

УДК 550.834

**ПОЛУЧЕНИЕ ТОПЛИВНЫХ БРИКЕТОВ  
ИЗ ТОНКОДИСПЕРСНЫХ ОТХОДОВ УГЛЕДОБЫЧИ И УГЛЕПЕРЕРАБОТКИ**

**А. В. Папин, А. Ю. Игнатова, А. В. Неведров, Т. Г. Черкасова**

*Кузбасский государственный технический университет им. Т. Ф. Горбачева,  
E-mail: papinandrev@rambler.ru, ул. Весенняя, 28, 650000, г. Кемерово, Россия*

Рассмотрены аспекты брикетирования топлива из отходов угледобычи и углепереработки. Представлена комплексная технология переработки угольной и коксовой пыли, включающая обогащение исходных компонентов методом масляной агломерации, получение топливных брикетов со связующим. Проведен выбор оптимального связующего, в качестве которого использованы фусы коксования. Исследовано влияние вида прессования и содержания разных типов связующих на прочностные характеристики топливных брикетов. Приведены качественные характеристики концентрата из обогащенной угольной и коксовой пыли и изготовленных на его основе топливных брикетов.

*Отходы угледобычи и углепереработки, брикетирование, топливные брикеты, угольная пыль, коксовая пыль, обогащение, масляная агломерация, фусы коксования*

Актуальность работы обусловлена необходимостью утилизации тонкодисперсных отходов, образующихся в процессах добычи и переработки угля и получения нетрадиционных видов топлива. Многие виды твердых органических веществ можно использовать как энергоносители. Важнейшим из них является уголь, запасы которого на земле весьма велики. При этом при добыче, транспортировке, обогащении, складировании и переработке угля образуется большое количество всевозможных, обычно мелких, мало востребованных продуктов (отсевы, просыпи, шламы и т. п.), которые почти не используются и существенно загрязняют окружающую среду. В настоящее время накоплены огромные запасы таких промышленных продуктов, которые по содержанию горючей составляющей не уступают, а иногда и превосходят исходные добываемые угли.

Возможны различные способы использования таких продуктов в качестве энергоносителей (сжигание в кипящем слое, получение водно-угольного топлива, жидкого топлива и т. п.). Но самым простым, доступным и технически изученным методом использования мало востребованных продуктов угледобычи и углепереработки является их брикетирование. Решению проблемы переработки и брикетирования угольной мелочи посвящены многочисленные исследования, сформировались определенные теоретические направления, изложенные в работах [1 – 5].

При сжигании угольных брикетов по сравнению с рядовым углем повышается на 25 – 35 % КПД топочных устройств, снижаются на 15 – 20 % выбросы сернистого газа, более чем в 2 раза — выбросы твердых веществ с дымовыми газами, на 15 – 20 % — недожог горючих компонентов. Учитывая эти факторы, становится очевидным перспективность перевода котельных с угольно-

го топлива на топливные брикеты, при этом существенное изменение конструкций топок не потребуется [6]. Освоение производства топливных брикетов в значительной мере повышает эффективность использования топлива за счет ресурсосбережения.

В [7] приводится сравнительная характеристика видов топлива в зависимости от крупности и коэффициента полезного использования тепла, %:

Рядовой уголь, содержащий мелочь	46.7
Сортовой уголь >13 мм	62.5
Брикеты, термобрикеты	75.0

Существуют два способа брикетирования углей: без связующих веществ при повышенном давлении прессования (свыше 800 кПа) и с добавкой связующего вещества при малых давлениях прессования (150–250 кПа). По первому способу брикетируются мягкие бурые угли и торф, по второму — мелочь каменных и твердых бурых углей, антрацитовый штыб и коксовая мелочь [1].

Перспективность сырья для производства полноценного бытового топлива методом брикетирования оценивается прежде всего по показателям качества (теплота сгорания, зольность, гранулометрический состав и др.) и минеральному составу. Не менее важной является экологическая оценка качества сырья и продуктов его сжигания. Всестороннее качественное изучение составляющих брикета (шихты, связующего) позволит выявить эффективность их переработки в том или ином направлении [5].

Прессование углеродистых материалов со связующими сопровождается двумя операциями [8]: формованием (получением брикетов определенной формы и размеров) и собственно прессованием — уплотнением массы и склеиванием ее зерен под действием внешнего усилия. Связующие обеспечивают пластическую деформацию брикетной массы и несут функцию клеящего вещества.

Пластичность обеспечивается внутренним строением связующего, его когезионными свойствами, трением зерен углеродистых наполнителей.

Компрессионные свойства массы и качество полученных брикетов (в первую очередь, их механическая прочность) зависят от вида и расхода связующего, температуры и давления прессования, гранулометрического состава, формы зерен и адсорбционных свойств наполнителя [9, 10].

Образование брикета со связующим происходит в результате сцепления частиц связующим веществом. Процесс брикетирования состоит из трех стадий: 1) адсорбции связующего вещества брикетируемым материалом и образования на поверхности частиц тонкой пленки связующего; 2) прессования шихты; 3) затвердевания брикета при охлаждении [11].

Прочность брикета зависит от силы сцепления пленки связующего после затвердевания с поверхностью материала (силы адгезии или прилипания) и прочности самой пленки (силы когезии). Прочность сцепления частиц зависит от свойств связующего и брикетируемого материала, его крупности, ситового состава, влажности, давления прессования, количества связующего и равномерности распределения его в массе шихты. С уменьшением крупности частиц прочность сцепления их в брикете возрастает.

При избытке в угле влаги затрудняется прилипание связующего к поверхности частиц и прочность брикетов снижается. При очень сухом угле смачиваемость поверхности частиц ухудшается и его расход увеличивается. Оптимальная влажность, соответствующая наименьшему расходу связующего, определяется опытным путем. Для каменноугольной мелочи она составляет 2–4% и значительно повышается для бурых углей (до 20%) в зависимости от их пористости.

В данной работе рассматривается вопрос получения топливных брикетов из тонкодисперсных отходов угледобычи и углепереработки, таких как угольная и коксовая пыль.

Проблема утилизации тонкодисперсных отходов, в частности коксовой пыли на коксохимических предприятиях, является актуальной. Объемы образования коксовой пыли достаточно велики, в среднем на одном коксохимическом предприятии в год образуется около 18–20 тыс. т коксовой пыли. Если учитывать, что в России насчитывается 12 коксохимических производств, то эти объемы весьма значительны [12].

Коксовая пыль практически не находит применения из-за тонкодисперсного состояния и высокой зольности, сложности с разгрузкой и транспортировкой. Угольная пыль состоит из частиц размером до 300 мкм с преобладанием мелкой фракции. Больше всего в угольной пыли частиц размером 20–50 мкм. Пылинки имеют неправильную форму, которая зависит главным образом от рода топлива.

Угольная пыль образуется при добыче и транспортировке угля. Основная проблема на пути переработки этих отходов — высокая зольность исходного сырья, отсутствие научно обоснованных рекомендаций и процессов физико-химического воздействия на исходный уголь с учетом его свойств.

Согласно литературным данным [13, 14], оптимальной для утилизации коксовой пыли является технология брикетирования. Основные аспекты окускования коксовой пыли следует рассматривать со следующих точек зрения: экологическая оценка сырья и его влияние на выбросы вредных веществ при сжигании; оценка экологичности, в частности степени канцерогенности связующих материалов, и влияния состава угольных брикетов на выбросы вредных веществ при сжигании; экологическая оценка технологии производства окускованного топлива.

Цель данного исследования — разработка оптимальной технологии утилизации угольной пыли и коксовой пыли в виде топливных брикетов повышенной прочности, с низкой зольностью и сернистостью, приемлемых для коксования или использования в качестве топлива для сжигания в бытовых и промышленных топках.

Для разработанных брикетных составов определены следующие основные характеристики: прочность при сжатии, зольность, выход летучих веществ, общее содержание серы, водопоглощение, массовая доля влаги, высшая и низшая теплоты сгорания, прочность брикетов и др.

Качество изготавливаемых брикетов оценивали по стандартным методикам: оценка механической прочности на истираемость в малом барабане — по ГОСТ 9521-74 со скоростью вращения 50 об/мин в течение 120 с (содержание кусков > 25 мм должно быть более 80 % мас.) [15]; прочность на сбрасывание по методу ВУХИН — 2 раза сбрасывается с высоты 1.8 м на металлическую плиту (содержание кусков > 25 мм должно быть более 80 % мас.); испытание на точечное сжатие (кгс/брикет) под нагрузкой, при которой наступает разрушение структуры изготовленного брикета.

Термическая прочность определялась в электропечи при непрерывном изотермическом нагреве в течение 3–5 мин. Суть метода испытания термической прочности состоит в определении изменения величины сопротивления брикетов раздавливающей нагрузке во время горения в электропечи в атмосфере воздуха при температуре 900° С. Такое испытание характеризует поведение брикета в нижнем слое в доменной печи. Это одна из важнейших характеристик, которой должен отвечать брикет, в противном случае его теплотворная способность значительно ухудшится.

Термическую стойкость брикетов определяли в муфельной печи при температуре 900° С по ГОСТ 7714-75 [16] и по методу, разработанному в Институте обогащения твердого топлива, водостойкость брикетов — по ГОСТ 8858-76 [17] (испытания проводилось через 2 и 24 ч), теплотворную способность — по ГОСТ 147-95 [18], содержание серы в брикетах и брикетной шихте — по ГОСТ 2059-95 [19], отбор проб для исследований — по ГОСТ 10742-71 [20], количество массовой доли влаги в брикетах — по ГОСТ 11014-10981 [21], выход летучих веществ — по ГОСТ 6382-2001 [22], зольность — по ГОСТ 11022-95 [23].

Основные недостатки разработанных в настоящее время различных способов брикетирования каменных углей и антрацитов, коксовой мелочи, а также составов для брикетирования — высокое давление прессования, что энергетически невыгодно, и использование дорогостоящих связующих компонентов.

Известен состав топливных брикетов, включающий в качестве углеродсодержащего компонента канско-ачинский уголь, полукокс канско-ачинского угля, шаргуньский, липто-биолитовый угли, металлургический кокс; в качестве связующего — лигносульфонат, мелассу, поливиниловый спирт; для повышения влагостойкости введен портландцемент [24]. Недостатком данной композиции является высокое водопоглощение — 10.5–12.7 %. Добавка цемента снижает калорийность брикетов, повышая их зольность. Цемент — достаточно дорогостоящий компонент, так как представляет собой продукт заводского изготовления.

В [25] описывается топливный брикет, который содержит в своем составе следующие компоненты: углеводород, шламы (осадки мазута), отработанные масла и их осадки, осадки нефти и дисперсные углеводородные отходы — торфяную и угольную крошку, древесную муку, опилки. Недостаток состава — использование дисперсного алюмосиликата извести и воды, которые являются балластом при горении, их содержание в сумме составляет не менее 25 % мас. Это снижает теплотворную способность брикетированного топлива на ~25 % и увеличивает массу зольного остатка. Кроме того, состав содержит пироксид Na, который при контакте с органическими веществами быстро разлагается и через определенный срок превращается в NaOH, повышает содержание воды.

Разработан коксовый брикет [26], содержащий некондиционный кокс со связующим в виде цемента. В качестве некондиционного кокса используется коксовая мелочь фракции 0–10 мм и/или коксовый орех фракции 10–25 мм определенных сортов. Компоненты брикетов добавляются в следующем соотношении, % мас.: коксовая мелочь и/или коксовый орех 60–95, связующее 5–40. Недостатки данного брикета — высокая стоимость шихтовых материалов и, как следствие, увеличение себестоимости чугуна, низкое содержание полезных компонентов ввиду высокого содержания связующего в брикете и высокий расход связующего.

Вопросы брикетирования угольных отходов рассмотрены в работах [27–32]. Однако следует отметить, что существующие технологии брикетирования каменных углей и антрацитов не предназначены для использования в качестве исходного сырья коксовой пыли и угольной пыли (класс крупности 0–1.0 мм), образующихся при добыче и переработке каменных углей. Возможности использования коксовой пыли как компонента угольной шихты рассмотрены в [33]. В данной работе проводились исследования по обогащению угольной и коксовой пыли методом масляной агломерации и получению на основе концентратов топливных брикетов. Для приготовления топливного брикета коксовую пыль с исходной зольностью 12–16.8 % мас., сернистостью 0.2–0.3 % мас. и угольную пыль с исходной зольностью 18–30 % мас., сернистостью 0.4–0.5 % мас., с размерами частиц менее 1 мм смешивали в соотношении 1 : 1. Такая смесь коксовой и угольной пыли позволяет достичь приемлемой теплоты сгорания готовых топливных брикетов, так как коксовая пыль — высококалорийный отход и добавление угольной пыли снижает теплоту сгорания топливных брикетов, что позволит использовать их в бытовых топках без изменения конструкции.

Полученную смесь коксовой и угольной пыли обогащали методом масляной агломерации. В качестве реагента использовали отработанное эксгаустерное масло. Метод масляной агломерации имеет ряд преимуществ перед другими методами [34, 35]: высокую селективность процесса при небольших затратах связующего реагента, широкий диапазон зольности обогащаемого угля, практически полное извлечение (более 85 %) органической части, простоту в аппаратном и технологическом исполнении, время обогащения зависит от мощности установки (от 25 мин), получаемое топливо при сгорании практически не выделяет в атмосферу вредных веществ. Возможно дальнейшее использование технологической воды (повторно, после очистки) и “хвостов” (в качестве добавки к строительным материалам).

На выходе с установки для обогащения получали концентрат из коксовой и угольной пыли со следующими характеристиками: зольность  $A^d = 5.0-5.5\%$ , влажность  $W^a = 8.0-10.5\%$ , выход летучих веществ  $V^{daf} = 12-20\%$ , теплота сгорания  $Q_s^r = 8550-8600$  ккал/кг, сернистость  $S_t^d = 0.2-0.3\%$ .

Полученный концентрат коксовой и угольной пыли смешивали с нагретыми до  $50-60^\circ\text{C}$  фусами коксования в массовом соотношении  $9:1-9.2:0.8$ , перемешивали с помощью смесительной машины до тех пор, пока связующий компонент не распределялся равномерно по всему объему концентрата, затем загружали в пресс-форму. Полученную смесь прессовали в штемпельном прессе ступенчато: сначала устанавливали нагрузку  $5-6$  атм с выдержкой  $3-5$  мин и далее до  $15$  атм с выдержкой при максимальной нагрузке  $3-5$  мин. При ступенчатом прессовании достигается оптимальное взаимодействие компонентов в смеси с образованием структуры топливного брикета [36]. Изучена зависимость прочности (содержания кусков размером более  $25$  мм) топливного брикета от вида прессования (рис. 1). Наиболее прочные брикеты получаются при использовании ступенчатого прессования. Кроме фусов коксования исследовались в качестве связующего вторполимеры, парафин, битум.

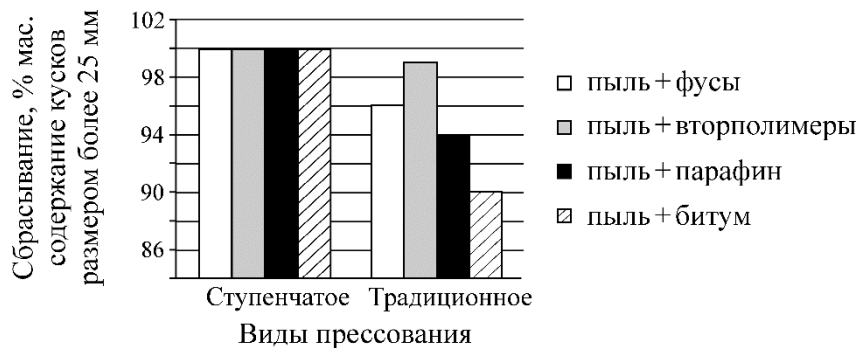


Рис. 1. Зависимость прочности на сбрасывание от вида прессования

Выбор в качестве связующего фусов коксования обусловлен их доступностью, так как фусы являются отходами коксохимического производства. Они представлены на  $50\%$  смолами тяжелых фракций и твердых углеродистых включений. Фусы коксования и коксовая пыль могут быть использованы непосредственно на коксохимических предприятиях. Расход связующего (фусов коксования) определяет прочность топливного брикета. Зависимость прочности брикетов от содержания связующего показана на рис. 2а, истираемости — на рис. 2б.

Исследованиями установлено, что оптимальное содержание связующего составляет  $8\%$  от массы брикетируемой смеси. Более перспективным связующим являются фусы коксования ввиду низких затрат на их применение в технологии.

Технические характеристики полученных топливных брикетов представлены в табл. 2.

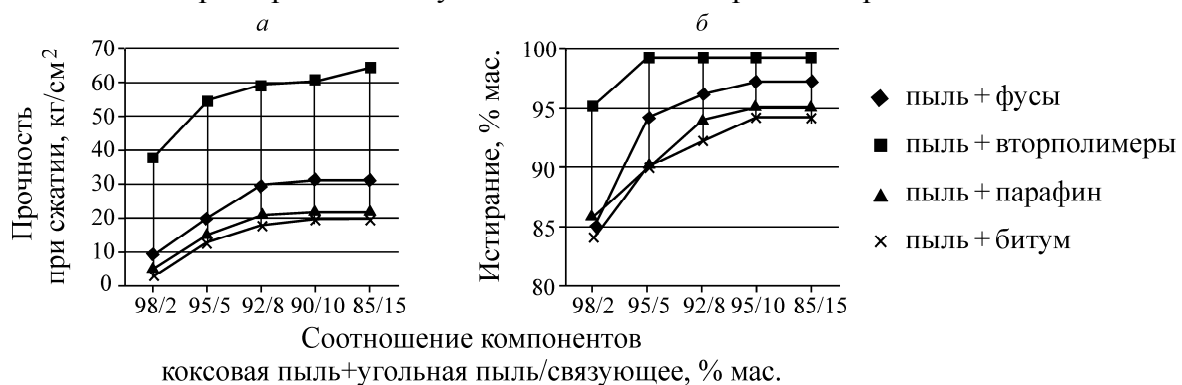


Рис. 2. Зависимость от содержания связующего: а — прочности брикетов; б — истираемости брикетов

ТАБЛИЦА 2. Сравнительная техническая характеристика полученных топливных брикетов и прессованной коксовой пыли без добавления связующего

Образец	Физические испытания			Топливные характеристики		
	сжатие, кг/см <sup>2</sup>	истирание	сбрасывание	$A^d$ , % мас.	$Q_s^r$ , ккал/кг	$S_t^d$ , % мас.
		процентное содержание кусков размером > 25 мм				
Прессованная коксовая пыль	50 – 60	42 – 54	55 – 62	12.0 – 16.8	8900 – 9250	0.04 – 0.05
Топливные брикеты	60 – 90	90 – 96	90 – 96	5.0 – 5.5	8550 – 8600	0.25 – 0.3

## ВЫВОДЫ

Рекомендуемый состав компонентов позволяет формировать прочные брикеты с низкой себестоимостью, зольностью и сернистостью из мелкодисперсных отходов (коксовой и угольной пыли), а также попутно утилизировать еще один вид отходов — фусы коксования.

Топливные брикеты хорошо горят, выделяя большое количество тепла, поэтому могут использоваться в качестве горючего вещества для бытовых и производственных целей. Утилизация производственных отходов позволит улучшить экологическую обстановку в углеперерабатывающих регионах.

Полученные брикеты могут быть использованы в качестве топлива для сжигания в бытовых и промышленных топках, а также для коксования в коксохимической и металлургической промышленности.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Крохин В. Н. Брикетирование углей. — М.: Недра, 1974.
2. Хотунцев Л. Л. Физико-химические явления в процессах брикетирования твердого топлива. — М.: Изд-во АН СССР, 1960.
3. Тайц Е. А., Андреева И. А., Антонова Л. И. Окускование топлива и адсорбенты на основе бурых углей. — М.: Недра, 1985.
4. Елишевич А. Т. Брикетирование полезных ископаемых. — Одесса: Лыбидь, 1990.
5. Пахалок И. Ф., Болдырев В. А. Брикетирование углей. — М.: Углетехиздат, 1952.
6. Шувалов Ю. В., Тарасов Ю. Д., Никулин А. Н. Обоснование рациональных технологий получения топливно-энергетического сырья на основе твердых горючих углесодержащих отходов // Нефтехимия. — 2011. — № 2.
7. Николаева Л. А. Брикетирование бурого угля с использованием модифицированного гудрона: автореф. дис. ... канд. техн. наук. — Якутск, 2011.
8. Лобыч А. М. Брикетирование коксовой мелочи со связующими и коксование частично брикетированных шихт в производстве металлургического кокса: автореф. дис. ... канд. техн. наук. — Уфа, 2000.
9. Белик Т. М. Исследование в области получения и применения брикетных связующих веществ нефтяного происхождения: автореф. дис. ... канд. техн. наук. — Свердловск, 1965.
10. Елишевич Т. А. Исследования механизма структурообразования в процессе брикетирования // Химия твердого топлива. — 1978. — № 6.
11. Зорин А.С. Брикетирование бурых углей с использованием связующей коксо-асфальтовой композиции: автореф. дис. ... канд. техн. наук. — Уфа, 1998.
12. Химическая технология горючих ископаемых / под ред. Г. Н. Макарова, Г.Д. Харламповича. — М.: Химия, 1986.

13. Шувалов Ю. В., Нифонтов Ю. А., Никулин А. Н. Брикетирование нетрадиционных видов топлива // ГИАБ. — 2005. — № 9.
14. Расширение сырьевой базы коксования, Technocral, 1981, Bd. 14, № 8, Cluckauf, 1981, Bd. 117, № 18.
15. ГОСТ 9521-74. Угли каменные. Метод определения коксуемости. — М.: Изд-во стандартов, 1974.
16. ГОСТ 7714-75. Угли каменные и антрацит. Метод определения термической стойкости. — М.: Изд-во стандартов, 1975.
17. ГОСТ 8858-76. Угли бурые, каменные и антрацит. Методы определения максимальной влагоемкости. — М.: Изд-во стандартов, 1976.
18. ГОСТ 147-95. Определение высшей теплоты сгорания и вычисление низшей теплоты сгорания. — М.: Изд-во стандартов, 1995.
19. ГОСТ 2059-95. Топливо твердое минеральное. Метод определения общей серы сжиганием при высокой температуре. — М.: Изд-во стандартов, 1995.
20. ГОСТ 10742-71. Угли бурые, каменные, антрацит, горючие сланцы и угольные брикеты. Методы отбора и подготовки проб для лабораторных испытаний. — М.: Изд-во стандартов, 1972.
21. ГОСТ 11014-1981. Угли бурые, каменные, антрацит и горючие сланцы. Ускоренный метод определения влаги. — М.: Изд-во стандартов, 1981.
22. ГОСТ 6382-2001. Топливо твердое минеральное. Методы определения выхода летучих веществ. — М.: Изд-во стандартов, 2001.
23. ГОСТ 11022-95. Топливо твердое минеральное. Методы определения зольности. — М.: Изд-во стандартов, 1995.
24. Воробьев В. Н., Лещенко П. С., Климова Л. К. и др. Экологически чистые связующие для получения бытового топлива из углей мелких классов // Химия твердого топлива. — 1997. — № 2.
25. Пат. № 2132360 РФ. Состав для брикетированного топлива / В. М. Кнатько, М. В. Кнатько, Г. С. Казаров // Оpubл. в БИ. — 1999. — № 15.
26. Пат. № 2266314 РФ. Способ восстановления ситового состава и коксовый брикет, полученный данным способом / А. В. Сафонов, Е. В. Чуксин // Оpubл. в БИ. — 2005. — № 35.
27. Буравчук Н. И., Гурьянова О. В. Получение топливных брикетов из мелких фракций антрацитов // Химия твердого топлива. — 2014. — № 4.
28. Наумов К. И. Малолетнева А. С., Мазнева О. А. Перспективные процессы получения окускованного топлива из мелких классов углей // Химия твердого топлива. — 2013. — № 1.
29. Николаева Л. А., Латышев В. Г., Буренина О. Н. Топливные брикеты из бурых углей Якутии //
30. Елишевич А. Т. Технология брикетирования полезных ископаемых. — М.: Недра, 1989.
31. Заявка № 2008109775/04 РФ. Способ получения брикетов из бурого угля / О. С. Данилов, В. А. Михеев // Оpubл. в БИ. — 2009. — № 26.
32. Пат. РФ № 2298028. Способ получения топливных брикетов / А. И. Головичев, М. С. Никишанин // Оpubл. в БИ. — 2007. — № 12.
33. Швед В.С., Березин А. В. Коксовая пыль как компонент угольной шихты // Кокс и химия. — 2009. — № 5.
34. Папин А. В., Жбырь Е. В., Неведров А. В., Солодов В. С. Разработка нового метода обогащения минералов на основе масляной агломерации // Хим. пром-сть сегодня. — 2009. — № 1.
35. Гагарин С. Г., Гюльмалиев А. М., Толченкин Ю. А. Современные тенденции в обогащении углей (обзор) // Кокс и химия. — 2008. — № 2.
36. Пат. РФ № 2468071. Способ брикетирования коксовой пыли / А. В. Папин, В. С. Солодов, В. И. Косинцев и др. // Оpubл. в БИ. — 2012. — № 33.

Поступила в редакцию 11/III 2015