

## Список использованной литературы

1. Пархоменко В. Д. Плазмохимическая технология. Низкотемпературная плазма. Т. 4. / В. Д. Пархоменко, П. И. Сорока, Ю. И. Краснокутский. — Новосибирск: Наука. Сибирское отделение, 1991. — 392 с.
2. Жуков М. Ф. Плазмохимическая переработка угля / М. Ф. Жуков, Р. А. Калинин, А. А. Левицкий, Л. С. Полак. — М.: Наука, 1990. — 200 с.
3. Нойвирт Р., Шустер Д. Современная технология коксования Углекимический журнал. — 2004. — № 3-4. — С. 31-39.
4. Литвиненко М. С. Получение ацетилена из коксового газа. Кокс и химия. — 1960. — № 2. — С. 34-39.
5. Ханин И. М., Обуховский Я. М., Юшин В. В., Яремчук В. А. Методы расчета материального и теплового баланса коксовых печей — М.: «Металлургия», 1972. — 160 с. — (2-е изд).

Надійшла до редколегії 30.01.2012

© Голубев А. В., Збыковский Е. И., Збыковский А. И., Дюбанов А. В., 2012

УДК 662.7:552.57

Л.Ф. Бутузова, Р.В. Маковский, И.В. Ветров, Г.Н. Бутузов (ДонНТУ)

### ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НЕТРАДИЦИОННЫХ КОКСОВЫХ ШИХТ НА ОСНОВЕ УГЛЕЙ ДОНБАССА

*В работе изучен состав, пластометрические и прочностные характеристики нетрадиционных коксовых шихт с повышенным содержанием слабоспекающихся и сернистых компонентов. Установлено, что высокосернистый жирный уголь может запечь до 50% слабоспекающегося газового угля. Предложены добавки органических веществ (отходов), повышающих эффективность процессов спекания и обессеривания при коксовании.*

**Ключевые слова:** коксование, шихты, сернистые угли, добавки.

*У роботі вивчений склад, пластометричні й міцнісні характеристики нетрадиційних коксових шихт із підвищеним вмістом слабо спікливих й сірчистих компонентів. Встановлено, що високосірчисте жирне вугілля може запекти до 50% газового вугілля. Запропоновано добавки органічних речовин (відходів), що підвищують ефективність процесів спікання й знесірчення при коксуванні.*

**Ключові слова:** коксування, шихти, сірчисте вугілля, добавки.

**Введение.** Базовыми компонентами коксовой шихты являются наиболее дефицитные и дорогие угли марок Ж и К с низким содержанием серы. Именно эти угли являются источником жидких нелетучих продуктов, необходимых для образования пластической массы. Однако, на долю коксующихся углей приходится только 19% от общего количества балансовых запасов стран СНГ [1]. Это обстоятельство выдвигает в число первоочередных задач коксохимии задачу поиска путей расширения сырьевой базы коксования.

В странах с развитой коксохимией все больше внимания уделяется разработке новых процессов подготовки и коксования

шихт с повышенным содержанием слабоспекающихся и неспекающихся углей.

Несмотря на огромную важность этого вопроса, до настоящего времени не разработаны теоретические основы, позволяющие определять оптимальный состав угольных шихт в рамках конкретной сырьевой базы [2]. Это объясняется недостаточной изученностью механизма перехода углей в пластическое состояние и механизма взаимодействия отдельных компонентов шихты. Прогнозированию качества кокса по различным параметрам угольных шихт посвящено очень много исследований. Однако, до последнего времени выбор оптимальных вариан-

тов угольных шихт производится эмпирическим путем.

По данным УХИНа [2], для получения прочного металлургического кокса из донецких углей необходимо обеспечение оптимальной спекаемости угольной шихты, которое достигается при содержании в шихте углей марок Ж, К и ОС не менее 68, а газовых — не более 32%. Дальнейшее увеличение содержания газовых углей приводит к ухудшению качества кокса. Это положение хорошо проверено промышленной практикой, но только для малосернистых шихт. Особенности поведения шихт с участием сернистых углей практически не изучены.

Использование нетрадиционных шихт с высоким содержанием углей пониженной спекаемости и повышенной сернистости требует разработки специальных методов углеподготовки, в число которых входит метод включения в состав шихты органических добавок. Этот метод заслуживает внимания еще и потому, что не требует больших капитальных и эксплуатационных затрат и позволяет сохранить традиционный метод слоевого коксования. Как показали многочисленные исследования, технология коксования шихт со спекающими добавками позволяет рассматривать ее как возможную альтернативу брикетированию, трамбованию и термоподготовке шихт.

При этом исследователи основываются на существующих представлениях о том, что спекание угольных зерен возможно только при условии их прохождения через стадию пластического состояния при нагревании. Спекание смеси неспекающихся угольных зерен требует ввода в смесь органических соединений, образующих такое состояние.

Наилучшие условия спекания отдельных угольных зерен с получением прочного кокса заключаются в том, чтобы образовавшиеся жидкоподвижные нелетучие продукты (ЖНП) пластической массы максимально заполняли поверхности зерен и необходи-

мый объем промежутков между ними. ЖНП должны обладать высокой адгезией для образования пленки достаточной толщины с последующим ее слиянием с пленками соседних зерен [3].

Описаны два вида воздействий добавок на процесс спекания — это физическое, когда добавки выступают в роли пластификатора и увеличивают количество ЖНП, а так же физико-химическое, при котором, помимо пластифицирующего воздействия, добавка участвует в радикальных процессах, протекающие при термической деструкции.

Эти представления легли в основу существующих принципов подбора спекающих добавок, которые учитывают такие их характеристики, как наличие у добавки мезофазных свойств, широкого интервала пластичности, совпадающего с интервалом образования ЖНП, незначительного газовыделения [1].

Результаты воздействия органических веществ на процесс коксообразования проявляются различными путями [4]. Это может быть увеличение плотности угольной загрузки за счет обмасливания, улучшение спекаемости угля вследствие химического взаимодействия угля и спекающей добавки. Так, легкокипящие органические вещества, обладающие поверхностно-активными свойствами (керосин, соляровое масло и др.) способствуют увеличению насыпной плотности загрузки и в значительной мере пластификации. Вещества, температура кипения которых превышает 350°C, обычно проявляют себя как эффективные пластификаторы [5].

В ряде работ в качестве основного критерия оценки спекающей добавки предложен критерий «мезогенности», то есть способности добавки переходить при нагревании в жидкокристаллическое состояние (мезофазу), в котором проявляются ее оптическая анизотропия и высокая

адгезионная способность по отношению к углероду. Именно мезогенные спекающие добавки способны оказывать наибольшее воздействие на процесс коксования путем ее участие в мезофазных превращениях, в оформлении структуры кокса [6]. Было высказано мнение, что мезогенные спекающие добавки являются донорами водорода в условиях взаимодействия с пластической массой угольных композиций при нагреве [7, 8] и их действие идентично действию хорошо спекающихся углей марок К и Ж [9].

Немезогенные добавки, по-видимому, участвуют в процессе образования кокса как пластификаторы, а также посредством увеличения плотности угольной загрузки. Их применение рационально в тех случаях, когда необходимо решить проблему утилизации различных отходов.

Однако, не всегда улучшение спекаемости однозначно приводит к улучшению свойства кокса. Так, при добавлении каменноугольной смолы [10], мазута, антраценового масла [10, 11, 8] было обнаружено значительное увеличение толщины пластического слоя, однако анализы не показали положительного влияния этих добавок на качество кокса.

В работах [12–14] установлено, что использование каменноугольного пека и кубовых остатков бензольной колонны в количестве до 10% способствует значительному увеличению пластичности угля по методу Гизелера. При замене жирных углей углями марок Г и ОС совместно с пеками, несмотря на снижение выхода ЖНП и величины индекса вспучивания, прочность кокса возрастает [15].

В качестве добавок предлагается использовать продукты гидрокрекинга углей, содержащие конденсированные ароматические соединения [16], ароматические углеводороды без боковых метильных групп, которые кипят при температуре

выше 350°C [5], продукты переработки угля и нефти [3, 5].

В последние годы наблюдается возрастание интереса в изучении пластических масс как добавок к угольным шихтам для коксования. Это не только освобождает окружающую среду от отходов пластмасс и вредных продуктов их уничтожения, но и улучшает качество металлургического кокса и увеличивает выход продуктов коксования. К примеру, в процессе, разработанном Nippon Steel Corporation [18], угли и добавленные к ним пластмассы, в количестве 1%, коксуются в камере коксовой печи с образованием кокса, смолы, и коксового газа.

Однако, действие спекающих добавок на угли разной степени метаморфизма различно [19] и зависит от их состава [20–22], что усложняет прогнозируемость результатов. Недостаточная изученность механизма взаимодействия спекающих добавок с органической массой углей, а также отсутствие надежных научно обоснованных критериев их подбора являются главными факторами, тормозящими крупномасштабное применение спекающих добавок, хотя разработкой соответствующих технологий занимаются во всех странах с развитой коксохимической промышленностью, в том числе в Японии, Германии, США и др.

В литературе отсутствует описание влияния добавок на угли разного типа по восстановленности, а также не изучено их влияние на процесс коксования сернистых углей.

Целью настоящей работы является систематическое исследование коксов, полученных из нетрадиционных шихт с повышенным содержанием слабо спекающихся и сернистых углей Донбасса в присутствии добавок веществ, направленно влияющих на процесс термической деструкции.

### Методика и результаты эксперимента

В качестве объектов исследования использовали угли Донецкого бассейна разных генетических типов

по восстановленности (тип **a** и **в**), отличающиеся по спекаемости. Характеристика исследуемых образцов представлена в таблице 1.

**Таблица 1.** Характеристика исследуемого угля

Шахта	Марка угля, пласт	Тип	Технический анализ, %				Элементный анализ, % daf		
			W <sup>a</sup>	A <sup>d</sup>	S <sub>t</sub> <sup>d</sup>	V <sup>dat</sup>	C	H	O+N
Центральная	Г, k <sub>7</sub>	a	1,75	4,4	1,22	36,0	85,1	5,11	8,71
Засядько	Ж, l <sub>4</sub>	a	1,4	2,6	1,09	31,6	87,8	5,16	4,8
Засядько	Ж, k <sub>8</sub>	в	0,66	2,71	4,1	30,5	85,4	5,2	5,3

На их основе составлены шихты (Ж:Г = 70:30 и 50:50), включающие жирные угли типов «а» или «в». Шихты Ж:Г = 70:30 являются модельными т.е. маркой Ж заменяются все хорошо спекающиеся угли, а маркой Г – слабо спекающиеся компоненты. Шихта с соотношением компонентов Жв: Га = 50:50 не намного уступает шихте с пропорцией компонентов 70:30 по выходу жидких нелетучих продуктов, которые ответственны за процессы спекания [23]. Использование шихт с соотношением 50:50 позволит существенно расширить сырьевую базу коксования и снизить зависимость отечественной коксохимии от импортного угля.

Коксование осуществляли по стандартной методике в аппарате Сапожникова Л. М. (ГОСТ 1186-87).

Элементный и технический анализы образцов выполняли по ГОСТ №27314-91, 11022-95, 2401.1-95, 8606-93.

Для направленного воздействия на процесс спекания, были использованы следующие добавки к угольным шихтам:

- Динитрил азобисизомаляной кислоты (ДАК), который является эффективным инициатором процессов радикальной полимеризации [53];

- Каменноугольный пек, который является эффективным пластификатором угольной массы [12];

- Фенолы, как компоненты каменноугольной смолы;

- Отходы полиэтилентерефталата (ПЭТФ), как одного из широко распространенных пластиков, в состав молекулы которого входят ароматические циклы;

- Отходы пенополистирола (ППС), которые, так же как и ПЭТФ содержат в своей структуре ароматические фрагменты.

Основой для выбора используемых пластиков послужила близость температур их разложения к температурному интервалу начала процесса образования пластического слоя угольной шихты [18]. Температура начала разложения полистирола 340–350°C, для ПЭТФ она составляет 380–400°C, а температура начала образования пластического слоя лежит в пределах 290–380°C в зависимости от марки угля.

Введение добавок в шихты проводили следующими способами:

- каменноугольный пек, полиэтилентерефталат и пенополистирол предварительно измельчали до класса <1,5 мм и вводили в угольную шихту путем механического перемешивания;

- ДАК и фенолы предварительно растворяли в ацетоне, шихту пропитывали полученным раствором и выдерживали до полного испарения ацетона из загрузки.

В таблицах 2 и 3 представлены результаты сравнительной оценки качественных показателей коксов из шихт, содержащих восстановленные и слабовосстановленные угли марки Ж, а также из шихт с повышенным содержанием слабоспекающегося угля марки Г без использования доба-

вок. При анализе полученных результатов учитывался тот факт, что прочностные характеристики лабораторных коксов всегда ниже, чем промышленных, поэтому в качестве эталона сравнения использовали кокс, полученный из 2-х малосернистых углей (Жа:Га,70:30).

**Таблица 2.** Выход продуктов термоллиза и пластометрические характеристики шихт

Шихта	Твердый остаток, %	Толщина пластического слоя у, мм	Пластометрическая усадка х, мм	Выход ЖНП, %
Жа:Га,70:30	72,33	18,5	15	20,95
Жв:Га,70:30	73,20	20,0	20	26,52
Жв:Га,50:50	72,30	13	31	24,40

**Таблица 3.** Показатели прочности и сернистости кокса

Кокс из шихт	Индекс прочности П, Дж/дм <sup>2</sup>	Истираемость И, %	Сопротивление дроблению Р, %	Общая сера S <sup>d</sup> <sub>t</sub> , %
Жа:Га,70:30	78,16	24,0	51,6	0,81
Жв:Га,70:30	88,29	19,0	61,1	1,76
Жв:Га,50:50	-*	21,0	52,5	1,59

\*в случае малопрочного кокса индекс П может оказаться искаженным

Из таблиц 2 и 3 видно, что коксование модельной шихты, составленной из малосернистых углей Жа и Га с соотношением компонентов 70:30, приводит к получению качественного лабораторного кокса, имеющего относительно высокие прочностные показатели и низкое содержание серы (0,81%). Выход кокса составляет 72,3%, толщина пластического слоя у = 18,5 мм.

Замена в модельной шихте слабовосстановленного жирного угля на восстановленный уголь существенным образом влияет на ход процессов спекания и коксообразования, а именно: происходит увеличение выхода кокса на 1% по сравнению с модельной шихтой; увеличивается толщина пластического слоя с 18,5 мм до 20 мм; улучшаются прочностные показатели кокса, но и возрастает содержание в нем серы.

Шихта с соотношением компонентов 50:50 показала такие результаты: выход кокса практически остал-

ся на уровне модельной шихты; толщина пластического слоя снизилась до у=13 мм; величина пластометрической усадки резко возросла до 31 мм по сравнению с 15 мм у исходной шихты. При этом значение показателя истираемости снизилось всего на 3%, а величина сопротивления дроблению возросла в сравнении с модельной шихтой, т.е. механическая прочность коксов снизилась незначительно. По-видимому, при увеличении в шихте содержания слабоспекающихся компонентов толщина пластического слоя изменяется неаддитивно и не является надежным критерием спекаемости. Аналогичные примеры описаны авторами каталога-справочника [1].

Исходя из вышеизложенного, можно сделать вывод, что использование восстановленного угля марки Ж позволяет увеличить толщину пластического слоя, выход и прочностные характеристики кокса. Кроме того, использование угля Жв позволяет

увеличить содержание слабоспекающегося газового угля в шихте без снижения выхода кокса, но приводит к некоторому уменьшению толщины пластического слоя до 13 мм, при рекомендованной для коксования величине  $u = 14\text{--}17$  мм.

Как известно, [2] компенсировать снижение толщины пластическо-

го слоя и механической прочности коксов из шихт с высоким содержанием углей пониженной спекаемости возможно при использовании спекающих добавок.

В таблицах 4 и 5 представлены пластометрические и прочностные показатели коксов из шихт с добавками.

**Таблица 4.** Пластометрические показатели коксов из шихт с добавками

Шихта	Твердый остаток, %	Толщина пластического слоя $u$ , мм	Пластометрическая усадка $x$ , мм
Жв:Га,50:50	72,30	13	31
Жв:Га,50:50 +5%ДАК	69,20	15,5	37
Жв:Га,50:50 +5%пека	72,60	15,5	33
Жв:Га,50:50 +5%ППС	69,90	10	52
Жв:Га,50:50 +1%ППС	71,73	14,5	34
Жв:Га,50:50 +5%ПЭТФ	71,30	11,5	36
Жв:Га,50:50 +5%фенола	69,7	14	39

**Таблица 5.** Показатели прочности и сернистости коксов

Кокс из шихт	Индекс прочности $P$ , Дж/дм <sup>2</sup>	Истираемость $I$ , %	Сопротивление дроблению $R$ , %	Общая сера $S_t^d$ , %
Жв:Га,50:50	67,3*	21,0	52,5	1,59
Жв:Га,50:50 +5%ДАК	66,8*	20,6	52,9	1,32
Жв:Га,50:50 +5%пека	72,6	19,4	56,1	1,38
Жв:Га,50:50 +5%ППС	64,5*	24,9	46,7	1,38
Жв:Га,50:50 +1%ППС	82,1	20,5	56,9	1,61
Жв:Га,50:50 +5%ПЭТФ	69,2*	22,6	50,4	1,61
Жв:Га,50:50 +5%фенола	69,6*	20,5	53,4	1,73

\*в случае малопрочного кокса индекс  $P$  может оказаться искаженным

Из таблиц видно, что выбранные добавки оказывают различное влияние, как на пластометрические, так и на прочностные характеристики получаемых коксов.

Из таблицы 4 видно, что такие добавки, как ДАК, ППС и фенолы приводят к снижению выхода твердого остатка – кокса. Однако при добавлении всего 1% ППС и при использовании ПЭТФ наблюдается минимальное снижение выхода кокса. Добавление же каменноугольного пека приводит к увеличению выхода твердого остатка.

По влиянию на толщину пластического слоя можно выделить такие добавки как ДАК, пек, 1% ППС и фенолы, добавление которых привело к увеличению  $u$  до 14–15,5 мм, что

уже достаточно для промышленного коксования. Применение 5% ППС и ПЭТФ приводит к снижению толщины пластического слоя.

Исходя из прочностных показателей, представленных в таблице 5, можно сделать следующие выводы:

- применение 5% ППС приводит к снижению прочностных показателей;
- использование в качестве добавок ДАК и фенолов приводит к незначительному приросту прочностных показателей кокса;
- добавка пека и 1% ППС приводят к значительному росту прочностных показателей кокса относительно исходной шихты, значение которых сопоставимо с показателями для модельной шихты.

По изменению содержания общей серы в коксах можно сделать следующие выводы: добавки ДАК, каменноугольного пека и 5% ППС приводят к значительному обессериванию кокса. Величина  $S_t^d$  снижается от 1,59% в коксе без добавок до 1,32–1,38%. В то же время добавки 1% ППС и 5% ПЭТФ практически не влияют на сернистость, а добавка фенолов приводит к ее увеличению.

Наблюдаемое низкое значение всех пластометрических и прочностных показателей для шихт с 5% ППС и 5% ПЭТФ, и наблюдаемое значительное улучшение показателей для шихт с добавлением 1% ППС прекрасно согласуется с литературными данными. Так, авторами работы [24] было установлено, что повышение содержания полистирола и полиэтилентерефталата в шихте более 3–4% приводит к резкому снижению прочности кокса.

Обобщая вышеизложенное, можно сделать вывод, что добавки ПЭТФ и фенолы в целом не показали положительных результатов. Это объясняется наличием гетероатомов кислорода, способных к реакциям гетерополиконденсации, которые приводят к образованию 3-х мерных сетчатых структур, ингибирующих образование мезофазы.

Влияние ППС двояко, при добавлении 5% ППС происходит заметное обессеривание кокса, но снижается его прочность. С другой стороны, добавление 1% ППС приводит к значительному улучшению всех показателей, но при этом не наблюдается эффекта обессеривания.

Добавка каменноугольного пека приводит к увеличению толщины пластического слоя до рекомендованных величин для коксования, способствует улучшению всех прочностных показателей кокса до величин сопоставимых с показателями для

модельной шихты, способствует обессериванию кокса.

Можно предположить, что действие пека и ППС связано с наличием в них ароматических ядер с малым числом заместителей, которые легко превращаются в совместимые с мезофазой плоские фрагменты, способные к самопроизвольной взаимной ориентации.

Добавка ДАК приводит к значительному обессериванию шихты, увеличивает пластометрические показатели, а именно у, до рекомендованных величин для коксования, и показывает тенденцию к улучшению прочностных показателей. По-видимому, термический распад нестойкого инициатора радикальной полимеризации уже при низких температурах дает расширяющий эффект (за счет выделения азота) и приводит к образованию радикалов, вызывающих радикальную полимеризацию (сополимеризацию), что способствует образованию мезофазы.

Результаты элементного и технического анализов коксов представлены в таблице 6.

Из таблицы видно, что замена слабевосстановленного угля марки Ж из модельной шихты на восстановленный приводит к росту содержания серы и снижению содержания водорода в коксе. Для шихт с соотношением компонентов 50:50 видно, что введение добавок значительно снижает выход летучих веществ из кокса, увеличивает содержание углерода и снижает содержание водорода. Это говорит о том, что добавки способствуют более полному протеканию процесса термодеструкции и обуглероживания твердого остатка, что повышает качество кокса.

Для эффективной работы доменных печей металлургический кокс должен иметь высокие прочностные свойства и низкую реакционную способность.

Таблица 6. Элементный и технический анализ коксов

Кокс из шихт	Содержание, %					
	$W^A$	$A^D$	$V^{daf}$	$S_t^d$	$C^{daf}$	$H^{daf}$
Жа:Га 70/30	2,9	4,3	2,5	0,81	96,53	2,20
Жв:Га 70/30	2,4	4,6	2,2	1,76	96,40	2,05
Жв:Га 50/50	3,0	4,6	5,0	1,59	95,77	2,56
Жв:Га 50/50 +5% ДАК	3,2	5,1	2,1	1,32	96,21	1,96
Жв:Га 50/50 + 5% пека	2,1	4,7	1,61	1,38	96,55	1,70
Жв:Га 50/50 +5% ППС	3,5	4,8	2,0	1,38	96,53	1,55
Жв:Га 50/50 +1% ППС	2,3	5,0	1,4	1,61	96,82	1,34
Жв:Га 50/50 + 5% ПЭТФ	3,9	4,5	2,2	1,61	96,55	1,88
Жв:Га 50/50 +5% фенол.	2,9	5,3	2,2	1,73	96,92	1,62

В мировой практике качество доменного кокса оценивают по величине индекса реакционной способности кокса (CRI) и прочности остатка кокса после реакции (CSR), которые являются ключевыми для регулирования состава угольной шихты, теплового, газодинамического и дренажного режимов доменной плавки.

Авторами работы [25] предложены зависимости, позволяющие достаточно точно прогнозировать показатели CRI и CSR.

Для шихт с преобладающей долей донецких углей и соответственно  $S_t^d \geq 1$  для расчета CRI рекомендовано использовать формулу 1:

$$CRI = 14,18 + 12,39S_t^d + 0,376 \cdot V^{daf}, \quad (1)$$

Показатель CSR рассчитывают по обобщенному уравнению 2:

$$CSR = 94,23 - 1,275 \cdot CRI, \quad (2)$$

Рассчитанные значения показателей CRI и CSR по формулам 1 и 2 по данным элементного анализа приведены в таблице 7.

Таблица 7. Показатели индекса реакционной способности и прочности кокса после реакции

Кокс из шихты	CRI, %	CSR, %
Жа:Га, 70:30	25,2	62,2
Жв:Га, 70:30	36,8	47,3
Жв:Га, 50:50	35,8	48,6
Жв:Га, 50:50 + 5% ДАК	31,3	54,3
Жв:Га, 50:50 + 5% пека	31,9	53,6
Жв:Га, 50:50 + 5% ППС	32,0	53,4
Жв:Га, 50:50 + 1% ППС	34,7	50,0
Жв:Га, 50:50 + 5% ПЭТФ	34,9	49,7
Жв:Га, 50:50 + 5% фенола	36,4	47,8

Из таблицы видно, что показатели CRI и CSR для модельной шихты имеют хорошие значения. Замена слабовосстановленного угля на восстановленный в этой шихте приводит к резкому ухудшению показателей. Влияние добавок на показатели CRI и CSR различно. Так использование в качестве добавок ДАК, каменноугольного пека и ППС приводит к улучшению показателей относительно ис-

ходной шихты без добавок. В случае с ДАК значение CRI составляет 31,3% в сравнении с исходной шихтой с 35,8%, а значение CSR возрастает до 54,3% в сравнении с исходными 48,6%. Добавление пека приводит к снижению CRI до 31,9%, а CSR растет до 53,6%.

### Выводы

1. Показана возможность использования высокосернистого жир-



ного угля в качестве одного из компонентов коксовой шихты, который совместно с малосернистым газовым углем в количестве до 50 % позволяет сохранить высокую спекающую способность шихты.

2. Применение спекающих добавок к шихтам с высокой долей слабо спекающихся компонентов позволяет компенсировать снижение механической прочности кокса, а так же увеличивает количество ЖНП, что приводит к лучшему спеканию компонентов.

3. Значимым эффектом применения добавок является наблюдаемый процесс обессеривания коксов

при использовании ДАК, пека и пенополистирола.

4. Максимальная эффективность действия ДАК доказывает радикальный механизм процесса перехода углей в пластическое состояние.

5. Использование отходов коксохимических заводов и отходов пластмасс в обедненных угольных шихтах позволяет не только расширить сырьевую базу коксования, но и решает проблему их утилизации и улучшения экологической обстановки окружающей среды.

### Список использованной литературы

1. Комплексная переработка углей и повышение эффективности их использования. Каталог-справочник / Под ред. В.М. Щадова / Сост. Г.С. Головин, А.С. Малолетнев. — М.: НТК «Трек», 2007. — 292 с.
2. Диденко В.Е. Технология приготовления угольных шихт для коксования / В.Е. Диденко. — К.: Вища школа. Головне видавництво, 1989. — 288 с.
3. Скляр М.Г. Современные проблемы коксования / М.Г. Скляр // Кокс и химия. — 1998 — № 5. — С. 11–17.
4. Тютюнников Ю.Б. Органические добавки в производстве кокса / Ю.Б. Тютюнников, Л.Г. Синцерова, Ю.И. Гречко и др. — К.: Техника, 1971. — 93 с.
5. Бычев А.С. Органические добавки и технологические свойства углей / А.С. Бычев // Кокс и химия. — 1985. — № 10. — С. 5–9.
6. Ольферт А.И. Спекающая способность мезогенных углеводородных веществ / А.И. Ольферт, Ю.А. Фесенко // Кокс и химия. — 1986. — № 12. — С. 11–15.
7. Ольферт А.И. Мезогенные нефтяные продукты в качестве спекающего компонента угольных композиций / А.И. Ольферт // Кокс и химия. — 1986. — № 3. — С. 7–12.
8. Ольферт А.И. Влияние углеводородных веществ на выход и свойства продуктов термической деструкции спекающихся углей / А.И. Ольферт // Кокс и химия. — 1986. — № 11. — С. 9–13.
9. Ольферт А.И. Микроструктура и свойства кокса / А.И. Ольферт // Кокс и химия. — 1984. — № 4. — С. 21–26.
10. Мельничук А.Ю. Исследование отходов коксохимического производства с целью использования их при коксовании углей / А.Ю. Мельничук, Н.В. Маркитан, Е.А. Войтковская // Кокс и химия. — 1986. — № 3. — С. 14–16.
11. Улановский М.Л. Использование спекающих добавок в шихте для коксования / М.Л. Улановский, Э.А. Штейнберг, И.Т. Селянко. Ин-т «Черметинформация». — М., 1987 (Обзор. информ.) Сер. Коксохимическое производство. — Вып. 2. — 24 с.
12. Swietlik U. Modification of coking behaviour of coal blends by plasticizing additives / U. Swietlik, G. Gryglewicz, H. Machnikowska, J. Machnikowski // Journal of Analytical and Applied Pyrolysis. — 1999. — № 52. — P. 15–31.
13. Fernandez A.M. Evaluation of bituminous wastes as coal fluidity enhancers / A.M. Fernandez, C. Barriocanal, M.A. Diez, R. Alvarez // Fuel. — 2010. — V. 89. — № 11. — P. 3388–3393.
14. Fernandez A.M. Influence of additives of various origins on thermoplastic properties of coal / A.M. Fernandez, C. Barriocanal, M.A. Diez, R. Alvarez // Fuel. - 2009. - V.88. - № 12. - P. 2365–2372.
15. Картин Ю.С. Использование каменноугольных пеков в качестве компонентов угольных шихт / Ю.С. Картин, М.Л. Улановский, Ю.В. Дьяченко // Кокс и химия. — 1986. — № 3. — С. 26–31.
16. Климовицкая А.Б. Угольные шихты для коксования и добавки к ним / А.Б. Климовицкая // Кокс и химия. — 1989. — № 6. — С. 9–11.

17. Русчев Д.Д. Органические добавки к угольным шихтам для повышения их насыпной плотности и улучшения качества кокса / Д.Д. Русчев, Г.К. Шопов, В.Р. Петрински // Кокс и химия. — 1988. — №7. — С. 24–26.
18. Kato K. Development of waste plastics recycling process using coke oven / K. Kato, K. Fukuda, H. Kondoh // Nippon Steel Technical Report. — 2006. — № 94. — P. 75–79.
19. Глущенко И.М. Улучшение качества кокса путем использования в шихте мезогенных спекающих добавок / И.М. Глущенко, В.Ж. Цвениашвили, А.И. Ольферт, Л.С. Наумов // Кокс и химия. — 1987. — №11. — С. 39–41.
20. Diez M.A. Feedstock recycling of plastic wastes/oil mixtures in cokemaking / M.A. Diez, R. Alvarez, S. Melendi, C. Barriocanal // Fuel. — 2009. — V. 88, № 10. — P. 1937–1944.
21. Melendi S. Relevance of the composition of municipal plastic wastes for metallurgical coke production / S. Melendi, M.A. Diez, R. Alvarez, C. Barriocanal // Fuel. — 2011. — V.90, № 4. — P. 1431–1438.
22. Melendi S. Plastic wastes, lube oils and carbochemical products as secondary feedstocks for blast-furnace coke production / S. Melendi, M.A. Diez, R. Alvarez, C. Barriocanal // Fuel Processing Technology. — 2011. — V. 92. — № 3. — P. 471–478.
23. Бутузова Л.Ф. Возможности использования нетрадиционных шихт при коксовании углей Донбасса / Л.Ф. Бутузова, Р.В. Маковский // Сб. трудов XIX международной научно-практической конференции «Казантип-Эко-2011». — Щелкино, 2011. — С. 248–253.
24. Zhou M. Estimate research on co-carbonization of blend coal with waste plastics / M. Zhou, L. Cai-hong, M. Lei // Procedia Earth and Planetary Science. — 2009. — № 1. — P. 807–813.
25. Улановский М.Л. Сера углей и ее влияние на качество и расход кокса в доменной печи / М.Л. Улановский, Д.В. Мирошниченко // Кокс и химия. — 2008. — № 2. — С. 24–30.

Надійшла до редколегії 30.01.2012

© Бутузова Л.Ф., Маковский Р.В.,  
Ветров И.В., Бутузов Г.Н., 2012

УДК 552.574

**Л.Ф. Бутузова, Р.В. Маковский, В.О. Кулакова, И.В. Ветров** (Донецкий национальный технический университет)

### **ВОЗМОЖНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССАМИ ТЕРМИЧЕСКОЙ ДЕСТРУКЦИИ НЕТРАДИЦИОННЫХ УГОЛЬНЫХ ШИХТ ДОНБАССА ПУТЕМ ВВЕДЕНИЯ ДОБАВОК ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ**

*Впервые проведено систематическое комплексное изучение процессов термической и термохимической переработки шихт на основе сернистых углей Донбасса в условиях стандартного метода полукоксования. Изучено влияние химических добавок на выход и состав твердых, жидких и газообразных продуктов. Показаны возможности управления процессом термодеструкции шихт из разновосстановленных углей путем их предварительной химической обработки.*

**Ключевые слова:** нетрадиционные шихты, сернистые угли, органические добавки, термохимическая деструкция.

*Вперше проведено систематичне комплексне вивчення процесів термічної і термохімічної переробки шихт на основі сірчистого вугілля Донбасу в умовах стандартного методу напівкоксування. Вивчено вплив хімічних добавок на вихід і склад твердих, рідких та газоподібних продуктів. Виявлено можливості керування процесом термодеструкції шихт р різновідновленого вугілля шляхом їх попередньої хімічної обробки.*

**Ключові слова:** нетрадиційні шихти, сірчисте вугілля, органічні добавки, термохімічна деструкція.

Угольная сырьевая база Украины характеризуется дефицитом хорошо спекающихся углей и преобладанием сернистых углей, не пригодных для коксования. В то же время эти низкокачественные

топлива (НКТ) могут быть сырьем для низкотемпературной переработки – полукоксования. Этот метод является промышленным процессом переработки твердых горючих ископаемых, который направлен на