

ИЗУЧЕНИЕ ДИФфуЗИОННЫХ ОБЛАСТЕЙ ИССЛЕДОВАНИЯ ГОРЕНИЯ БРИКЕТА С ВОЗДУШНЫМИ КАНАЛАМИ

А.Б. Артыкбаева¹, А.О. Жапекова¹, Б.У. Рахимова¹, М.И. Тулепов¹, Ж.Б. Кудьярова¹, Ж. Амир¹
¹Казахский национальный университет им. аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан

АННОТАЦИЯ

Главная цель производства угольных брикетов с воздушными каналами основана на изменении диффузионных потоков окислителя и повышении числа летучих. Выход летучих веществ, в свою очередь, зависит от количества воды, которая по мере испарения может значительно увеличивать количество летучих веществ. Исследовались угольные брикеты из некондиционного угля со связующими. Визуальные наблюдения после добавления крахмала показали уровень покрытия брикета. В частности, увеличение количества крахмала до 50% в составе угольного брикета позволило связующему двигаться глубже в пористую поверхность и занимать новые поровые пространства в угольной массе. Таким образом, из приведенных результатов следует, что термообработанные брикеты с новым связующим материалом по показателям механической прочности и атмосферо-водоустойчивости значительно превышают требования потребительских стандартов на бытовое брикетное топливо, предъявляемые на отечественном и зарубежном рынках.

Ключевые слова: Брикеты, диффузионные области, связующие вещество, крахмал, гудрон.

Введение. Многочисленные работы по созданию альтернативных источников тепловой энергии за счет производства топливных брикетов из вторичного использования горючих материалов обусловлены рядом причин. Это, прежде всего, потребность в утилизации промышленных и бытовых отходов, дефицит природного топлива в некоторых регионах, наконец, осознание необходимости экономного использования природных ресурсов.

Для брикетирования требуется добавление связующего материала, который удерживает брикет вместе для транспортировки, формирования брикета и хранения. Кроме того, прочность, термостойкость, эффективность сгорания и стоимость брикета также зависят от качества связующего для брикетов [1]. В работе Zhong и др., с добавлением 15 мас.% смешанных связующих (меласса = 13:2) сопротивление падению и прочность на сжатие высушенных брикетов увеличились до 56,6 раза/2 м и 13,06 МПа соответственно. Но добавление большого количества

связующих и поверхностно-активных веществ делало весь процесс неэкономичным и сложным. А добавление каменноугольного пека может привести к загрязнению окружающей среды в процессе горения [2]. Подбор качественного связующего значительно улучшает физико-химические и горючие свойства материала [5]. Кроме того, улучшается транспортировка. Многочисленные исследования [3-4] были проведены по производству и характеристике брикетов. Все исследованные связующие как эпоксидная смола, гудрон, крахмал и рисовая шелуха могут быть использованы при брикетировании композиционной шихты, однако каждое из них требует определенной последовательности в термообработке и определенных кинетических параметров.

Massaro и др. обнаружали, что с добавлением 10 % твердых бытовых отходов (полиэтилена низкой плотности) измеренная более высокая теплотворная способность угля увеличилась с 21,9 до 24,3 МДж/кг, а

брикет обладал хорошей водостойкостью. Однако предел текучести этих брикетов все еще был ниже 100 Н даже при добавлении 15 % полиэтилена низкой плотности. Брикеты, вероятно, должны иметь предел текучести в несколько раз больше 150 Н, чтобы быть пригодными в качестве замены угля [6]. Для приготовления брикета необходимо найти высокоэффективное связующее.

Методы исследования. В качестве объекта исследования для получения брикетов из угля и полимеров и исследования структуры и состава углей был выбраны угли месторождения Шубарколь, Каражира, региона Казахстана. Для проведения экспериментов смеси твердых полимерных остатков предварительно подвергали термообработке и затем совместно с углем проводили механообработку до размера частиц > 200 мкм. Для получения брикетов с воздушными каналами в лаборатории осуществлялось брикетирование с применением вставных каналов для создания концентрических отверстий и использованием пресса при давлении от 100 до 200 МПа со связующими в виде крахмала и без связующих добавок.

На рисунке 1 представлен пример брикета с воздушным каналом. Он имеет овальный размер с диаметром концентрических отверстий 0,01 м.

Результаты исследования. Визуальные наблюдения после добавления крахмала показали уровень покрытия брикета. Поверхность была более гладкой, покрытые поры больше не различимы, но наличие отверстий под покрытиями все еще может действовать как проход воздуха и помощь в процессе сгорания.

Немаловажную роль играет количество связующих в виде биомассы крахмала в увеличении количества летучих, обычно биомасса содержит высокое содержание летучих веществ от 70 до 86% и низкое содержание полукокса. Это делает биомассу высоко реактивным топливом, дающим более высокую скорость горения во время фазы инициализации, чем другие виды топлива. Бумажный картон, содержащий до 70 % летучих веществ приводит к легкому воспламенению брикета и пропорциональному увеличению длины пламени.

Были установлены оптимальные технологические режимы производства брикетов из некондиционных углей месторождение Каражира: прессование при – 150 МПа, влажность угля – 8- 10,5 %, дисперсность угля – 0-5 мм, температура предварительной обработки 230 °С и предварительная механоактивация с прогревом гудрона, древесного угля и полимерных материалов (таблица 1).



Рисунок 1 – Брикет с воздушными каналами

Температуру горения измеряли оптическим пирометром марки Raytek Zi 1M (2006 г.) предназначен для измерения температуры от 600 до 30000С. Изменения поверхности и структуры выявляли с помощью сканирующего электронного микроскопа NtegraThema.

Таблица 1 – Физико-механические характеристики синтезированных образцов брикетов

Состав брикетов	Прессование Р, МПа	Влажность угля, %	Дисперсность угля, мм	Прочность температурной до активации, Разрушение при МПа	Прочность после механоактивации с предварительной обработкой при 230°C Разрушение при МПа
80 мас. % С+20 мас. % гудрона;	150	10,5	0-5	0,5	0,7
75 мас. % С+15 мас. % гудрона+10 мас. % древесного угля;	150	9,5	0-5	0,4	0,6
75 мас. % угля+15 мас. % гудрона+0 мас. % ПЭТФ	100	8,5	0-5	1	1,2

Были приготовлены составы со следующим соотношением: 1) 80 мас. % угля + 20 мас. % гудрона; 2) 75 мас. % угля + 15 мас. % гудрона + 10 мас. % древесного угля; 3) 75 мас. % угля + 15 мас. % гудрона + 10 мас. % полимера были определены следующие основные характеристики: прочность при сжатии, зольность, выход летучих веществ, теплоты сгорания (таблица 1).

Результаты исследования показали, что введение в состав брикетов наполнителей гудрона и полимера приводит к значительному улучшению технических характеристик разработанных брикетов. Наибольшую прочность имеют брикеты при совместном использовании полимеров и гудрона с предварительной пробоподготовкой, в частности значение прочности при сжатии выше при связующих в 0,5 раза, а при механоактивации добавок – в 1,2 раза в зависимости от природы наполнителя.

Сжигание полученного брикетов показало, что возгорание брикетов происходит в течение двух минут, причем незначительное выделение копоти при загорании и горении наблюдается для брикетных образцов, содержащих как немодифицированный, так и модифицированный брикет (рисунок 2).



Рисунок 2 - Горение брикета состава 75 мас. % угля + 15 мас. % гудрона + 10 мас. % ПЭТФ

Обсуждение результатов. Исследовались параметры горения, которые включают температуру воспламенения, пиковую температуру, максимальную скорость горения и время выгорания, полученные из термопрофилей горения брикетов. Параметры сгорания (рисунок 3) четко отображают характеристики сгорания образцов брикетов, в частности уголь с гудроном характеризуется температурой воспламенения 470°C, что является наиболее легко воспламеняемым углем, в то время как уголь с жидким стеклом имеет самую высокую температуру воспламенения (580°C), но

при этом устанавливается стабильная пиковая температура горения (1000°C) и достигается самое длительное время выгорания (200-300 мин), что указывает на то, что уголь с жидким стеклом будет воспламеняться при высоких температурах и продолжит горение в течение длительного времени.

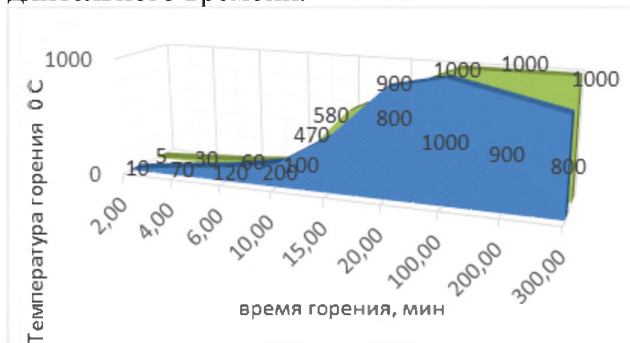


Рисунок 3 - Параметры горения угольных брикетов (синий уголь с гудроном, зеленый уголь с жидким стеклом)

Фиксированный углерод брикета, представляющий собой процент углерода (твердого топлива), доступного для сжигания полукочка после отгонки летучего вещества, был определен как 40,7% в синтезированном брикете при случае добавки в виде связующего гудрона (рисунок 4). Фиксированный углерод дает приблизительную оценку теплотворной способности топлива и выступает в качестве основного генератора тепла при горении.

Установлено, что количество фиксированного углерода увеличивает теплотворную способность по мере увеличения количества ароматической составляющей, последняя увеличивается в случае применения связующего в виде гудрона. Высокое содержание фиксированного углерода в брикете означает, что в процессе горения количество летучих с большим содержанием углерода может опередить количество летучих, образуемых от влажных составляющих и вследствие этого снизить количество избыточной влаги, отрицательно влияющей на суммарную теплотворную способность брикета.

В образцах брикетов со связующим от биомассы, когда отношение крахмала с избытком влажности увеличивается, содержание углерода в брикете также увеличивается. Это могло бы способствовать большему количеству атомов углерода в брикете.

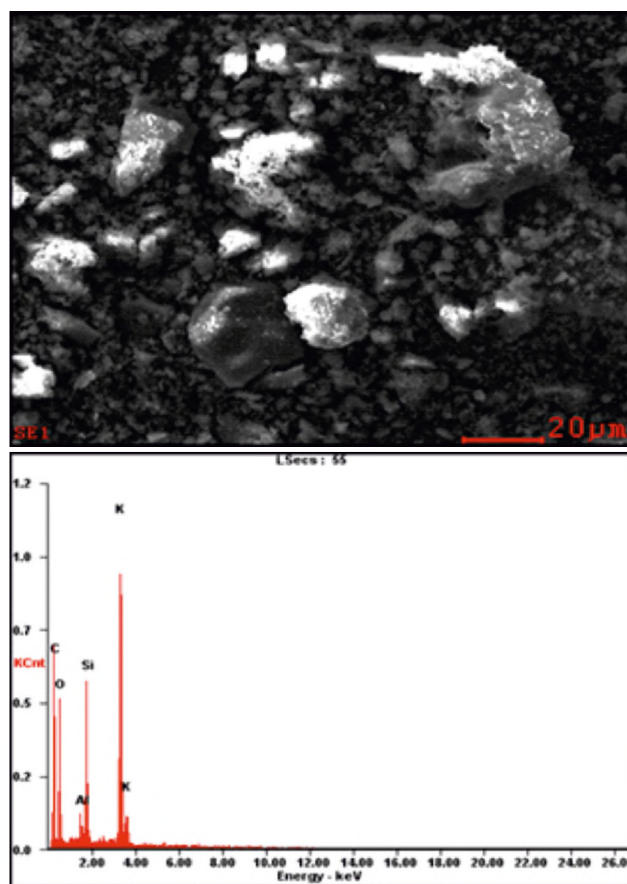


Рисунок 4 – СЭМ снимок фиксированного углерода с налетом золы

В образцах брикетов со связующим от биомассы, когда отношение крахмала с избытком влажности увеличивается, содержание углерода в брикете также увеличивается. Это могло бы способствовать большему количеству атомов углерода в брикете.

Визуальные наблюдения показывают, что при горении с безвоздушными каналами огранки брикетов окружены облаком продуктов сгорания, которые тормозят подвод кислорода к поверхности, вследствие этого интенсификация горения при безвоздушном горении объясняется исключительно увеличением суммарной реагирующей поверхности частиц.

Были подготовлены 4 образца с различным соотношением связующего и угля и обозначены соответствующими буквенными значениями А-В-С-Д. В таблице 2 приводятся измеренные физико-химические показатели брикетов.

Таблица 2 – Влияние соотношения уголь / связующее на объемную плотность, прочность на сжатие, скорость горения и время воспламенения

Уголь/ крахмал	Объемная плотность, г/см ³	Прочность на сжатие, МПа	Скорость горения, г/с	Время воспламенения, сек	Масса на разрушение, кг/ см ²
А -70/30	0,84	1-2 МПа	0,07	185	3,4
В -60/40	0,83	2-3 МПа	0,08	148	7,1
С -50/50	0,89	2-3 МПа	0,09	140	9,0
Д -30/70	0,80	3-5 МПа	0,09	186	4,1

Данные таблицы 2 показали, что результаты теста прочности на сжатие показывают, что отношение угля к связующему 30:70 (Д) имеет самую высокую прочность на сжатие, за которой следует 50:50 (С, В), а самое низкое - 70:30 (А). Из-за гигроскопических свойств крахмала влага может задерживаться внутри брикета. Высокая пластичность образца С была обусловлена большим количеством крахмала, смешанной с углем. Увеличение количества крахмала, добавленной в уголь, вызывало больший склеивающий эффект, но увеличивало количество влаги. Увеличение отношения связующее / уголь (Д) может сделать брикет менее устойчивым к растрескиванию, но сделало брикет податливым. По техническим показателям в период транспортировки и обработки брикет С более устойчив к разрушению, чем В, но менее устойчив к растрескиванию. Образец А показал слабую устойчивость как к разрушению, так и к растрескиванию.

Объемная плотность и прочность на сжатие показали обратную зависимость друг от друга. Результаты показывают, что брикет с самой низкой насыпной плотностью, которая составляет для образца Д (30:70) 0,80 г/см³, имеет самую высокую прочность на сжатие 3-5 МПа.

Следующим рассматриваемым техническим показателем брикетов было определение трещин и разрушении при подаче нагрузки. Как показали исследования первое появление и образование трещин на образце А появилось при нагрузке 3,93 кг, за которым следовал образец В, который начинал растрескиваться при воздействии 7,4 кг. Брикет С

показал максимальную прочность на сжатие, поскольку растрескивание происходило при значительно более высокой нагрузке - 9 кг. Крахмал улучшает адгезию частиц и образует прочные межчастичные связи между частицами, тем самым повышая стабильность материала, но в его избытке образец Д, происходит разрушение брикета.

Так, при температуре в окрестности частицы 1200°C и наличии достаточного количества свободного кислорода в топочном пространстве совокупность протекающих химических реакций может быть описана следующим итоговым уравнением:



А при температуре выше 1500 °С



Таким образом, при повышении температуры в окрестности частицы доля СО у ее поверхности возрастает. При подаче в топочное пространство количества воздуха достаточного для обеспечения нормального горения догорание СО происходит в потоке продуктов сгорания.

Выводы: 1. Брикеты угля с безвоздушными каналами в не зависимости от содержания связующего имеют сходную тенденцию пиролиза, которая происходит при температуре около 500°C, и этот процесс непрерывно продолжается вместе с их сжиганием, имеют сопоставимые характеристики горения: температура воспламенения 480-540°C, пиковая температура 600-1000°C и время выгорания 75-80 мин.

2. Введение в состав брикетов наполнителей гудрона и полимера приводит к значительному улучшению технических характери-

стик разработанных брикетов. Наибольшую прочность имеют брикеты при совместном использовании полимеров и гудрона с предварительной пробо подготовкой, в частности

значение прочности при сжатии выше при связующих в 0,5 раза, а при механоактивации добавок – в 1,2 раза в зависимости от природы наполнителя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Altun NE, Hicyilmaz C, Kök MV. Effect of different binders on the combustion properties of lignite part I. Effect on thermal properties. // *J Therm Anal Calorim.* -2001. -V. 65. -P. 787-795.
- 2 Zhong Q, Yang YB, Li Q, Xu B, Jiang T. Coal tar pitch and molasses blended binder for production of formed coal briquettes from high volatile coal. // *Fuel Process Technol.* -2017. -V. 157.- P. 12-19.
- 3 Ермагамбет Б.Т., Касенов Б.К., Бектурганов Н.С., Байбеков С.Н., Набиев М.А., Касенова Ш.Б. Чистые угольные технологии: теория и практика. -Караганда: Tengritd, 2013. - 276 с.
- 4 Ширшиков В. И. Химия и технология производства древесно-угольных брикетов. – СПб.:Химиздат, 2012. – 196 с.
- 5 Guojie Zhang, Yinghui Sun, Ying Xu. Review of briquette binders and briquetting mechanism. // *Renewable and Sustainable Energy Reviews.* -2018. -V. 82. -P.477–487.
- 6 Massaro MM, Son SF, Groven LJ. Mechanical, pyrolysis, and combustion characterization of briquetted coal fines with municipal solid waste plastic (MSW) binders. // *Fuel.* -2014. -V. 115. -P. 62-69.
- 7 Сухомлинов Д.В. Технологии изготовления топливных брикетов с низкой температурой воспламенения из отходов угольной промышленности // *Горный информационно-аналитический бюллетень.* - 2013. - № 5. - С.14-17.

АУА АРНАЛАРЫ БАР БРИКЕТТІҢ ЖАНУЫН ЗЕРТТЕУДІҢ ДИФФУЗИЯЛЫҚ АЙМАҚТАРЫН ЗЕРТТЕУ

Түйіндеме. Ауа арналары бар көмір брикеттерін өндірудің негізгі мақсаты тотықтырғыштың диффузиялық ағындарын өзгертуге және ұшқыш заттардың санын көбейтуге негізделген. Ұшқыш заттардың бөлінуі, өз кезегінде, булану кезінде ұшқыш заттардың мөлшерін айтарлықтай арттыруы мүмкін судың мөлшеріне байланысты. Байланыстырғыштары бар сапасыз көмірден көмір брикеттері алынып, зерттелді. Крахмал қосылғаннан кейін визуалды бақылау брикеттің жабылу деңгейін көрсетті. Атап айтқанда, көмір брикетінің құрамындағы крахмал мөлшерінің 50%-ға дейін артуы байланыстырғыштың кеуекті бетке тереңірек жылжуына және көмір массасындағы жаңа кеуекті кеңістіктердің алынуына мүмкіндік берді. Осылайша, жоғарыда келтірілген нәтижелерден, механикалық беріктігі және ауа-райына төзімділігі бойынша жаңа байланыстырғыш материалы бар термиялық өңдеуден өткен брикеттердің ішкі және сыртқы нарықта ұсынылған тұрмыстық брикеттік отынға тұтынушы стандарттарының талаптарынан айтарлықтай асып түсетіні белгілі болды.

Түйінді сөздер: Брикеттер, диффузиялық аймақтар, байланыстырғыш заттар, крахмал, гудрон.

STUDY OF DIFFUSION AREAS OF INVESTIGATION OF COMBUSTION OF A BRIQUETTE WITH AIR CHANNELS

Abstract. The main reasons for production of coal briquettes with air channels are based on changing the diffusion flows of the oxidizer and increasing the number of volatile. The yield of volatile substances, in turn, depends on the amount of water, which, as it evaporates, can significantly increase the amount of volatile substances. Coal briquettes made of substandard coal with binders have been studied. Visual observations after the addition of starch showed the level of coating of the briquette. In particular, an increase in the amount of starch up to 50% in the composition of the coal briquette allowed the binder to go deeper into the porous surface and fill new pore spaces in the coal mass. Thus, it follows from the above results that heat-treated briquettes with a new binder significantly exceed the requirements of consumer standards for household briquette fuel on the domestic and foreign markets in terms of mechanical strength and weather resistance.

Key words: Briquettes, diffusion areas, binders, starch, tar.

Сведения об авторах

Артыкбаева Аида, магистрант КазНУ им.аль-Фараби, e-mail: aidartykbaeva@gmail.com

Жапекова Анар, PhD докторант КазНУ им.аль-Фараби, e-mail: anarzhapekova83@gmail.com

Рахимова Бибигул, PhD докторант КазНУ им.аль-Фараби, e-mail: bibaarai1976@gmail.com

Тулпов Марат, кандидат химических наук, ассоциированный профессор КазНУ им.аль-Фараби, e-mail: Marat.Tulepov@kaznu.kz

Кудьярова Жанар, кандидат химических наук, e-mail: zhanar.kudyarova@gmail.com

Амир Жанибек, PhD докторант КазНУ им.аль-Фараби.