

УДК.662.818

Сартова Кулумкан Абдыкеримовна,
кандидат химических наук, доцент, старший научный сотрудник
Камбарова Гульнара Бексултановна,
кандидат химических наук, старший научный сотрудник
Сарымсаков Шайдылда,
кандидат химических наук, старший научный сотрудник

**ИССЛЕДОВАНИЕ СВЯЗУЮЩИХ ВЕЩЕСТВ ДЛЯ БРИКЕТИРОВАНИЯ
МЕЛКИХ КЛАССОВ УГЛЕЙ КР**

Сартова Кулумкан Абдыкеримовна,
химия илимдеринин кандидаты, доцент, улук илимий кызматкер
Камбарова Гульнара Бексултановна,
химия илимдеринин кандидаты, улук илимий кызматкер
Сарымсаков Шайдылда,
химия илимдеринин кандидаты, улук илимий кызматкер
**КР МАЙДА КЛАССТАГЫ КӨМҮРЛӨРҮН БРИКЕТТӨӨ ҮЧҮН БАЙЛАНЫШТЫРУУЧУ
ЗАТТАРДЫ ИЗИЛДӨӨ**

Sartova Kulumkan Abdykerimovna,
Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, Senior Researcher
Kambarova Gulnara Beksultanovna,
Candidate of Chemical Sciences, Senior Researcher
Sarymsakov Shaidylda,
Candidate of Chemical Sciences, Senior Researcher

STUDY OF BINDING SUBSTANCES FOR BRIQUETTING OF SMALL CLASSES OF COALS KR

*Институт химии и фитотехнологий НАН КР ПКР, Бишкек,
Кыргызская Республика
КРП КР УИА Химия жана фитотехнология институту, Бишкек,
Кыргыз Республикасы
Institute of Chemistry and Phytotechnology of the NAS KR PKR, Bishkek,
Kyrgyz Republic*

Аннотация. Изучены физико-химические, технологические свойства и элементный состав углей ряда месторождений Кыргызской Республики. Установлено, что угли месторождений Кара-Кече и Ак-Улак в связи с низким содержанием битумов (0,44 % до 1,45 %) и низкими выходами первичной смолы в процессе брикетирования без применения связующих (СВ) веществ брикетироваться не будут. Найдены связующие вещества из местного легкодоступного и дешёвого сырья, позволяющего получать прочные брикеты. Установлены оптимальные параметры процесса брикетирования.

Ключевые слова: угольная мелочь, связующие вещества, брикетирование, брикеты, оптимальные параметры, смола, битумы

Аннотация. Кыргыз Республикасындагы бир нече жатактагы көмүрлөрдүн физика-химиялык, технологиялык касиеттери жана элементтик курамы изилденди. Кара-Кече жана Ак-Улак кендеринин көмүрүндө битум аз (0,44% дан 1,45%ке чейин) жана баштапкы чайырдын чыгышы аз болгондуктан улам, бириктиргичтерди колдонбой туруп брикет алынбай тургандыгы аныкталды. Байланыштыруучу заттар катары жергиликтүү жеткиликтүү, арзан

чийки заттар табылып, бышык бекем брикеттерди өндүрүүгө мүмкүндүк берди. Брикеттөө процессинин оптималдуу параметрлери түзүлдү.

Негизги сөздөр: көмүрдүн майдалары, байланыштыргычтар, брикеттөө, брикеттер, оптималдуу параметрлер, чайыр, битум

Abstract. The physicochemical, technological properties, and elemental composition of coal from several deposits in the Kyrgyz Republic were studied. It was established that coal from the Kara-Keche and Ak-Ulak deposits will not briquette without the use of binders. Due to their low bitumen content (0.44% to 1.45%) and low yields of primary resin, coal from the Kara-Keche and Ak-Ulak deposits will not briquette without the use of binders. Binders made from locally available, affordable raw materials were discovered, allowing for the production of durable briquettes. Optimal briquetting process parameters were established.

Key words: coal fines, binders, briquetting, briquettes, optimal parameters, resin, bitumen

Введение

Глобальный спрос на энергию, растущие цены на топливо и инфляция оказывают сильное давление на импорт энергии из развивающихся стран. Наблюдается интерес к технологии брикетирования угля [1] как к источнику бытового и промышленного топлива [2] из-за резкого роста цен на нефть. Брикеты являются лучшим топливом, чем сырой уголь, благодаря своим улучшенным механическим и термическим свойствам [3].

Одним из существенных недостатков угольной промышленности Кыргызской Республики является высокий выход мелочи и штыбов, составляющих более 50% в суммарной добыче углей, которые все меньше находят практическое применение и получение из них кускового топлива представляет эколого-экономический интерес [4].

Ввиду того, что наши угли относятся к неспекающимися и непластичным углям, к тому же с низким содержанием битумов и первичной смолы брикетирование их без связующих невозможно.

Содержание битумов в углях разрабатываемых месторождений Кыргызстана очень низкое (0,3-0,8%), а выход первичной смолы процесса полукоксования также невысокий (0,96-10,6%). В связи с низким содержанием битумов и первичной смолы, мелкие классы углей месторождений Кыргызстана не поддаются брикетированию без применения связующих веществ (СВ).

Вследствие этого нами была изучена возможность получения брикетов из угольной мелочи с использованием связующих из растительного сырья и отходов различных предприятий.

В качестве СВ для брикетирования угольной мелочи широко применяются каменноугольной пек, нефтяные битумы, сульфолгнны бумажной промышленности, смеси сахаров (моно-ди-олигосахариды), парафины, силиконовые масла и др. [5-6].

Эти вещества для нашей Республики являются дефицитными и труднодоступными. Поэтому поиск дешевых и экологически чистых СВ из местных источников сырья является **актуальной задачей**.

Утилизация мало востребованных классов углей различных марок (отсевы, шламы и т.п.), являющихся фактически отходами угледобычи и углеобогащения, становится острой проблемой в районах производства и потребления угля. Проблема решается при производстве брикетированного угля [7].

Поэтому перед нами поставлена цель нахождения легкодоступных и недорогих связующих, которыми могут стать отходы ряда промышленных предприятий, а также растительное сырье.

Объекты и методы исследования. Объектом исследования являлись угли месторождения Жыргалан, Кызыл-Кия, Кара-Кече, Ак-Улак, Согуты, Сулюкты, Кашка-Су Кыргызской Республики, а также продукты пиролиза – смола, карбонизат, растительные остатки – листья, стебли, каолин, картоны, изношенные резиновые камеры, опилки.

Методы исследования

Методы брикетирования:

Брикетированию подвергались угли со степенью измельчения < 1 мм. Уголь и связующие вещества тщательно перемешивали до получения однородной массы. Шихту загружали в пресс-форму и

прессовали под давлением 150-1500 кг/см². Полученные брикеты высушивали на воздухе при комнатной температуре. Затем готовые брикеты испытывали на прочность, на сжатие и на сбрасывание, влагопоглощение.

Механическая прочность на сбрасывание. Для определения механической прочности брикетов при испытании сбрасыванием целые брикеты, предварительно взвешенные, загружали в контейнер с открывающимся дном и помещали его над металлической плитой на высоте 1,5-2 м и сбрасывали брикеты на плиту. После четвертого сбрасывания испытываемые брикеты и их куски собирали и подвергали рассеву аналогично как при испытании на истирание. Оставшиеся на сите мелочь брикеты собирали в контейнер и взвешивали.

Механическая прочность на сжатие. Механическая прочность на сжатие важна, так как брикеты подвергаются различным видам механических нагрузок во время транспортировки, складирования и использования, и они должны сохранять свою целостность. Метод заключается в сжатии брикета под действием силы и фиксации момента его разрушения. Это позволяет оценить надежность брикетов при транспортировке и хранении.

Водостойкость брикетов оценивали приростом массы брикетов в процентах после 2 и 24 часов пребывания под водой.

Обсуждение полученных результатов.

Из разрабатываемых месторождений

Кыргызской Республики в Кызыл-Кия, Сулюкта, Согуты, Алмалык, Кара-Кече, Ак-Улак добываются плотные бурые угли марки БЗ. Месторождение угля Ак-Улак, как и Кара-Кечинский уголь относится к Кавакскому буроугольному бассейну. Однако Ак-Улакский уголь более обуглероженный и высококалорийный. Выход первичной смолы в 2,5 раза (5,55%) выше по сравнению с Кара-Кечинским углем.

Выбор углей месторождений Кара-Кече и Ак-Улак в качестве объекта исследования обусловлен, во-первых, в настоящее время разрабатывается открытым карьерным способом, во-вторых, геологическим запасом - Кавакский буроугольный бассейн считается самым перспективным.

Исследуемая проба Кызыл-Кийского угля является со средней зольностью, выход первичной смолы достигает 7,5%, что делает возможным получение брикетов из него без добавления связующих веществ, используя процесс термобрикетиования.

Исследуемая проба угля месторождения Жыргалан относится к длиннопламенным углям марки Д. Уголь высококалорийный, с высоким выходом первичной смолы (10,65%), что позволяет брикетировать его без добавлений связующих веществ.

На первом этапе исследования изучены технические и физико-химические характеристики углей месторождений Жыргалан, Кызыл-Кия, Кара-Кече и Ак-Улак, Согуты Кыргызской Республики (табл. 1-3).

Месторождение углей	Содержание, daf %					
	Марка угля	W ^a	A ^d	B ^d	V ^{daf}	Q ^{daf} Ккал/кг
Кара-Кече	Б	11,58	10,14	0,44	37,45	7275
Агулак	Б	9,26	4,24	0,75	36,11	7395
Кызыл-Кия	Б	9,68	15,25	1,31	37,92	7100
Согуты	Б	8,57	14,53	0,42	41,86	7131
Жыргалан	Д	3,66	11,47	1,45	38,93	7500

Таблица 2. Элементный анализ углей

Месторождение	В процентах на daf				
	C ^{daf}	H ^{daf}	N ^{daf}	S ^{daf}	O (по разность)
Кара-Кече	78,38	4,84	1,38	1,31	14,09
Агулак	78,19	4,12	1,14	1,32	15,23
Кызыл-Кия	77,86	4,35	1,17	1,71	14,91
Жыргалан	80,58	5,12	1,23	1,33	11,74
Согуты	76,74	4,33	1,21	0,82	16,90

Таблица 3. Выход продуктов пиролиза углей

Месторождение угля	Тем-ра процесса °C	Выход карбониз %	Выход жидк. конд, %	Газ+потери, %
Жыргалан	500	77,53	12,52	9,95
Кара-Кече	500	80,09	5,57	14,34
Капка-Суу	500	70,53	22,15	7,32
Согуу	500	67,46	14,74	17,80
Ак-Улак	500	86,83	4,24	8,93
Кызыл-Кия	500	82,64	7,52	9,84

Как видно из таблицы 1, 3 выход первичной смолы в углях Кавакского бурогоугольного бассейна невелик от 2,2 % до 5,5 %, а битумов от 0,44 до 1,45 %. В углях Кызыл-Кия и Жыргалан выходы первичной смолы составляют 7,5 % и 10,65 % соответственно. Следовательно, угли месторождений Кара-Кече и Ак-Улак в связи с низким содержанием битумов (0,44 % до 1,45 %) и низкими выходами первичной смолы в процессе полукоксования не будут спекаться и брикетироваться без применения дополнительного количества связующих веществ.

Из проведенных исследований установлено, что брикеты, полученные из этих углей при давлении прессования 150-300 кг/см² без добавления связующих веществ рассы-

паются сразу, а образовавшиеся брикеты при более высоких давлениях прессования (500-1000 кг/см²) разрушаются при легком нажатии.

Характеристика связующих веществ

В качестве связующих были испытаны следующие дешевые и легкодоступные материалы: каолин (пропласт угольного пласта на месторождении Кара-Кече), опавшие с деревьев сухие листья.

Каолин - встречается между угольными пластами на угольном карьере Кара-Кече. При добыче угля пласт каолина идет в отвал. Поэтому он является легкодоступным и дешевым сырьем. Химический состав каолина приведен в табл. 4.

Таблица 4. Химический состав каолина

Образец	Содержание основных компонентов, %					
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	(Na,K) ₂ O
Каолин	47-53	32-38	0,3-0,8	Следы-0,5	0,1-1	0,2-3,5

Нами использованы в качестве связующих веществ сухие листья опавшие с деревьев, характеристика которых приведена в табл. 5.

Таблица 5. Технический и химический состав листьев

Образец	Технический анализ % на daf				Элементный состав % на daf				
	W ^a	A ^d	V _c ^d	B _c ^d	C	H	N	S	O
Опавшие листья	7,31	7,12	74,2	3,57	48,91	6,97	2,15	1,28	40,69

Угли месторождений Жыргалан и Кызыл-Кия имеют выход первичной смолы в пределах 7,5-12%, что является более высоким по сравнению с углями месторождений Ак-Улак и Кара-Кече. Поэтому, возможно получение угольных брикетов из этих углей без добавления связующих веществ, исполь-

зуя метод термобрикетирования.

Методы термобрикетирования без добавления связующих веществ

В последние годы особое внимание уделено разработке технологии производства термобрикетного топлива. Смола полукоксования, частично удаляемая в процессе термобрикетирования, служит

связующим при образовании брикетов, при этом происходит физическая пластификация зерен угля и химическое взаимодействие.

Сущность метода сводится к тому, что шихта для брикетирования нагревается до

определенной температуры (нагрев проводили при температуре 165°C). При нагреве угля до 165°C и давлении прессования 1000 кг/см² брикеты достигали прочности на сжатие 40-50 кг/см². Результаты брикетирования приведены в табл. 6.

Таблица 6. Результаты брикетирования

Место- рождения углей	Соотношение компонентов			Связую- щее	Давление прес- сования, кг/см ²	Прочность на	
	уголь	связу- ющее	вода			сжатие кг/см ²	Сбра- сы-вание, м
Кара-Кече	8	1	1	Листья	150	350	2
Кара-Кече	7	2	1	Листья	500	13	-
Кара-Кече	8	2	-	Листья	200	180	1,5
Кара-Кече	5	4/1	-	Листья/ каолин	200	250	2
Кара-Кече	10	1/1	1	Листья/ каолин	200	150	1
Термобрикетирование							
Кызыл-Кия	10	-	-	-	1000(165°C)	40	1,5
Кызыл-Кия	10	1/1	1	Каолин/ листья	1000	150	1,5
Жыргалан	10	-	-	-	1000(165°C)	50	1,5
Жыргалан	7	1/1	1	Каолин/ листья	1000	100	1,5

Хорошие прочные брикеты получились на ручных гидравлических прессах при невысоком давлении прессования со связующими веществами (листья) при соотношении **8:1:1**, где прочность на сжатие достигала 350 кг/см². Также прочные брикеты получились при давлении (200 кг/см²) со смешенными связующими веществами: уголь: каолин : листья (**5:1:4; 10:1:1**) где прочность на сжатие была от 150 до 250 кг/см², а на сбрасывание более 1,5 м.

Показано, что при введении в состав смолы дополнительных компонентов – каолина и древесных опилок, механическая прочность брикетов увеличивается.

Следующим этапом работы было нахождение связующих - смол из древесных отходов и резиновых изделий, полученных путем их пиролиза, т. е. термическим разрушением их органической массы.

Пиролиз древесных отходов и изношенных резиновых камер

Пиролиз проводили без доступа воздуха. Степень измельчения исходного сырья 5-6 мм в диаметре и 15-25 мм в длине. Скорость нагрева 10°C/мин. Конечная температура 500°C. При достижении конечной температуры процесс выдерживали в течение 30 мин. В процессе пиролиза образуется три вида продуктов разложения – карбонизат, жидкий конденсат и газ. Выход жидкого конденсата из древесных отходов, интересующего нас как связующее вещество, высокий и в среднем составляют 51,5 % на сухую массу древесины.

Жидкий конденсат в суммарном составе испытали в качестве связующего вещества. Образовавшиеся брикеты разрушались на воздухе, что, по-видимому, связано с присутствием легкокипящих фракций в составе конденсата. Поэтому, жидкий конденсат подвергался фракционной перегонке при атмосферном давлении. При этом было получено 6 фракций с

температурами кипения 30-35, 55-65, 70-100, 130-150, 200-220°C и густой веский остаток, выход которого составил - 46,7 % от общей массы жидкого конденсата. Фракции с 1 по 5 – жидкие углеводороды, в основном насыщенные. Фракция 6 (> 220°C) - липкая, тягучая масса, которую использовали

в качестве связующего вещества для брикетирования угольной мелочи, как в индивидуальном виде, так и с добавлением других компонентов. Результаты брикетирования со связующими из отходов древесной и резиновой промышленности приведены в табл. 7.

Таблица 7.

Характеристика угольных брикетов, полученных с использованием смолы

Связующее	Соотношение компонентов в шихте			Давление прессования кг/см ²	Прочность на		Термоустойчивость	Водоустойчивость %
	уголь	смола	каолин		сжатие кг/см ²	сбрасывание, М		
Смола древесных стружек	8	2	-	100	48	>	Форма брикета сохраняется	3,2
Смола древесных стружек + каолин	7	2	1	100	52	>	-//-	3,08
Смола резиновой камеры	9	1	-	80	175	>	-//-	-
Смола резиновой камеры + каолин	8	1	1	80	280	>	-//-	-
Смола резиновой камеры + древесные опилки	8	1	1	80	300	>	-//-	-

При использовании смолы из резиновой камеры получают прочные угольные брикеты. Введение в состав шихты дополнительных компонентов (каолин, древесные опилки) еще более усиливается прочность брикетов на сжатие, особенно при введении древесных опилок.

Были изучены возможности получения угольных брикетов путем введения в состав шихты таких распространенных отходов, как бумажные картоны, листья, известковое молочко, цемент, глина, жидкое стекло с одновременным изменением давления прессования и степени измельчения.

Более прочные брикеты получены с добавкой сухого цемента из расчета 1% к общей массе угольной шихты, где при давлении прессования 150, 250, 500 кг/см². Оптимальное давление прессования при этом 250 кг/см². Но брикеты получились не водостойчивы, при термообработке они не сохраняли формы.

При введении в шихту жидкого стекла образуются более прочные брикеты. При соотношении уголь: жидкое стекло (10:1) прочность брикета на сжатие достигает 84 кг/см², а при увеличении давления прессования до 180 кг/см² прочность угольного брикета на сжатие достигает до 200 кг/см².

Изучение давления прессования

Изучено влияние давления прессования на качество образовавшихся угольных брикетов. При проведении этих экспериментов менялись только давление прессования, а

соотношение компонентов массы, составляющих шихту для брикетирования, степень измельчения угля оставались постоянными во всех опытах. Полученные результаты экспериментальных исследований приведены табл. 8.

Таблица 8

Изменение характеристики угольных брикетов с ростом степени давления прессования

Степень измельчения, мм.	Соотношение компонентов в шихте				Давление прессования, кг/см ²	Прочность на	
	уголь	глина	Н О	картон		сжатие, кг/см ²	сбрасыв, м
0,5	10	1	1	0,25	5	Разруш.	-
0,5	10	1	1	0,25	150	14,6	>
0,5	10	1	1	0,25	250	19,8	1
0,5	10	1	1	0,25	500	28,3	1,5
0,5	10	1	1	0,25	750	30,8	1,5
0,5	10	1	1	0,25	1000	31,2	1,5

Увеличение давления прессования оказывает определенное положительное влияние на качество образовавшегося брикета, т. е. увеличивает прочность на сжатие и на сбрасывание. Прочность угольного брикета растёт до давления прессования 500 кг/см², а дальнейшее повышение давления не оказывает заметного роста на прочность брикета. Брикет характеризуется высокой теплотворной способностью (6990 ккал/кг), имеют низкий выход летучих веществ и незначительное содержание кислорода.

Выводы

1. Исследованы физико-химические характеристики угля месторождений Кыргызстана. Показано, что угли м. Кара-Кече и Ак-Улак без связующих веществ брикетироваться не могут, а из углей м. Кызыл-Кия и Жыргалан возможно получение брикетов путем горячего прессования.

2. Найдены связующие вещества из легкодоступного и дешевого сырья - каолин, смолы древесных отходов, листья опавшие, изношенные резины, опилки, картоны и др.

3. Подобраны оптимальные режимы брикетирования со связующими веществами - уголь: каолин: листья (10:1:1; 5:4:1), где прочность на сжатие достигает от 150-250 кг/см².

4. Прочные угольные брикеты получают при добавлении смолы из резиновой камеры при относительно невысоком давлении 80 кг/см², а введение в состав шихты дополнительных компонентов усиливает прочность брикетов на сжатие от 175-300 кг/см².

5. Оптимальным режимом для термобрикетирования углей является давление прессования 800 кг/см², температура нагрева шихты 165⁰С, крупность угля не более 1,0 мм.

Список литературы:

1. Bajwa, D.S.; Peterson, T.; Sharma, N.; Shojaeiarani, J.; Bajwa, S.G. A review of densified solid biomass for energy production. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2018, 96, 296–305. [CrossRef];
2. Fajfrlíková, P.; Brunerová, A.; Roubík, H. Analyses of waste treatment in rural areas of east java with the possibility of low-pressure briquetting press application. *Sustainability* 2020, 12, 8153. [CrossRef];
3. Zhang, G.; Sun, Y.; Xu, Y. Review of briquette binders and briquetting mechanism. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2018, 82, 477–487. [CrossRef];
4. Камбарова Г. Б., Литвиненко Т.А., Сарымсаков Ш.С., Сартова К.А. Брикетирование - как один из способов улучшения экологической обстановки регионов// Вестник КГПУ им. И.Арабаева. - Материалы междунар. практич. конферен, посвящ. 50-летию КГПУ -2002. - С.45-474;

5. Литвин Е.М. Новые связующие и пути дальнейшего совершенствования процессов брикетирования углеродистых материалов //Кокс и химия. 1991. – №3. – С. 21-23.;
6. Скрипник Е. А., Патапова Т.Н. Исследование свойств связующего для брикетирования угольной шихты //Кокс и химия. – 1992. – №2. С.8-20;
7. Сухомлинов Д.В., Кусков Е.Б., Кускова Я.В. Получение каменноугольных брикетов с низкой температурой воспламенения //Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал) 2013. No 5. 20 с. М.: Издательство «Горная книга».