

Интернет-журнал «Отходы и ресурсы» / Russian journal of resources, conservation and recycling <https://resources.today>
2017, №4, Том 4 / 2017, N4, Vol 4 <https://resources.today/issues/vol4-no4.html>

URL статьи: <https://resources.today/PDF/06RRO417.pdf>

DOI: 10.15862/06RRO417 (<http://dx.doi.org/10.15862/06RRO417>)

Ссылка для цитирования этой статьи:

Николаева Л.А. Разработка и структурные исследования окучкованного топлива из угольных отходов // Интернет-журнал «Отходы и ресурсы». 2017 №4. <https://resources.today/PDF/06RRO417.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/06RRO417

For citation:

Nikolaeva L.A. (2017). Development and structural studies of agglomerates from coal waste. *Russian journal of resources, conservation and recycling*, [online] 4(4). Available at: <https://resources.today/PDF/06RRO417.pdf> (in Russian). DOI: 10.15862/06RRO417

УДК 662.8:678.8

Николаева Лира Александровна

ФГБУН «Институт проблем нефти и газа СО РАН», Россия, Якутск¹

Старший научный сотрудник

Кандидат технических наук

E-mail: lanikolaeva_ipng@mail.ru

Разработка и структурные исследования окучкованного топлива из угольных отходов

Аннотация. В статье представлены экспериментальные данные, полученные при брикетировании буроугольной мелочи. Проблема рационального использования бурых углей Кангаласского месторождения связана, прежде всего, с большим содержанием мелких фракций, достигающим до 50 % от общего добываемого его количества. К рациональным методам эффективного использования и сохранения угля, в первую очередь, относится брикетирование мелочи, при использовании которой решается задача превращения низкосортного, имеющего ограниченный сбыт топлива, в полноценное кусковое топливо, удобное для транспортировки, длительного хранения и сжигания.

Авторами в качестве связующего выбраны гудрон из нефти Талаканского месторождения, модифицированного с целью улучшения адгезионного взаимодействия, механоактивированными органическими и минеральными наполнителями: высушенным озерным сапропелем, природным цеолитом, бурым углем. Предпосылкой использования дисперсных веществ органического и минерального происхождения в качестве модифицирующих добавок при наполнении связующего вещества в технологии брикетирования бурых углей, помимо обширной сырьевой базы и дешевизны, явились их специфические свойства, обусловленные их повышенной удельной поверхностью, пористостью, а также высокими адсорбционными характеристиками.

Установлены оптимальные составы и технологические режимы получения композитных угольных топливных брикетов, определены технические характеристики полученных брикетов.

Ключевые слова: брикет; бурый уголь; связующие; гудрон; сапропель; цеолит; брикетирование

¹ 677980, г. Якутск, ул. Октябрьская, 1

В статье представлены экспериментальные данные, полученные при брикетировании буроугольной мелочи. Проблема рационального использования бурых углей Кангаласского месторождения связана, прежде всего, с большим содержанием мелких фракций, достигающим до 50 % от общего добываемого его количества. К рациональным методам эффективного использования и сохранения угля, в первую очередь, относится брикетирование мелочи, при использовании которой решается задача превращения низкосортного, имеющего ограниченный сбыт топлива, в полноценное кусковое топливо, удобное для транспортировки, длительного хранения и сжигания.

Авторами в качестве связующего выбраны гудрон из нефти Талаканского месторождения, модифицированного с целью улучшения адгезионного взаимодействия, механоактивированными органическими и минеральными наполнителями: высушенным озерным сапропелем, природным цеолитом, бурый углем. Предпосылкой использования дисперсных веществ органического и минерального происхождения в качестве модифицирующих добавок при наполнении связующего вещества в технологии брикетирования бурых углей, помимо обширной сырьевой базы и дешевизны, явились их специфические свойства, обусловленные их повышенной удельной поверхностью, пористостью, а также высокими адсорбционными характеристиками.

Установлены оптимальные составы и технологические режимы получения композитных угольных топливных брикетов, определены технические характеристики полученных брикетов.

Представленные в данной статье результаты исследования выполнены в продолжение более ранних исследований кандидата технических наук Николаевой Л.А. с 2010-2017 годы результаты которых в обобщенном виде были представлены в диссертационном исследовании «Брикетирование бурого угля с использованием модифицированного гудрона» [11].

Ключевые слова: брикет; бурый уголь; связующие; гудрон; сапропель; цеолит; брикетирование

Угледобывающая промышленность – одна из традиционных базовых отраслей экономики. В настоящее время проблема окускования угольных отсеков является чрезвычайно актуальной для всех угольных регионов России. На угольных месторождениях Якутии с каждым годом при добыче угля накапливаются огромные объемы угольных отходов в виде мелкой фракции, которые накапливаясь, интенсивно загрязняют окружающую среду в силу пыления и выбросов газов при самовозгораниях, что наносит серьезный экологический и экономический ущерб. На территории Республики Саха (Якутия) располагаются четыре крупных угленосных бассейна: Южно-Якутский, Ленский, Зырянский и Тунгусский (восточная часть). В соответствии Энергетической стратегии Республики добыча угля к 2030 должна возрасти до 40 млн т в год.

Кангаласское буроугольное месторождение Ленского бассейна является основной топливной базой, снабжающей центральные районы Якутии бытовым и производственным топливом. Свежедобытые бурые угли имеют высокую влажность, низкую прочность куска, неустойчивы при хранении и, быстро теряя влагу, распадаются, превращаясь в мелочь и пыль. Реализация бурых углей связана с потерей качества из-за самопроизвольного диспергирования и самовозгорания, что осложняет его транспортирование и хранение.

К рациональным методам эффективного использования и сохранения угля, в первую очередь, относится брикетирование мелочи, при использовании которой решается задача превращения низкосортного, имеющего ограниченный сбыт топлива, в полноценное кусковое топливо, удобное для транспортировки, длительного хранения и сжигания. Основными

причинами технологической сложности брикетирования бурых углей Кангаласского месторождения являются низкое содержание собственных битуминозных веществ и малый выход смолы, ответственных за хорошее сцепление угольных частиц. Вследствие этого они брикетируются только с добавлением связующих веществ.

Существующие в настоящее время технологии брикетирования как российского, так и зарубежного производства не в полной мере удовлетворяют требованиям потребителей как по дороговизне, так и по техническим требованиям в зонах холодного климата. Исследования по брикетированию бурых углей Кангаласского месторождения проводили с использованием гудрона из нефти Талаканского месторождения, модифицированного с целью улучшения адгезионного взаимодействия, механоактивированными органическими и минеральными наполнителями: высушенным озерным сапропелем, природным цеолитом, бурым углем [1, 8-9, 11].

Улучшение технических показателей угольных брикетов и экономичность процесса брикетирования зависят как от свойств применяемого связующего, так и от технологических параметров процесса брикетирования. Для определения особо значимых режимных факторов технологического процесса брикетирования бурых углей на изменение физико-механических свойств варьировались: влажность, крупность прессуемого угля, давление прессования, время и температура обработки. Эти параметры находятся между собой в определенной зависимости.

Оптимальные технологические режимы производства сортового брикетированного топлива из бурых углей Кангаласского месторождения, обеспечивающие максимальное улучшение технических свойств: усилие прессования – 150 МПа, влажность угля – 10,5 %, дисперсность угля – 0-2,5 мм, температура обработки 230 °С с выдержкой при этой температуре 180 мин., рациональные режимы активации наполнителей (в случае использования цеолита – 1 мин., сапропелей и бурого угля – 2 мин.) [10].

Для разработанных брикетных составов из бурого угля Кангаласского месторождения: 1) 85 мас. % угля + 15 мас. % гудрона; 2) 75 мас. % угля + 15 мас. % гудрона + 10 мас. % наполнителя; 3) 75 мас. % угля + 15 мас. % гудрона + 10 мас. % акт. наполнителя были определены следующие основные характеристики: прочность при сжатии, зольность, выход летучих веществ, общее содержание серы, дымность, водопоглощение, массовая доля влаги, высшая и низшая теплоты сгорания.

Результаты исследования комплекса физико-механических испытаний буроугольных брикетов, свидетельствуют, что введение в гудрон активированных структурно-активных наполнителей приводит к значительному улучшению технических характеристик разработанных брикетов. Видно, что наибольший вклад в увеличении прочности брикетов вносит активация наполнителя. Так, значение прочности при сжатии выше нормируемого показателя в 1,5-2 раза, при активации добавок – в 1,8-3,2 раза в зависимости от природы наполнителя и в 1,7-4,0 раза по сравнению с образцами, содержащими исходный гудрон. Зольность колеблется в пределах 14,20-18,50 %, что значительно ниже нормируемого показателя, в брикетах с содержанием цеолита в связующей композиции наблюдается незначительное повышение зольности за счет большего содержания в цеолитах минеральной части. Влагосодержание в образцах со связующей композицией приблизительно в 1,5 раза ниже, чем в исходном угле, что связано, по-видимому, с введением добавки и некоторым подсушиванием в процессе подготовки смесей (термообработкой). Водопоглощение брикетов составляет 2,15-2,45 %, т. е. ниже на 18-28 % от нормируемых показателей, при этом остаточная прочность брикетов снижается на 15-25 %. Также все образцы характеризуются отсутствием слипаемости друг с другом. С введением в гудроны наполнителей теплота сгорания брикетов увеличивается до 29,89 МДж/кг. Получаемые при оптимизированных технологических параметрах и составах брикеты по содержанию летучих веществ относятся к категории дымных

бытовых твердых топлив. Однако, с увеличением времени выдержки при температуре обработки 230 °С до 360 мин., возможно снижение содержания летучих веществ на 14-16 %. Для выделения летучих веществ, внесенных вместе со связующими веществами, и уменьшения «дымности» брикеты подвергаются вторичной температурной обработке.

Сжигание полученного топлива при 850 °С показало, что возгорание брикетов происходит в течение 110-113 с, причем незначительное выделение копоти при загорании и горении наблюдается для брикетных образцов, содержащих как немодифицированный, так и модифицированный гудрон.

Остальные показатели соответствуют требованиям, нормируемым ГОСТ 7299-84. По результатам исследования комплекса физико-механических испытаний можно сделать вывод о том, что введение в нефтяное связующее активированных структурно-активных наполнителей (природный цеолит, озерный сапропель, бурый уголь) приводят к значительному улучшению технических характеристик разработанных брикетов, по сравнению с брикетами с неактивированными добавками, причем улучшение характеристик зависит как от химической природы, так и содержания добавок. Лимитирующим фактором по количественному составу композиции могут быть требования по физико-механическим характеристикам и экономической целесообразности, причем последняя определяется как текущими ценами на буроугольные брикеты в зависимости от калорийности и зольности, так и ценами на компоненты связующей композиции. Наилучшие результаты получены для брикетов с активированным сапропелем и углем, т. к. при этом наблюдается повышенный уровень технических показателей по сравнению с образцами, изготовленными с исходным гудроном и с требуемыми показателями по ГОСТ 7299-84.

Для более точной оценки процессов, происходящих в сапропелях, бурых углях и цеолитах при выбранных режимах обработки, с помощью ИК-спектроскопии (ИК-Фурье-спектрометре FT-IR 7000 и Paragon-1000) были проведены исследования порошка исходных наполнителей, наполнителей, прокаленных в муфельной печи, и наполнителей, активированных в планетарной мельнице АГО-2 [2-3].

В ИК-спектрах сапропелей (рис.1) выделяют несколько областей поглощения, соответствующих разным видам колебаний: в интервале 3400-3500 см⁻¹ наблюдается обширный пик поглощения, относящийся к колебаниям ОН-групп воды, неизбежно присутствующей при измельчении сапропеля с КВт. Наличие воды крайне затрудняет четкую идентификацию указанной области, где следует ожидать появления полос поглощения ОН-групп фенолов и NH₂-групп, наличие которых вызывает возникновение водородных связей. Сильный пик поглощения в области 2840-2980 см⁻¹ обусловлен валентными колебаниями С-Н (метиленовых, метиновых и метильных групп). Эти структуры являются важнейшими соединениями исходных сапропелей, отличающие их от прокаленных. В области более низких частот 2350-2370 см⁻¹ наблюдаются полосы, соответствующие валентным колебаниям NH в ненасыщенных ароматических аминах и в группах С-NH аминокислот. В области 1630-1640 см⁻¹ регистрируется пик, соответствующий деформационным колебаниям связей О-Н молекул воды и валентным колебаниям С = О в хиноидных структурах. Характеристическая полоса при 1420-1430 см⁻¹ отвечает деформационным колебаниям СН- в метильных и метиленовых группах алифатических углеводородов. В области 1090 см⁻¹ фиксируются полосы поглощения, характерные для спиртовых групп. В области 700-900 см⁻¹ зарегистрирован ряд пиков средней интенсивности, соответствующих ароматическим углеводородам с различным количеством незамещенных атомов водорода в бензольном кольце.

Значительное уменьшение площади полосы поглощения колебаний гидроксильных групп (1634 см⁻¹) в ИК-спектрах сапропелей, подвергшихся прокаливанию, свидетельствует о

снижении в них после дегидратации количества кристаллизационной воды. Для ИК-спектров активированных сапропелей характерно смещение ряда основных полос по сравнению со спектром исходного сапропеля, увеличение площадей полос поглощения [2, 7].

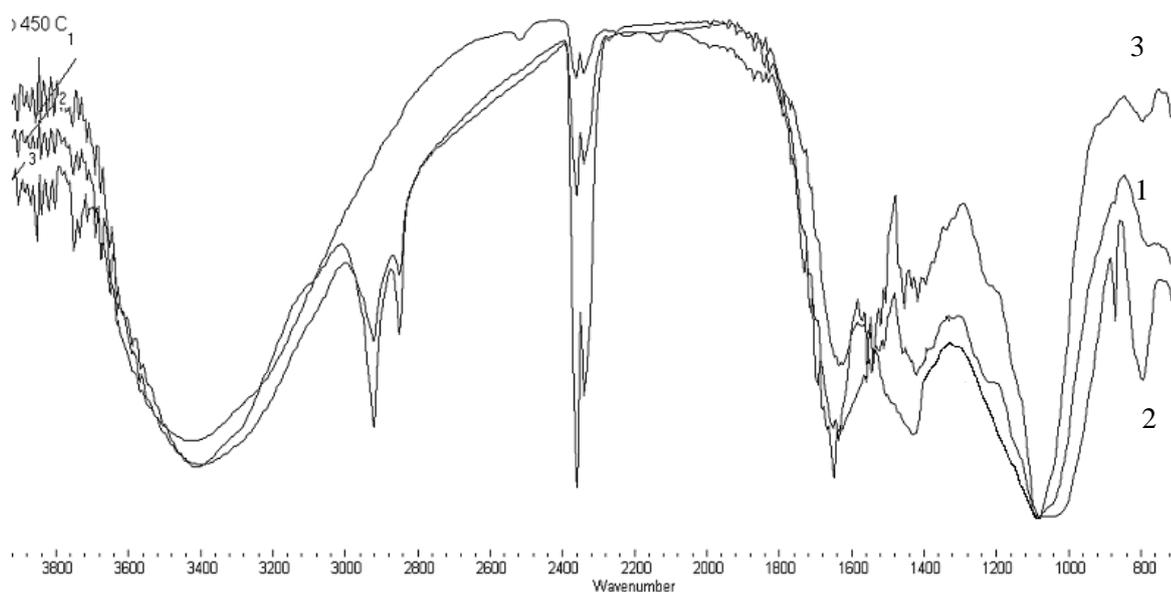


Рисунок 1. ИК – спектры сапропелей: 1 – исходные; 2 – прокаленные в муфельной печи; 3 – активированные в планетарной мельнице АГО-2 (составлено/разработано автором)

В ИК-спектрах природных цеолитов выделяют несколько областей поглощения, соответствующих разным видам колебаний: в интервале 800-1200 cm^{-1} наблюдаются валентные асимметричные колебания связей алюмокремниевого каркаса, в области 600-800 cm^{-1} – валентные симметричные, а ниже 600 cm^{-1} – деформационные колебания. Эти полосы поглощения (456, 606, 672, 724, 798, 994-1060 cm^{-1}) в полной мере проявляются в спектре природных цеолитов месторождения Хонгуруу (рис. 2). В интервале поглощения деформационных колебаний связей О-Н молекул воды в спектре исследуемого образца присутствует одна достаточно интенсивная полоса при 1634 cm^{-1} . В области 3100-3700 cm^{-1} , соответствующей поглощению валентных колебаний связей О-Н, наблюдается широкая интенсивная полоса поглощения с максимумами 3624 и 3440 cm^{-1} .

Значительное уменьшение площади полосы поглощения колебаний гидроксильных групп (1634 и 3624 cm^{-1}) в ИК-спектрах цеолитов, подвергшихся прокаливанию, свидетельствует о снижении в них после дегидратации количества кристаллизационной воды. Для ИК-спектров активированных и прокаленных цеолитов характерно смещение ряда основных полос по сравнению со спектром исходного минерала, сильное уменьшение площади полосы поглощения 724 cm^{-1} , которую чаще всего связывают с кристалличностью минерала.

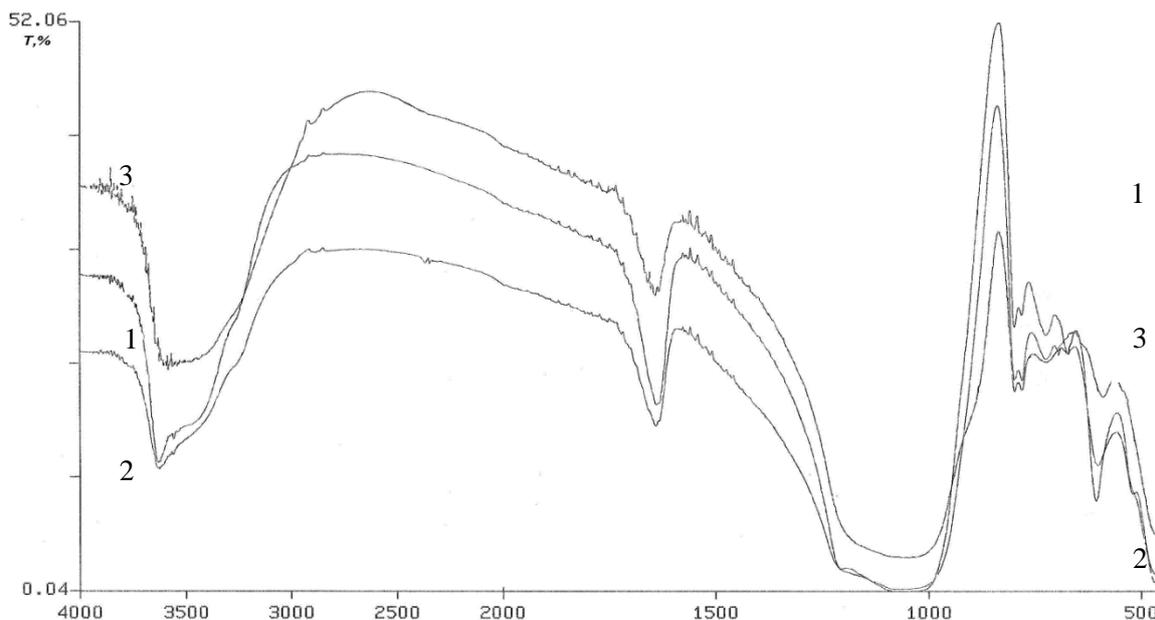


Рисунок 2. ИК – спектры природных цеолитов: 1 – исходные; 2 – прокаленные в муфельной печи; 3 – активированные в планетарной мельнице АГО-2 (составлено/разработано автором)

Данные ИК-спектров (рис. 3) свидетельствуют, что спектры исходного и измельченного бурых углей существенно отличаются. Так, в ИК-спектре исходного угля присутствует очень интенсивное, слаборазделенное поглощение в области $1750-1600\text{ см}^{-1}$, которое обусловлено колебаниями карбоксильной группы и колебаниями $\text{C}=\text{C}$ связи в бензольном кольце. ИК-спектры активированного угля с полосами поглощения при $1750-1600\text{ см}^{-1}$ характеризуются их сужением и смещением в область низких частот. Это свидетельствует о том, что при механической обработке бурого угля значительная доля карбоксильных групп изменяется при механодеструкции, что, однако не влияет на бензольные кольца (поглощение при 1600 см^{-1}) и хиноидные группы (поглощение при 1620 см^{-1}). Наряду с этим, в ИК-спектре активированного угля интенсивность полос поглощения при 2915 и 2845 см^{-1} значительно меньше, чем в ИК-спектре исходного угля. Это связано с тем, что при механической обработке угля происходит также механодеструкция алифатических структур. Значительные отличия в ИК-спектрах наблюдаются также в области $800-600\text{ см}^{-1}$, которая характеризует замещенные бензольные кольца.

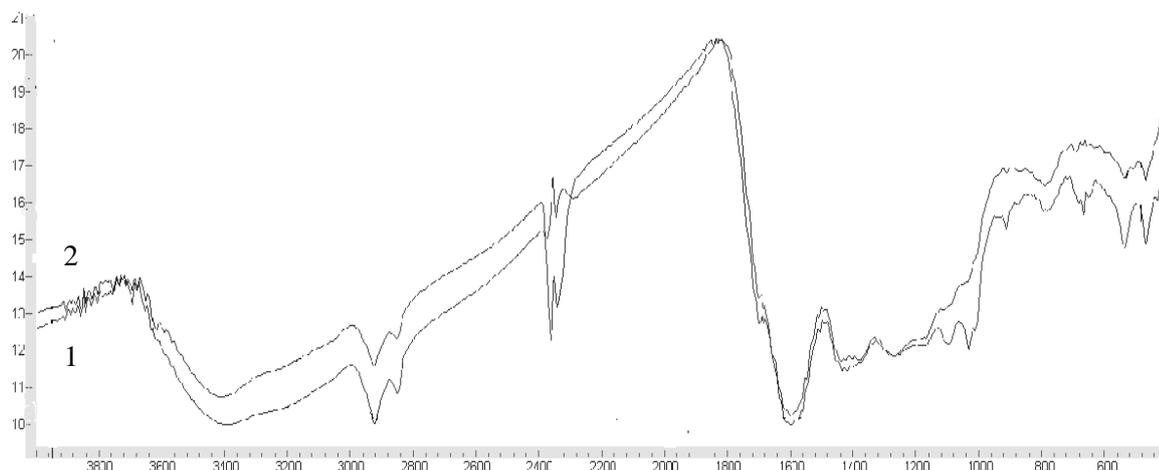


Рисунок 3. ИК – спектры бурых углей: 1 – исходные; 2 – активированные в планетарной мельнице АГО-2 (составлено/разработано автором)

Таким образом, механическая обработка бурых углей приводит к значительным изменениям в составе функциональных групп органической составляющей угля, к изменениям ее функционально-группового состава, а именно к уменьшению карбоксильных, карбонильных и алифатических групп, что могут значительно влиять как на свойства связующего, так и на свойства получаемых брикетов.

С целью установления влияния состава и технологических приемов на процессы структурообразования в буроугольных брикетах и, соответственно, на характер изменения свойств композиций проведены структурные исследования методом рентгеноструктурного анализа [4-6]. Результаты рентгеновского фазового анализа приведены на рис. 4-6, в которой использованы следующие обозначения: $2\theta^\circ$ – угол дифракции рентгеновского излучения; d – межплоскостное расстояние; α – степень кристалличности.

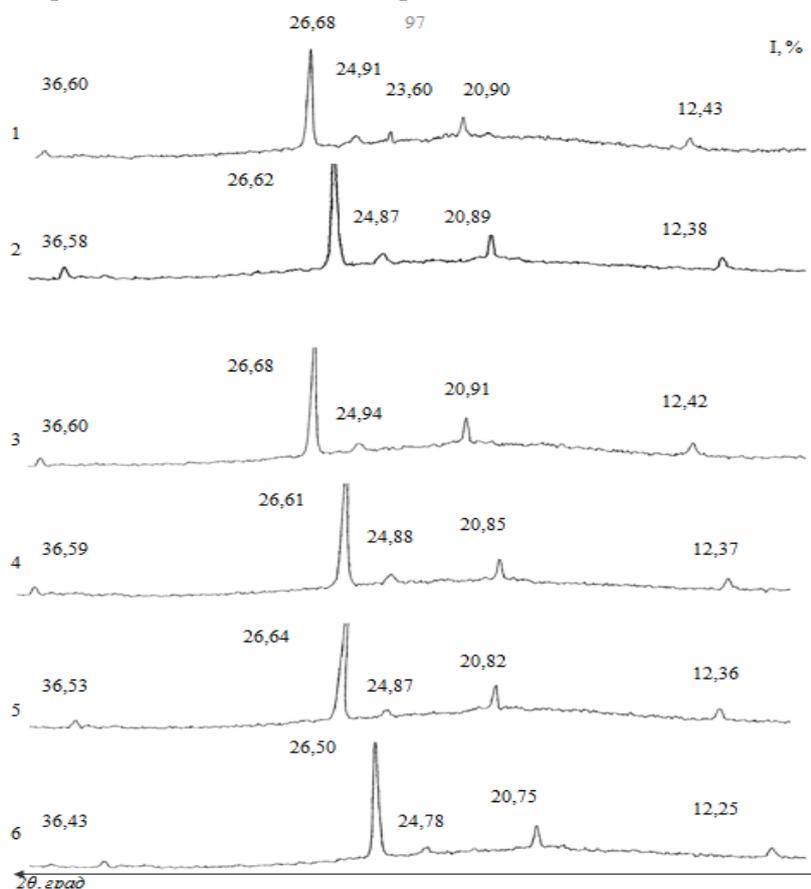


Рисунок 4. Рентгенограммы: 1 – брикета на основе гудрона при 25 °С; 2 – брикета на основе гудрона при 230 °С; 3 – брикета на основе гудрона модифицированного бурым углем (БУ) при 25 °С; 4 – брикета на основе гудрона модифицированного БУ при 230 °С; 5 – брикета на основе гудрона модифицированного акт. БУ при 25 °С; 6 – брикета на основе гудрона модифицированного акт. БУ при 230 °С (составлено/разработано автором)

Приведенные рентгенодифрактограммы имеют широкий максимум аморфного гало (интервал углов 2θ от 11 до 30°). Их сопоставление с кривой дифракции собственно исходного брикета на основе гудрона указывает на небольшой сдвиг максимума аморфного гало в брикетах с активированными добавками в сторону меньших углов дифракции (на $0,12^\circ$). Видно, что кристаллический пик всех образцов находится в диапазоне 26° и межплоскостные расстояния кристаллической решетки практически не изменяются. Установлено, что температурная обработка всех образцов брикетов приводит к повышению степени

кристалличности и, как следует, из полученных результатов, интенсивность кристаллического пика также зависит от природы наполнителя в связующей композиции.

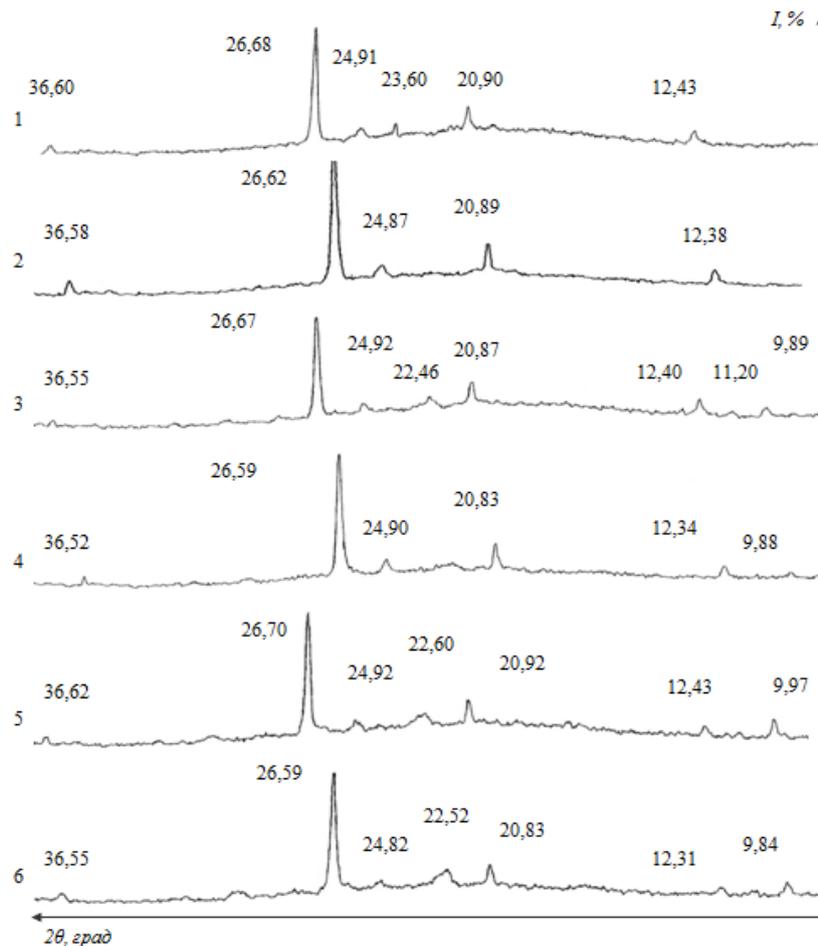


Рисунок 5. Рентгенограммы: 1 – брикета на основе гудрона при 25 °С; 2 – брикета на основе гудрона при 230 °С; 3 – брикета на основе гудрона модифицированного цеолитом (ЦТ) при 25 °С; 4 – брикета на основе гудрона модифицированного ЦТ при 230 °С; 5 – брикета на основе гудрона модифицированного акт. ЦТ при 25 °С; 6 – брикета на основе гудрона модифицированного акт. ЦТ при 230 °С (составлено/разработано автором)

Модифицирование связующего активированными наполнителями приводит к некоторому повышению степени кристалличности. Характер изменения α от содержания наполнителя свидетельствует о сложном характере влияния наполнителя на процессы кристаллизации образовавшегося полимерного вещества. Уменьшение α при введении сапропеля в связующую композицию, вероятнее всего, связано со снижением доли кристаллических областей вследствие агломерации частиц наполнителя и снижения скорости кристаллизации полимера, также при модифицировании гудрона органо-минеральными наполнителями их влияние распространяется, главным образом, на аморфные области.

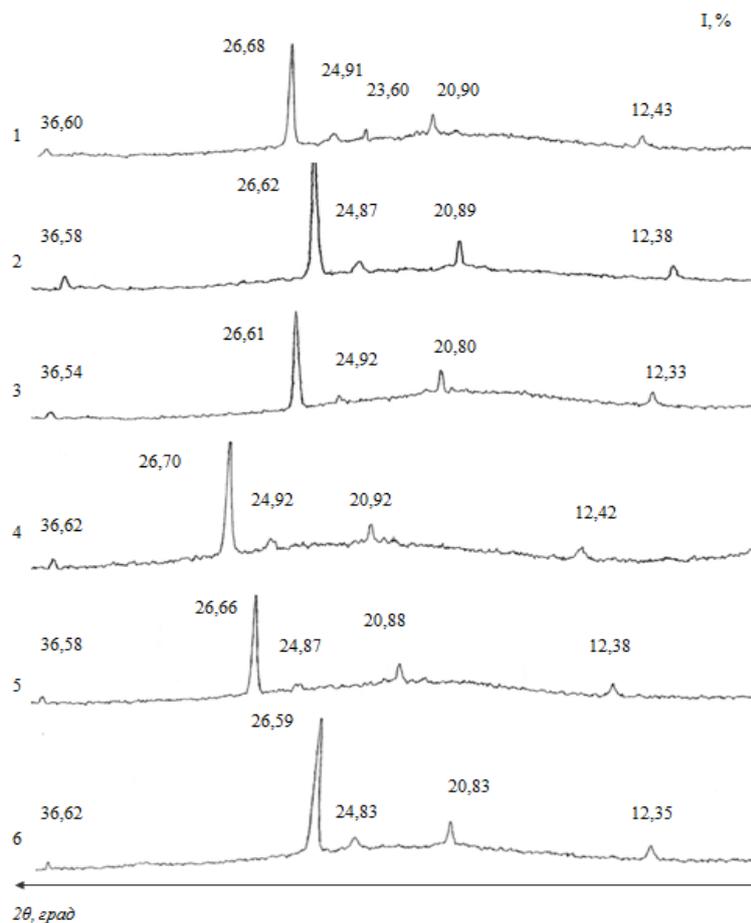


Рисунок 6. Рентгенограммы: 1 – брикета на основе гудрона при 25 °С; 2 – брикета на основе гудрона при 230 °С; 3 – брикета на основе гудрона модифицированного сапропелем (СП) при 25 °С; 4 – брикета на основе гудрона модифицированного СП при 230 °С; 5 – брикета на основе гудрона модифицированного акт. СП при 25 °С; 6 – брикета на основе гудрона модифицированного акт. СП при 230 °С
(составлено/разработано автором)

Таким образом, в результате комплексного исследования свойств и структуры буроугольных брикетов на основе гудрона, модифицированного органо-минеральными наполнителями, в работе экспериментально обоснованы закономерности влияния концентрации и состава наполнителей, а также технологических режимов направленного изменения свойств.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аввакумов, Е.Г. Механические методы активации в переработке природного и техногенного сырья [текст] / Е.Г. Аввакумов, А.А. Гусев. – Новосибирск: Гео, 2009. – 155 с.
2. Беллами, Л. ИК-спектры сложных молекул [текст] / Л. Беллами. – М.: ИЛ, 1963. – 593 с.
3. Карнаухов, А.П. Адсорбция. Текстура дисперсных и пористых материалов [текст] / А.П. Карнаухов. – Н.: Наука. Сиб. предприятие РАН, 1999. – 470 с.
4. Китайгородский, А.И. Рентгеноструктурный анализ [текст] / А.И. Китайгородский. – М.: Химия, 1950. – 254 с.
5. Мартынов, М.А. Рентгенография полимеров [текст] / М.А. Мартынов, К.А. Вылегжанина. – Л.: Химия, 1972. – 96 с.
6. Миркин, Л.И. Справочник по рентгеноструктурному анализу поликристаллов [текст] / Л.И. Миркин. – М.: АН ССР, 1961. – 547 с.
7. Наканиси, К. Инфракрасные спектры и строение органических соединений [текст] / К. Наканиси. – М.: Мир, 1965. – 210 с.
8. Николаева Л.А., Попов С.Н. Связующие композиции для брикетирования бурого угля [текст] / Л.А. Николаева, С.Н. Попов; Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2013. – № 3. – С. 127-132.
9. Николаева Л.А., Буренина О.Н. Особенности брикетирования бурого угля Ленского бассейна [текст] / Л.А. Николаева, О.Н. Буренина; Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2012. – № 3. – С. 168-174.
10. Николаева Л.А., Попов С.Н. Механохимическая активация сапротелей как способ получения модификатора связующих для бурого угля брикетов [текст] / Л.А. Николаева, С.Н. Попов; Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2011. – № 1 (48). – С. 138-142.
11. Николаева, Л.А. Брикетирование бурого угля с использованием модифицированного гудрона: Автореф. ... дис. канд. техн. наук. – Иркутск: ИрГТУ, 2011. – 20 с.

Nikolaeva Lira Aleksandrovna

Institute of oil and gas problems of the Siberian branch Russian academy of sciences, Russia, Yakutsk
E-mail: lanikolaeva_ipng@mail.ru

Development and structural studies of agglomerates from coal waste

Abstract. The article presents experimental data obtained during briquetting of brown coal fines. The problem of rational use of brown coal from the Kangalassky deposit is associated, first of all, with a high content of fine fractions, reaching up to 50 % of the total amount extracted. The rational methods of efficient use and conservation of coal, in the first place, include the briquetting of fines, which uses the task of converting a low-grade, having limited sales of fuel, into a full lump fuel, convenient for transportation, long-term storage and incineration.

The authors selected binder from the oil of the Talakanskoye field, modified to improve the adhesion interaction, mechanically activated organic and mineral fillers: dried lake sapropel, natural zeolite, and brown coal. A prerequisite for the use of dispersed substances of organic and mineral origin as modifying additives in the filling of binder in the technology of briquetting brown coal, in addition to an extensive resource base and cheapness, were their specific properties due to their increased specific surface area, porosity, and high adsorption characteristics.

The optimal compositions and technological regimes for obtaining composite coal fuel briquettes have been determined, and the technical characteristics of the briquettes obtained have been determined.

Keywords: briquette; brown coal; binders; tar; sapropel; zeolite; briquetting

REFERENCES

1. Avakumov E.G., Gusev A.A. (2009). Mekhanicheskie metody aktivatsii v pererabotke prirodnogo i tekhnogenogo syr'ya. [*Mechanical methods of activation in the processing of natural and technogenic raw materials.*] Novosibirsk: Geo, p. 155.
2. Bellami L. (1963). IK-spektry slozhnykh molekul. [*IR spectra of complex molecules.*] Moscow: IL, p. 593.
3. Karnaukhov A.P. (1999). Tekstura dispersnykh i poristykh materialov. [*Texture of dispersed and porous materials.*] Novosibirsk: Science. Sib. Enterprise of RAS, p. 470.
4. Kitaigorodskii A.I. (1950). Rentgenostrukturnyi analiz. [*X-ray diffraction analysis.*] Moscow: Chemistry, p. 254.
5. Martynov M.A. (1972). Rentgenografiya polimerov. [*Radiography of polymers.*] Leningrad: Chemistry, p. 96.
6. Mirkin L.I. (1961). Spravochnik po rentgenostrukturnomu analizu polikristallov. [*Handbook of X-ray diffraction analysis of polycrystals.*] Moscow: Academy of Sciences of the USSR, p. 547.
7. Nakanisi K. (1965). Infrakrasnye spektry i stroenie organicheskikh soedinenii. [*Infrared spectra and structure of organic compounds.*] Moscow: Peace, p. 210.
8. Nikolaeva L.A., Popov S.N. (2013). Binding compositions for briquetting of brown coal wastes. *News of the Higher Institutions. Mining Journal*, 3, pp. 127-132.
9. Nikolaeva L.A., Burenina O.N. (2012). The Lena Basin brown coal briquetting. *Journal of Mining Science*, 3, pp. 168-174.
10. Nikolaeva L.A., Popov S.N. (2011). Mechanochemical activation of sapropels as a way to obtain a modifier of binders for brown coal bricks. *The bulletin of irkutsk state university*, 1(48), pp. 138-142.
11. Nikolaeva L.A. (2011). Briketirovanie burogo uglja s ispol'zovaniem modifitsirovannogo gudrona. [*Briquetting of brown coal using modified tar.*] Irkutsk: Irkutsk State Technical University, p. 20.