. С. 27-32.
18. Кузниченко В.М., Малько Н.И., Кубрак С.С. и др. Влияние коксовой мелочи на прочности и выход кокса при насыпной и трамбованной загрузке // УглеХимический журнал. 2013. № 3. С. 16-21.
19. Кузниченко В.М. Влияние пыли УСТК и УБВК на трамбуемость угольной шихты // УглеХимический журнал. 2011. № 5-6. С. 39-42.
20. Зеленский О.И. Корундовые микропорошки – неспекающиеся присадки в угольные шихты // 36. наук. праць «УкрНДІ вогнетривів ім. А.С. Березного». – Харків: 2012. № 112. С. 278-281.
21. Зеленський О.І. Поліпшення якості доменного коксу за допомогою мікропорошків карбїду кремнію // Вісник НТУ ХПІ. – Харків: 2012. – № 48 (954). – С. 62-66.
22. Шульга И.В., Торяник Э.И., Золотарев И.В. и др. Методы оценки технического состояния действующих коксовых батарей и расчета их производственной мощности // УглеХимический журнал. 2014. № 3. С. 22-25.
23. Золотарев И.В., Шпенаков С.Л., Кулик-Форосянний А.А., Темченко Ю.Ф., Шульга И.В., Торяник Э.И. Опыт эксплуатации коксовых батарей на удлинённых периодах коксования // УглеХимический журнал. 2012. № 5-6. С. 44-49.
24. Худокормов А.П., Жилавий П.В., Шульга И.В., Фидчунов А.Л. Оценка эффективности проведения горячих ремонтов кладки отопительных простенков // УглеХимический журнал. 2013. № 5. С. 56-59.
25. Золотарев И.В. Прогнозирование срока эксплуатации коксовых батарей по результатам периодического обследования их технического состояния с разработкой планов ремонтов или реконструкции / Золотарев И.В., Евтушенко С.А., Шульга И.В. и др. – Металлургическая и горнорудная промышленность. 2013. № 6. С. 16-21.
26. Васильев Ю.С. Влияние состояния кладки на эксплуатацию и экологические характеристики коксовой батареи / Васильев Ю.С., Фидчунов А.Л., Шульга И.В. – УглеХимический журнал. 2014. № 3. С. 14-21.
27. Кузниченко В.М. Влияние давления распирания коксумой загрузки на прососы сырого коксового газа в отопительную систему коксовых печей / Кузниченко В.М., Сытник А.В., Фидчунов А.Л. и др. – УглеХимический журнал. 2013. № 4. С. 55-59.
28. Гайдаенко А.С. Возможности автоматического составления графиков планово-предупредительных ремонтов / Гайдаенко А.С., Мартыненко И.В., Ролин В.А., Журавский А.А. и др. – УглеХимический журнал. 2014. № 1-2. С. 69-76.
29. Худокормов А.П. Замер температур в отопительных простенках бесконтактным методом при помощи интраскопического пирометра / Худокормов А.П., Ряполов Э.В., Журавский А.А. и др. – УглеХимический журнал. 2013. № 5. С. 46-52.
30. Васильев Ю.С. Разработки УХИНа по совершенствованию промышленной технологии коксования / Васильев Ю.С., Шульга И.В., Торяник Э.И. – УглеХимический журнал. 2010. № 3-4. С. 38-49.
31. Рубчевский В.Н. Система обработки данных пассивного промышленного эксперимента / Рубчевский В.Н., Гайдаенко А.С., Чернышов Ю.А., Поддубный

А.В., Ткалич Г.М., Журавский А.А. и др. – Кокс и химия. 2014. № 4. С. 53 - 58.

32. Фидчунов А.Т. К вопросу о ресурсе образования оксидов азота при обогреве коксовых печей / Фидчунов А.Т., Шульга И.В., Банников Л.П. – УглеХимический журнал. 2010. № 1 - 2. С. 50 - 54.

33. Золотарев П.В. Совершенствование технологии мокрого тушения кокса (теория и практика) / Золотарев П.В., Торяник Э.И., Журавский А.А. – Кокс и химия. – 2010. – № 8. – С. 16 - 24.

34. Рубчевский В.Н. Особенности технологии мокрого тушения кокса на ПАО «Запорожжкокс» / Рубчевский В.Н., Подлубный А.В., Гринь А.П., Захарченко А.П., Олейник Г.П., Ролин В.А., Торяник Э.И. – УглеХимический журнал. 2014. № 1 - 2. С. 32 - 40.

35. Голубев А.В. Особенности термонапряженного состояния кокса при сухом тушении и его влияние на качество продукции / Голубев А.В., Збыковский Е.И., Шульга И.В. – УглеХимический журнал. 2012. № 1 - 2. С. 20 - 25.

36. Збыковский Е.И. Структура потока охлаждающего газа в камере сухого тушения кокса с новой конструкцией газораспределительного устройства / Збыковский Е.И., Голубев А.В., Шульга И.В. – Кокс и химия. 2013. № 7. С. 39 - 42.

37. Тимошенко В.Ф. Реконструированная схема сортировки кокса в КЦ № 1 ПАО «АКХЗ» / Тимошенко В.Ф., Худокормов А.П., Торяник Э.И. и др. – УглеХимический журнал. 2013. № 5. С. 39 - 46.

38. Ярошевский С.Л. Ресурсосберегающие технологии металлургического производства на основе использования украинских углей / Ярошевский С.Л., Емченко А.В., Шульга И.В. и др. – ОАО «Черметинформация». Бюл. Черная металлургия. 2012. В. 7. С. 38 - 44.

39. Рубчевский В.Н. Выход кокса в зависимости от свойств шихты и конечной температуры коксования / Рубчевский В.Н., Чернышов Ю.А., Подлубный А.В., Васильев Ю.С., Шульга И.В., Фидчунов А.Т. – Кокс и химия. 2014. № 4. С. 29 - 32.

40. Чаленко В.И. Особенности конструкции КБ № 4 (ПАО «Ясиновский КХЗ»), предназначенной для работы на влажной и термopодготовленной шихте (ТПШ) / Чаленко В.И., Бежин В.И., Дариенко В.Е., Шульга И.В. – УглеХимический журнал. 2013. № 6. С. 43 - 49.

41. Дроздник И.Д. Оценка теплоты сгорания товарных классов кокса / Дроздник И.Д., Шульга И.В., Мироиниченко Д.В. и др. – УглеХимический журнал. 2010. № 5 - 6. С. 22 - 26.

42. Чернышов Ю.А. Автоматизированная система расчета нормативного расхода электроэнергии / Чернышов Ю.А., Шарасин В.С., Журавский А.А., Федорова С.В. – УглеХимический журнал. 2014. № 1 - 2. С. 76 - 85.

43. Ковалев Е.Т. Перспективные технологии химико-технологической переработки углей / Ковалев Е.Т., Шульга И.В. – УглеХимический журнал. 2010. № 3 - 4. С. 48 - 52.

Рукопись поступила в редакцию 13.04.2015

THE DEVELOPMENT OF THERMO-CHEMICAL COAL PROCESSING

© Shulga I.V., PhD in technical sciences (SE "UKHIN")

The main results has been presented of elaborations of SE "UKHIN" in the field of the improvement of industrial coking technology, in particular, in order to develop the quality of coke, to improve the conditions of coke ovens operation, to solve the environmental problems, to save the energy and resources. The topicality has been shown of the development of advanced technologies of coal thermo-chemical processing, such as the coking without capturing of chemical by-products, the semi-coking, the coal gasification.

Keywords: coal, thermo-chemical processing, the quality of coke, regime coke oven operation, energy saving, resource saving, ecology, coking ovens without capturing of chemical by-products, semi-coking, gasification.

