

ПЕРСПЕКТИВЫ ПОЛУЧЕНИЯ БРИКЕТИРОВАННОГО БЕЗДЫМНОГО ТОПЛИВА ИЗ УГЛЕЙ ОТКРЫТОЙ ДОБЫЧИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ КАЗАХСТАНА

С.В. Ким¹, О.А. Богоявленская¹, С.Х. Кударинов¹, А.С. Орлов¹, В.В. Орлова¹

¹ Химико-металлургический институт им. Ж. Абишева, Караганда, Казахстан,
e-mail: hmi2009@mail.ru, o-bogoyavlenskay@mail.ru

Аннотация: Рассмотрены распространенные способы получения брикетированного топлива; приведен обзор основных угольных месторождений Казахстана, а также представлены результаты экспериментальных исследований по получению бездымных топливных брикетов путем термоокислительного коксования углей с последующим пресованием полукокса. Показано, что большинство казахстанских углей открытой добычи можно рассматривать как качественное и доступное сырье для получения брикетированного бездымного топлива без применения связующих веществ. Преимущество предлагаемого способа заключается в предварительной термообработке угля, что по сравнению с традиционными процессами термической переработки является автотермичным и энергосберегающим. Низкая спекаемость и наличие летучей составляющей в углях, добытых в таких районах, как Куу-Чек, Борлы, Сарыадыр, Экибастуз, Шубарколь, Майкубе, позволяет проводить их полукоксование в аппаратах периодического действия — ретортах. Удаление в процессе термообработки большей части наиболее вредных токсичных соединений обеспечивает экологическую чистоту брикетированного топлива по сравнению с углем в сфере потребления, то есть при сжигании в бытовых топочных устройствах. Получены опытные образцы топливных брикетов с теплотворной способностью не менее 5100 ккал/кг. Зольность брикетов составляет 21–30%. Вследствие меньшего выхода летучих веществ при сгорании брикетов выброса дыма визуально не наблюдается, что позволяет классифицировать этот продукт как экологически безопасное бездымное топливо с высокими потребительскими свойствами.

Ключевые слова: бездымное топливо, энергетические угли, отходы угледобычи и углепереработки, термоокислительный пиролиз, полукокс, брикетирование, реторта, экологическая чистота.

Благодарность: Работа выполнена по теме «Разработка технологии производства бездымного топлива и создание экспериментальной установки коксования угля» программно-целевого финансирования О. 0787 (2018—2020 гг.) ИРН: BR05236708.

Для цитирования: Ким С.В., Богоявленская О.А., Кударинов С.Х., Орлов А.С., Орлова В.В. Перспективы получения брикетированного бездымного топлива из углей открытой добычи месторождений Казахстана // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020. – № 9. – С. 147–158. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-9-0-147-158.

Prospects for production of smokeless fuel briquettes from coal from open pit mines in Kazakhstan

S.V. Kim¹, O.A. Bogoyavlenskaya¹, S.Kh. Kudarinov¹, A.S. Orlov¹, V.V. Orlova¹

¹ Zh. Abishev Chemical Metallurgical Institute, Karaganda, Kazakhstan,
e-mail: hmi2009@mail.ru, o-bogoyavlenskay@mail.ru

Abstract: The article discusses the common methods of manufacture of fuel briquettes, reviews the major coal fields in Kazakhstan and reports the outcome of experimental studies into production of smokeless fuel briquettes by thermal oxidative charring of coal with subsequent compression of the char. It is shown that coal from most Kazakhstan surface mines is a high-grade and available feedstock for production of smokeless fuel briquettes without binders. The benefits of the proposed approach consist in preliminary thermal treatment of coal, which is an autothermal and energy-saving process as against conventional thermal treatment techniques. Coals from Kuu-Chek, Borly, Sary Adyr, Ekibastuz, Shubarkol and Maikube feature low caking ability and volatile component, which enables their low-temperature coking in discontinuous operation vessels. Thermal treatment removes the most of toxic compounds, which makes such fuel ecologically harmful as compared with consumption coal burning in domestic furnace plants. The experimental briquettes have calorific capacity not less than 5100 kcal/kg and ash content of 21–30%. Due to lower volatile matter yield, no smoke is observed in burning of such briquettes, which allows ranking this product as ecologically safe smokeless fuel of high useful quality.

Key words: smokeless fuel, power-generating coal, coal mining and conversion waste, thermal oxidative pyrolysis, semi-coke, briquetting, vessel, ecological pureness.

Acknowledgements: The studies on the theme: Smokeless Fuel Production Technology and Pilot Coal Caking Installation Design was supported in the framework of Target Program O. 0787 (2018–2020). Unique Registration Number: BR05236708.

For citation: Kim S.V., Bogoyavlenskaya O.A., Kudarinov S.Kh., Orlov A.S., Orlova V.V. Prospects for production of smokeless fuel briquettes from coal from open pit mines in Kazakhstan. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020;(9):147-158. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-9-0-147-158.

Введение

В настоящее время, несмотря на тенденцию преобладающего использования продуктов газо- и нефтепереработки, уголь сохраняет устойчивый статус в химико-металлургических производствах и в энергетике. Основной проблемой переработки угля при различных технологических операциях является образование большого количества мелких угольных классов, в том числе пыли, которые складываются на полигонах и шламовых полях и прак-

тически не используются, но при этом существенно влияют на окружающую среду [1].

Значительные экологические проблемы и существенные финансовые потери из-за растущих накоплений угольной мелочи возникают практически у всех стран-лидеров в угледобывающей промышленности, таких как Китай, США, Россия, Австралия и др. Так, например, порядка 2 млрд т угольной мелочи находится в хранилищах в Соединенных Штатах, и ежегодный прирост этих на-

коплений составляет около 50 млн т [2]. Экологическая напряженность, порождаемая сбросом в окружающую среду тонких классов углей, территориально не ограничивается районом добычи и переработки углей. В ряде регионов стран СНГ, в том числе в Казахстане, основным топливом для отопления индивидуального жилья до сих пор остается рядовой каменный уголь. Несмотря на крайне низкие потребительские свойства (высокая зольность, низкая теплотворная способность, непостоянство фракционного состава и др.), каменный уголь не имеет альтернативы для отопления в зимнее время. Широкое использование населением рядового угля негативно влияет на экологическую обстановку в регионах.

При сжигании низкометаморфизованных энергетических углей, в основном используемых в печном отоплении, в атмосферу с дымом могут частично выноситься и продукты неполного сгорания угля, содержащие такие токсичные вещества, как фенолы, их производные и другие вредные примеси. Выход смолы при термическом разложении бурых углей в среднем составляет 6–10%, а содержание фенольной фракции составляет от 2% и более [3, 4]. Многие исследования, проведенные в разных странах мира, показали, что выбросы вредных веществ значительно снижаются при переходе к использованию в энергетике экологически более безопасных видов топлива угольного происхождения, в том числе термоуголя, термобрикетов, брикетов с пониженным содержанием золы, влаги и серы [5]. Ежегодно спрос на бездымное топливо для бытовых нужд как в странах Евросоюза, так и СНГ, возрастает [6, 7]. Решением вопроса улучшения экологической обстановки в регионах, использующих рядовой уголь, может быть применение брикетированного угольного, особенно бездымного,

топлива. При этом решается вопрос об утилизации мелочи и превращении низкосортного, имеющего ограниченный сбыт топлива, в полноценное кусковое топливо, удобное для транспортировки, длительного хранения и сжигания [8].

Целью исследований является разработка технологии получения качественного кускового бытового бездымного топлива путем брикетирования мелочи слабоокисляющихся энергетических углей Казахстана с применением способа термоокислительного полукоксования для их предварительной термообработки перед прессованием.

Особенности способов получения брикетированного топлива

Исследованиям процесса получения брикетированного бездымного топлива посвящены многочисленные научно-исследовательские работы и публикации, например, [3, 7–15]. Современные процессы брикетирования углей базируются на двух достаточно разработанных и широко распространенных способах: без применения связующих при повышенном давлении прессования и с применением связующих материалов. [9]. Недостатком применяемых в настоящее время технологий брикетирования углей путем прессования без связующего является их избирательность по отношению к сырью. Эти технологии пригодны только для мягких обводненных бурых углей марки 1Б (с содержанием влаги 50–60%) [10]. В отношении способа брикетирования со связующими материалами проведенные ранее исследования показали, что самую высокую механическую прочность и высокую калорийность, превышающую калорийность угля, имеют брикеты на битуме. Однако этот способ включает в себя дорогостоящий и трудоемкий процесс подготовки связующего и шихты, требует сооружения крупного предприятия

и может быть эффективным только при значительных объемах производства. Кроме того, имеются ограничения в области применения топливных брикетов с битумным связующим в качестве бытового топлива. Как показал опыт, это экологически небезопасно из-за повышенной дымности конечного продукта [11].

С целью повышения качества и снижения себестоимости производства буроугольных топливных брикетов проводятся исследования по модифицированию связующих, замене традиционного связующего битума на гудрон [12]. Разрабатывается оригинальная технология получения топливных био-брикетов с использованием в качестве связующего частично карбонизированной пластмассы и использованных полиэтиленовых пакетов [13].

По литературным данным, при брикетировании углей с высоким выходом летучих веществ добавления специального связующего не требуется, так как связующей основой брикетов служат высокотемпературные продукты пиролиза углей, оставшиеся в них после термообработки [14]. Проведенные испытания по отработке параметров технологии брикетирования мелкозернистых и мелкодисперсных отходов добычи бурого угля Канско-Ачинского разреза без связующих веществ методом статического прессования не дали необходимых прочностных характеристик брикетов. При наибольшей достигнутой прочности на одноосное сжатие (1,3 МПа) на поверхности брикетов образуются трещины, приводящие в дальнейшем к потере целостности брикета [15].

Вследствие отмеченных недостатков технологий окускования наиболее целесообразным представляется использование процессов брикетирования углей с предварительной их термообработкой перед прессованием. Такую термообра-

ботку (полукоксование) можно производить более интенсивно по сравнению с термообработкой брикетов в компактных аппаратах периодического действия (ретортах) с применением метода термоокислительного коксования. Характерной особенностью термоокислительного коксования является возможность достижения высоких (управляемых) скоростей нагрева угля в области температур его деструкции, что позволяет целенаправленно формировать требуемые качественные показатели конечного продукта.

Основные угольные месторождения открытой добычи в Казахстане

По состоянию на 2014 г. объем доказанных запасов угля в Казахстане составляет 837 млрд т [16]. Значительный объем запасов представлен энергетическим углем (около 29,2 млрд т). На бурый уголь приходится 56% запасов, на длиннопламенный каменный уголь — 14%, на каменный уголь битуминозного качества — оставшиеся 30% запасов. Основная доля добываемого энергетического угля направлена на нужды электроэнергетической отрасли Казахстана — 51%, на экспорт — 31%, а оставшаяся часть — на коммунально-бытовые нужды населения (13%) и промышленные предприятия — 5%. Большая часть запасов сосредоточена на месторождениях Северного (Тургайский угольный бассейн) и Центрального Казахстана — Карагандинский, Экибастузский, Майкубенский и Тенгиз-Коржинкольский угольные бассейны, а также месторождении Шубарколь и ряде других месторождений [17, 18]. В Карагандинском бассейне средняя толщина угольных пластов 1 — 3,5 м, в Экибастузском бассейне — 130 — 200 м. Глубина залегания составляет в среднем 200 — 800 м. На месторождениях добыча

ведется в основном открытым способом, примерно 90% приходится на энергетический уголь [17]. В перспективе доля добычи угля открытым способом с низкими производственными затратами будет возрастать [19].

Результаты и обсуждение

В настоящее время нет способа оценки брикетированности углей с помощью одного какого-либо теста и соответствующей классификации углей как сырья для производства брикетов. Поэтому для оценки брикетированности каждого конкретного угля необходимо последовательно проводить исследовательские работы, начиная с лабораторных испытаний и заканчивая опытными опробованиями. О пригодности углей к использованию в определенном технологическом процессе судят по совокупности показателей, в целом характеризующих качество топлива [20]. Принимая во внимание весь комплекс основных физико-химических и технологических свойств, присущих вышеуказанным энергетическим углям Казахстана [18], существует возможность их переработки способом термоокислительного коксования [21]. Слабая спекаемость и наличие летучей составляющей углей открытой добычи месторождений Казахстана позволяет проводить их коксование методом термоокислительного пиролиза в аппаратах периодического действия — ретортах.

Реторта представляет собой вертикальный аппарат шахтного типа, снабженный загрузочным герметично закрываемым люком, устройством подвода воздуха и выгрузки полукокса в нижней части, устройствами для подвода паров воды и для отвода газа в верхней части. Также имеется газоотвод отходящих газов полукоксования для использования при сушке брикетированного полукокса. Переработку угля в указанном устройстве осуществляют циклически.

Для полукоксования используется мелочь энергетических углей открытой добычи крупностью 0–15 мм, образующаяся при их фракционировании.

Сущность применяемого способа заключается в достижении необходимой температуры в слое угля и продвижении этой температурной зоны по высоте угольной загрузки за счет селективного сгорания летучих компонентов угольного вещества. Карбонизация угля происходит сверху вниз по высоте реторты, причем в слое топлива можно выделить зоны сырого угля и готового карбонизата, между которыми существует граница раздела.

Процесс карбонизации угля происходит в регулируемом посредством подачи дутья и паров воды температурном режиме, что обеспечивает получение полукокса с заданным количеством выхода летучих веществ. Регулирование количества дутья от 20 до 100 м³/(м²·ч) позволяет поддерживать температуру в слое угольной загрузки от 450 до 1000 °С в зависимости от марки угля. Готовый продукт — полукокк охлаждается паром в реторте до 50–100 °С, выгружается и подвергается брикетированию. Отходящие газы полукоксования используются для поддержания температурного режима в сушильной проходной печи при изготовлении из карбонизованного продукта (полукокса) топливных брикетов, чем достигается энергоэффективность процесса [22].

В наших исследованиях значима величина выхода летучих веществ в угле для осуществления процесса его карбонизации (полукоксования) в реторте. Также одним из основных критериев оценки качества и пригодности углей для производства бездымного топлива при наличии в них определенной доли летучих компонентов является зольность — не более 40%. В этой связи с целью определения качественных по-

Технический анализ и химический состав золы углей
Technical analysis and chemical composition of coal ash

Месторождение	Технический анализ, %			Химический состав золы, %							
	W ^a	A ^d	V ^d	Fe ₂ O ₃	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	TiO ₂	SO ₃	P ₂ O ₅
Куу-Чек	1,08	25,9	16,97	4,10	0,87	59,24	27,78	1,56	1,05	0,56	0,05
Борлы	0,90	45,2	17,90	1,61	1,37	55,7	29,79	—	—	0,85	0,50
Сарыадыр	1,07	22,6	30,06	0,57	—	72,54	25,86	—	—	0,48	0,47
Экибастузкий	4,0	45,0	18,0	4,29	4,5	54,0	35,0	0,5	—	2,00	0,72
Шубарколь	8,9	3,2	38,5	12,7	6,3	40,4	29,6	2,1	—	8,73	0,36
Майкубе	11,5	12,3	33,14	7,28	3,60	52,40	31,70	1,00	1,62	11,2	0,41

казателей были отобраны усредненные пробы углей ряда месторождений открытой добычи для проведения технического анализа и определения химического состава золы. Аналитические испытания проводились в соответствии с действующими нормативными методическими документами на твердое топливо [23 – 26]. Результаты исследований качественных показателей углей Куу-Чек, Борлы, Сарыадыр, Экибастуз, Шубарколь, Майкубе представлены в таблице, где W^a – аналитическая влажность [23]; V^d – выход летучих веществ из сухой пробы [24]; A^d – зольность из сухое состояние [25].

Содержание влаги не более 15% и выход летучих веществ 17 – 43% позволяют создать в реторте необходимые условия для протекания процесса термообработки в режиме термоокислительного пиролиза. Избыточное давление в реторте, образующееся за счет интенсивного выделения летучих компонентов угольного вещества и их горения, способствует формированию более прочной структуры термообработанной угольной шихты для брикетирования. Часть летучих веществ, которые остались в угле, служат связующей основой при последующем брикетировании, что позволяет сократить использование спе-

циального связующего или полностью избавиться от него.

Преимуществом предлагаемого нами способа предварительной термообработки по сравнению с традиционными процессами термической переработки угля является его автотермичность и энергосбережение. Полукоксование в ретортах базируется на выделении тепла, требуемого для термообработки материала, непосредственно внутри обжигового агрегата за счет селективного сжигания в слое летучих веществ угля. При этом выделяющееся тепло позволяет нагреть уголь до температуры 850 – 950 °С, достаточной для образования тела кокса.

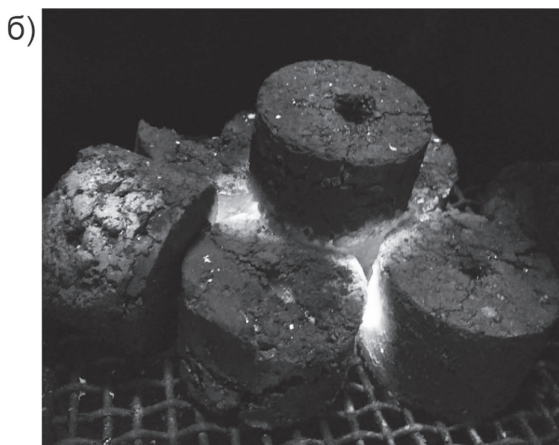
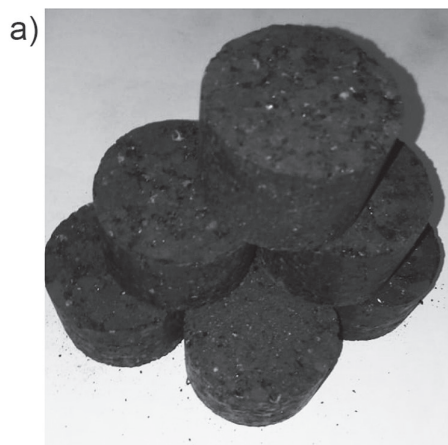
В рамках создания технологии производства бездымного топлива из казахстанских энергетических углей в проведенных ранее исследованиях [27] установлено влияние основных технологических параметров процесса коксования (скорости нагрева, температуры коксования) на физико-химические свойства полукокса – исходного материала для получения брикетированного бездымного топлива. По результатам исследований определено, что для бездымного топлива, получаемого методом высокоскоростного пиролиза из молодых углей с высоким исходным содержа-

нием летучих веществ, температура термообработки 600–700 °С является наиболее рациональной. Для обеспечения достаточной структурной прочности полукокса скорость нагрева угля должна быть не менее 30 °С/мин. При этом получаемый карбонизованный материал обладает высокой реакционной способностью, достигающей 6,5–9,0 мл/г · с [22, 27].

Получены опытные образцы топливных брикетов на основе термообработанной мелочи шубаркольского угля. Соотношение компонентов шихты следующее: 65,0% масс. полукокса крупностью 0–10 мм, в качестве связующего – 5,0% масс. мелассы плотностью 1,35–1,5 г/см³ и в качестве упрочняющей добавки – 30,0% масс. угольного шлама. Сформованная брикетированная шихта подвергалась термообработке в проходной сушильной печи посредством отходящих газов полукоксования при температуре 200–250 °С. Брикеты имеют цилиндрическую форму диаметром 50 мм и высотой 70 мм, плотность 1,16 г/см³. Прочность полученных брикетов по ГОСТ 21289: на сбрасывание –

95%, на раздавливание – 95 кг/см² (9,3 МПа). Зольность брикетов – 21–30%, содержание влаги менее 10%, выход летучих веществ – 20,0%, низшая теплота сгорания – 5100–5800 ккал/кг [28]. Процесс горения опытных брикетов в топочном пространстве печи проходит без визуально видимого дыма в течение продолжительного времени (см. рисунок).

Метод термоокислительного полукоксования в реторте является экологически чистым. Работа теплотехнического оборудования с полным дожиганием отходящих горючих газов, получаемых при карбонизации, предопределяет бездымность технологического процесса. Все органические соединения угля расщепляются и газифицируются внутри агрегата, и отходящий горючий газ не содержит пыли и смолистых веществ. При этом его сжигание в реторте и свече дожига без дополнительной очистки сопровождается существенным снижением удельных выбросов NO_x, SO_x, CO и пыли. При утилизации горючего газа путем его полного сжигания образуются дымовые газы, имеющие следующий



Образцы топливных брикетов из термообработанной мелочи шубаркольского угля с добавлением шлама: сырые брикеты (а); горение брикетов (б)

the samples of fuel briquettes from heat-treated fines of Shubarkol coal with added sludge: a – the raw briquettes, b – burning briquettes

состав (масс. %): N_2 – 67,3; CO_2 – 14,9; H_2O – 17,8. При сжигании 1 т угля выброс в атмосферу оксидов азота и серы составляет (mg/m^3): NO_x – 30,0; SO_x – 80,0; пыли – 10,0; фенолов, смолы, CO – нет. Данные показатели значительно ниже, чем в выбросах, образующихся при выработке тепловой энергии по традиционной схеме полного сжигания угля на угольных котельных (mg/m^3): NO_x – 640; SO_x – 250; H_2S – 245; CO_x – 52 000; фенолы – 67; смолы – 38; CH_4 – 2500; пыли – 150 [29].

Фактор отсутствия значительной доли летучих компонентов в готовых топливных брикетах в сравнении с их количеством в исходном угле благоприятно влияет на их токсикологические и экологические характеристики. Меньшее токсикологическое воздействие и экологическая чистота брикетов в сфере потребления при сжигании в бытовых топочных устройствах объясняется удалением в процессе термообработки большей части наиболее вредных токсичных соединений.

Что касается зольности, то ее массовая доля не превышает допустимых значений обозначенного нами критерия (40%), а также имеется возможность снизить показатель зольности угля путем его подшихтовки угольной мелочью с минимальной минеральной составляющей.

Заключение

С учетом анализа литературных данных и результатов экспериментальных исследований обосновано применение способа брикетирования углей с пред-

варительной их термообработкой перед прессованием в аппаратах периодического действия – ретортах – методом термоокислительного коксования. Реализация способа дает возможность регулирования скорости нагрева угля в области температур его деструкции, что позволяет целенаправленно формировать требуемые качественные показатели полукокса.

Несмотря на высокое содержание летучих веществ и смолы предлагаемый способ позволяет использовать большинство энергетических углей открытой добычи в качестве сырья для производства брикетированного топлива.

Полукок, полученный из казахстанских энергетических углей месторождений Куу-Чек, Борлы, Сарыадыр, Экибастуз, Шубарколь, Майкубе, по основным физико-химическим и технологическим свойствам соответствует качеству полупродукта для получения бездымного топлива.

Процесс термоокислительного коксования в реторте является экологически чистым, так как все органические соединения в процессе термоокислительного коксования расщепляются и газифицируются внутри агрегата, и газ не содержит пыли и смолистых веществ. Газообразные продукты термоокислительного пиролиза дожигаются до CO_2 , N_2 и H_2O .

Использование термоокислительного коксования в ретортах составляет конкуренцию известным методам получения брикетированного топлива из ископаемых материалов и свидетельствует о перспективности и актуальности разрабатываемой технологии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бажин В. Ю., Кусков В. Б., Кускова Я. В. Проблемы использования невостребованных угольных и других углеродсодержащих материалов в качестве энергетических брикетов // Уголь. – 2019. – № 4 (1117). – С. 50–54.

2. Массаро М. М., Сын С. Ф., Гровен Ж. Ж. Тепловой и механический анализ брикетированной угольной мелочи с использованием твердых бытовых отходов / РСС 2012: 29-я ежегодная международная конференция по Питтсбургскому углю. Т. 2. — Питтсбург, 2012. — С. 1288—1301.

3. Лиштван И. И., Фалюшин П. Л., Дударчик В. М., Кожурин В. Н., Ануфриева Е. В. Пироллиз бурых углей Бриневского месторождения Республики Беларусь // Химия твердого топлива. — 2009. — № 3. — С. 19—25.

4. Малолетнев А. С., Гюльмалиев А. М., Мазнева О. А. Химический состав дистиллятных фракций каменноугольной смолы ОАО «Алтайкокс» // Химия твердого топлива. — 2014. — № 1. — С. 12—22.

5. Хрусталева Г. К., Медведева Г. А. Современные направления и способы экологически чистого использования углей в России и за рубежом // Разведка и охрана недр. — 2006. — № 11. — С. 33—39.

6. Matuszek K., Hrycko P., Stelmach S., Sobolewski A. Carbonaceous smokeless fuel and modern small-scale boilers limiting the residential emission. Part 1. General aspects // Przemysl Chemiczny. 2016. Vol. 95. No 2. Pp. 223—227.

7. Matuszek K., Hrycko P., Stelmach S., Sobolewski A. Carbonaceous smokeless fuel and modern small-scale boilers limiting the residential emission. Part 2. Experimental tests of a new carbonaceous smokeless fuel // Przemysl Chemiczny. 2016. Vol. 95. No 2. Pp. 228—230.

8. Николаева Л. А. Разработка и структурные исследования окускованного топлива из угольных отходов // Отходы и ресурсы. — 2017. — Т. 4. — № 4. <https://resources.today/PDF/06RRO417.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. DOI: 10.15862/06RRO417.

9. Евстифеев Е. Н. Новая технология производства бытового бездымного топлива // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. — 2011. — № 6. — С. 51—53.

10. Иванов И. П. Получение брикетированного и бездымного топлива из канско-ачинских углей с использованием биосвязующих: автореф. ... канд. техн. наук. — Красноярск: ИХХТ СО РАН, 1998. — 20 с.

11. Нифонтов Ю. А. Научные основы создания ресурсосберегающих технологий использования отходов добычи и переработки углей Печорского бассейна: диссертация ... докт. техн. наук. — СПб., 2000. — 308 с.

12. Николаева Л. А., Попов С. Н. Связующие композиции для брикетирования бурого углей // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. — 2013. — № 3. — С. 127—132.

13. Nwabue F. I., Unah U., Itumoh E. J. Production and characterization of smokeless bio-coal briquettes in incorporating plastic waste materials // Environmental Technology & Innovation. 2017. Vol. 8. Pp. 233—245.

14. Фомин А. П., Еник Г. И., Маймур Б. Н. и др. Факторы процесса термобрикетирования плотных бурых углей // Химия твердого топлива. — 1993. — № 5. — С. 71—77.

15. Кулагин Р. А., Кулагин О. Р. Подготовки бурого угля для брикетирования без связующих / Энергетическая безопасность России. Новые подходы к развитию угольной промышленности: сборник трудов XVI Международной научно-практической конференции. — Кемерово, 2014. — С. 277.

16. BP Statistical Review of World Energy 2015 [Electronic resource]. Mode of access: <http://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/energy-economics/statistical-review-2015> (дата обращения 23.08.2018).

17. Венжега Р. В. Угольная промышленность Китая и стран СНГ: Проблемы функционирования в контексте современных вызовов // Экономика промышленности. — 2016. — № 2 (74). — С. 91—123.

18. Едильбаев А. И., Страхов В. М., Чокин К. Ш., Музгина В. С., Суровцева И. В. Комплексное исследование углей Казахстана как углеродистого сырья для прямого восстановления железа // Кокс и химия. — 2013. — № 9. — С. 20—27.

19. Кольшклина Т. А., Королева А. А. Экономические аспекты развития угольной промышленности в Республике Казахстан / Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири: сборник научных трудов XVI Международной конференции. — Кемерово, 2016. — С. 75—76.

20. Сысков К. И., Машенков О. Н. Термоокислительное коксование углей. — М.: Металлургия, 1973. — 176 с.

21. Ким В. А., Ахмеров М. Ж., Надырбеков А. К. Промышленные испытания технологии термоокислительного коксования угля Шубаркольского разреза // Промышленность Казахстана. — 2001. — № 2. — С. 101—103.

22. Ким С. В., Кударинов С. Х., Орлова В. В., Орлов А. С., Богоявленская О. А. Заявка на изобретение (патент) № 2019/0933.1, 19.12.2019. Республика Казахстан. Способ и устройство для получения полукокса из мелочи энергетических углей.

23. ГОСТ 27314-91 (ИСО 589-81) Методы определения влаги. Введ. 1993.01.01. — М.: Изд-во стандартов, 1992. — 10 с.

24. ГОСТ 6382-2001 (ИСО 562-1-97) Топливо твердое минеральное. Методы определения выхода летучих веществ. Введ. 2003.01.01. — М.: Изд-во стандартов, 2002. — 14 с.

25. ГОСТ 11022-95 Топливо твердое минеральное. Методы определения зольности. Введ. 1997.01.01. — М.: Изд-во стандартов, 1996. — 8 с.

26. ГОСТ 10538-87 (СТ СЭВ 5776-86) Топливо твердое. Методы определения химического состава золы. Введ. 1988.01.01. — М.: Изд-во стандартов, 1987. — 15 с.

27. Kim S. V., Kim V. A., Sariev O. R., Kudarinov S. Kh., Bogoyavlenskaya O. A., Orlov A. S., Orlova V. V., Zhdanov A. V. Influence of coal heat treatment parameters on physical-chemical properties of smokeless fuel // Bulletin of the Karaganda University. Chemistry Series. 2018. No 4. Pp. 62—67.

28. Ким С. В., Богоявленская О. А., Кударинов С. Х., Орлова В. В., Орлов А. С. Заявка на изобретение (патент) № 2019/0922.1, 18.12.2019. Республика Казахстан. Способ получения бездымного бытового топлива из мелочи энергетических углей.

29. Выполнение укрупненно-лабораторных и опытных испытаний технологии получения низкофосфористого спецкокса: отчет о НИР. Инв. № 0112РК00169. — Караганда: ХМИ им. Ж. Абишева, 2013. — 46 с. **ГИАБ**

REFERENCES

1. Bazhin V. Yu., Kuskov V. B., Kuskova Ya. V. Problems of the use of unclaimed coal and other carbon-containing materials as energy briquettes. *Ugol'*. 2019, no 4 (1117), pp. 50—54. [In Russ].

2. Massaro M. M., Son S. F., Groven L. J. Thermal and mechanical analysis of briquetted coal fines using municipal solid waste. *29-ya Yezhegodnaya mezhdunarodnaya konferentsiya po Pittsburgskomu uglju*. Т. 2. [29 Annual International Pittsburgh Coal Conference. Vol. 2], Pittsburgh, 2012, pp. 1288—1301.

3. Lishtvan I. I., Falyushin P. L., Dudarchik V. M., Kozhurin V. N., Anufriyeva E. V. Pyrolysis of brown coal from the Brinevsky deposit of the Republic of Belarus. *Khimiya tverdogo topliva*. 2009, no 3, pp. 19—25.

4. Maloletnev A. S., Gyl'maliyev A. M., Mazneva O. A. The chemical composition of the distillate fractions of coal tar of OJSC Altaikoks. *Khimiya tverdogo topliva*. 2014, no 1, pp. 12—22. [In Russ].

5. Khrustaleva G. K., Medvedeva G. A. Modern directions and methods of environmentally friendly use of coal in Russia and abroad. *Razvedka i okhrana nedr*. 2006, no 11, pp. 33—39. [In Russ].

6. Matuszek K., Hrycko P., Stelmach S., Sobolewski A. Carbonaceous smokeless fuel and modern small-scale boilers limiting the residential emission. Part 1. General aspects. *Przemysl Chemiczny*. 2016. Vol. 95. No 2. Pp. 223—227.

7. Matuszek K., Hrycko P., Stelmach S., Sobolewski A. Carbonaceous smokeless fuel and modern small-scale boilers limiting the residential emission. Part 2. Experimental tests of a new carbonaceous smokeless fuel. *Przemysl Chemiczny*. 2016. Vol. 95. No 2. Pp. 228–230.

8. Nikolaeva L.A. Development and structural studies of agglomerates from coal waste. *Otkhody i resursy*. 2017, vol. 4, no 4. <https://resources.today/PDF/06RRO417.pdf> DOI: 10.15862/06RRO417.

9. Yevstifeyev E. N. New technology for the production of domestic smokeless fuel. *Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy*. 2011, no 6, pp. 51–53. [In Russ].

10. Ivanov I.P. Polucheniye briketirovannogo i bezdymnogo topliva izkansko-achinskikh ugley s ispol'zovaniyem biosvyazuyushchikh. [Production of briquetted and smokeless fuel from Kansko-Achinsk coal using biocoupling], Candidate's thesis, Krasnoyarsk: IKHKHT SO RAN, 1998, 20 p.

11. Nifontov Yu.A. *Nauchnye osnovy sozdaniya resursosberegayushchikh tekhnologiy ispol'zovaniya otkhodov dobychi i pererabotki ugley Pechorskogo basseyna*. [Scientific basis for the creation of resource-saving technologies in the use of waste from the extraction and processing of coal from the Pechora basin], Doctor's thesis, Saint-Petersburg, 2000, 308 p.

12. Nikolayeva L.A., Popov S.N. Binding compositions for briquetting brown coal wastes. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Gornyy zhurnal*. 2013, no 3, pp. 127–132. [In Russ].

13. Nwabue F. I., Unah U., Itumoh E. J. Production and characterization of smokeless bio-coal briquettes incorporating plastic waste materials. *Environmental Technology & Innovation*. 2017. Vol. 8. Pp. 233–245.

14. Fomin A. P., Enik G. I., Maymur B. N. Factors of the process of thermal briquetting of dense brown coals. *Khimiya tverdogo topliva*. 1993, no 5, pp. 71–77. [In Russ].

15. Kulagin R.A., Kulagin O.R. Preparation of brown coal briquetting without binder. *Energeticheskaya bezopasnost' Rossii. Novyye podkhody k razvitiyu ugolnoy promyshlennosti: sbornik trudov XVI Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Russia's Energy Security. New approaches to the development of the coal industry. Proceedings of the XVI International scientific-practical conference], Kemerovo, 2014, pp. 277. [In Russ].

16. BP Statistical Review of World Energy 2015 [Electronic resource]. Mode of access: <http://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/energy-economics/statistical-review-2015> (accessed 23.08.2018).

17. Venzhega R. V. The coal industry of China and the CIS countries: Problems of functioning in the context of modern challenges. *Economy of Industry*. 2016. Vol. 2. No 74. C. 91–123.

18. Yedil'bayev A.I., Chokin K.S., Muzgina V.S., Strakhov V.M., Surovtseva I.V. Coal from Kazakhstan for the direct reduction of iron. *Koks i khimiya*. 2013, no 9, pp. 20–27. [In Russ].

19. Kolyshkina T.A., Koroleva A.A. Economic aspects of the development of the coal industry in the Republic of Kazakhstan. *Prirodnyye i intellektualnyye resursy Sibiri: sbornik nauchnykh trudov XVI Mezhdunarodnoy konferentsii* [Natural and intellectual resources of Siberia. Proceedings of the XVI International scientific-practical conference]. Kemerovo, 2016, pp. 75–76. [In Russ].

20. Syskov K. I., Mashenkov O. N. *Termookislitel'noye koksovaniye ugley*. [Thermal-oxidative coking of coal]. Moscow, Metallurgiya, 1973, 176 p.

21. Kim V.A., Akhmerov M.ZH., Nadyrbekov A.K. Industrial tests of the technology of thermooxidative coking of Shubarkol coal. *Promyshlennost Kazakhstana*. 2001, no 2, pp. 101–103. [In Russ].

22. Kim S.V., Kudarinov S. Kh., Orlova V.V., Orlov A.S., Bogoyavlenskaya O.A. *Application for an invention (patent) KZ 2019/0933.1*, 19.12.2019.

23. *Metody opredeleniya vlagi. GOST 27314-91 (ISO 589-81)* [Moisture determination methods, State Standart 27314-91 (ISO 589-81)], Moscow, Standarty, 1992, 10 p.

24. *Toplivo tverdoe mineral'noe. Metody opredeleniya vykhoda letuchikh veshchestv. GOST 6382-2001 (ISO 562-1-97)* [Solid mineral fuel. Methods for determining the yield of volatile substances, State Standart 6382-2001 (ISO 562-1-97)], Moscow, Standarty, 2002, 14 p.

25. *Toplivo tverdoe mineral'noe. Metody opredeleniya zol'nosti. GOST 11022-95* [Solid mineral fuel. Methods for determining ash content, State Standart 11022-95], Moscow, Standarty, 1996, 8 p.

26. *Toplivo tverdoe. Metody opredeleniya khimicheskogo sostava zoly. GOST 10538-87 (ST SEV 5776-86)* [Solid fuel. Methods for determining the chemical composition of ash. State Standart 10538-87 (ST SAV 5776-86)], Moscow, Standarty, 1987, 15 p.

27. Kim S.V., Kim V.A., Sariev O.R., Kudarinov S.Kh., Bogoyavlenskaya O.A., Orlov A.S., Orlova V.V., Zhdanov A.V. Influence of coal heat treatment parameters on physical-chemical properties of smokeless fuel. *Bulletin of the Karaganda University. Chemistry Series*. 2018. No 4. Pp. 62 – 67.

28. Kim S.V., Bogoyavlenskaya O.A., Kudarinov S. Kh., Orlova V.V., Orlov A.S. *Application for an invention (patent) KZ 2019/0922.1*, 18.12.2019.

29. *Vypolneniye ukрупnenno-laboratornykh i opytnykh ispytaniy tekhnologii polucheniya nizkofosforistogo spetskokska* [Implementation of enlarged laboratory and experimental tests of technology for obtaining low-phosphorous special coke]. Report on research. Karaganda, 2013, 46 p. [In Russ].

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Ким Сергей Васильевич¹ – канд. техн. наук, зав. лабораторией, e-mail: sergey_kim@inbox.ru,

Богоявленская Ольга Анатольевна¹ – старший научный сотрудник, e-mail: o-bogoyavlenskay@mail.ru,

Кударинов Сагинтай Хиняатович¹ – старший научный сотрудник, e-mail: kudarinovs@mail.ru,

Орлов Алексей Сергеевич¹ – младший научный сотрудник, магистр техн. наук, e-mail: wolftailer@mail.ru,

Орлова Вера Васильевна¹ – младший научный сотрудник, магистр техн. наук, e-mail: vera_v09@mail.ru,

¹ Химико-металлургический институт им. Ж. Абишева, Караганда, Казахстан.

Для контактов: Богоявленская О.А., e-mail: o-bogoyavlenskay@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

S.V. Kim¹, Cand. Sci. (Eng.), Head of Laboratory, e-mail: sergey_kim@inbox.ru,

O.A. Bogoyavlenskaya¹, Senior Researcher, e-mail: o-bogoyavlenskay@mail.ru,

S.Kh. Kudarinov¹, Senior Researcher, e-mail: kudarinovs@mail.ru,

A.S. Orlov¹, Master of Technical Sciences, Junior Researcher, e-mail: wolftailer@mail.ru,

V.V. Orlova¹, Master of Technical Sciences, Junior Researcher, e-mail: vera_v09@mail.ru,

¹ Zh. Abishev Chemical Metallurgical Institute, Karaganda, 100009, Kazakhstan.

Corresponding author: O.A. Bogoyavlenskaya, e-mail: o-bogoyavlenskay@mail.ru.

Получена редакцией 11.07.2019; получена после рецензии 27.04.2020; принята к печати 20.08.2020.

Received by the editors 11.07.2019; received after the review 27.04.2020; accepted for printing 20.08.2020.