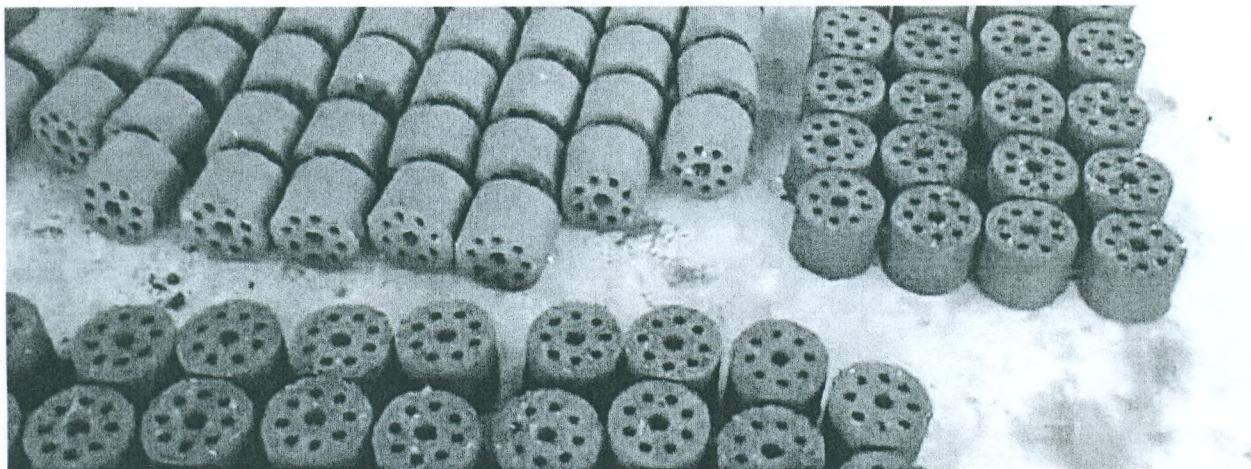


Д. Байсейтов  
М. Тулепов  
А. Жапекова  
А. Артыкбаева  
С. Турсынбек  
Ф. Абдракова  
С. Гизатова



## ИЗУЧЕНИЕ ГОРЕНИЯ УГОЛЬНЫХ БРИКЕТОВ С ВОЗДУШНЫМИ КАНАЛАМИ

Утилизация маловостребованных классов угля различных марок (отсевы, шламы и т. п.), являющихся фактически отходами угледобычи и углеобогащения, становится острой проблемой в районах производства и потребления угля. Большие объемы потерь угольной массы связаны с измельчением во время транспортировки и погрузо-разгрузочных работ и в течение хранения вследствие выдувания. Объемы угольной мелочи класса 0-13 мм, как правило, достигают 70-80 % уже на пункте погрузки угля потребителю [1].

Следует отметить, что угольные отсевы и шламы, являясь фактически отходами производства не уступают добываемому углю по качественным характеристикам. Шламы угольной промышленности типично имеют крупность от 0-0,5 до 0-3 мм и влажность около 20-50 %.

Производство топливных брикетов позволяет:

- получить высокосортное и транспортабельное топливо улучшенного качества;
- сократить потери угля при хранении, перевозках и сжигании;
- предотвратить самовозгорание угля;
- привлечь для коксования дополнительные ресурсы неспекающихся марок углей [2, 3].

Основным требованием к сырьевой смеси для производства брикетов являются гранулометрический состав шихты и расход связующего, оптимальный с точки зрения обеспечения заданной прочности как готового брикета, так и брикета-сырца, направляемого в сушилку. Помимо этого, готовый брикет должен обладать влагуустойчивостью, быть экологически безвредным и иметь достаточно низкую себестоимость, оставаясь конкурентоспособным видом топлива на рынке энергоресурсов [4, 5].

По назначению топливные брикеты бывают бытовые и промышленные. Основным потребителем бытовых брикетов является население. Промышленные брикеты используют как сырье для полукоксования и коксования, а также как индустриальное топливо. Особым видом бытовых топливных брикетов являются брикеты с низкой температурой воспламенения, которые отличаются улучшенными потребительскими качествами по сравнению с обычными брикетами [6, 7].

Применение органических веществ для цементирования угля имеет преимущество перед употреблением минеральных примесей, так как последние повышают зольность в угле и, следовательно, уменьшают его теплопроизводительную способность и затрудняют горение. Кроме того, прессование брикетов с такими прибавками проис-

ходит обычно в присутствии воды, и брикеты для употребления должны высушиваться, а в сухом состоянии они иногда притягивают влагу из воздуха. Из всех материалов, употребляемых для цементирования угля, наибольшее значение представляет каменноугольная смола (деготь каменноугольный), которая прибавляется к углю в количестве 5-10 % [8-11]. Связующими в угольных брикетах могут быть полимерные и композиционные материалы. Как известно, в последние десятилетия интенсивно развивается наука о композиционных материалах, и современное материаловедение в значительной мере посвящено изучению именно композиционных материалов [12, 13].

Брикетирование полезных ископаемых представляет собой сложный физико-химический процесс взаимодействия разобренных твердых частиц. Структура брикетов образуется путем непосредственных контактов частиц между собой или через прослойки связующих за счет прилагаемых усилий прессования. Разнообразие технологических приемов и специфичность отдельных видов окучиваемых минералов не позволяют создать единой теории брикетирования полезных ископаемых [14].

### Экспериментальная часть

В качестве объекта исследования для получения брикетов из угля и поли-

меров и исследования структуры и состава углей был выбран уголь месторождений «Шубарколь», «Каражира» и «Ой-Карагай» Центрального региона Казахстана.

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.

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.

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

Общая энергия, необходимая для доведения брикета до его пиролизической температуры, зависит от его влажностного содержания, которое влияет на внутреннюю температуру внутри брикета из-за эндотермического испарения. Общеизвестно [15], что влажность является одним из основных параметров, определяющих качество брикета. Более низкая влажность брикетов подразумевает более высокую теплотворную способность.

Прочность брикетов оценивалась методом раздавливания на прессе ИП-100 с контролем максимального усилия, которое выдерживает брикет. Определение прочностных характеристик производилось после остывания брикетов до комнатной температуры.

#### Результаты и их обсуждения

Основная задача производства угольных брикетов с воздушными каналами основана на изменении диффузионных потоков окислителя и увеличении количества летучих веществ. Выход летучих веществ, в свою очередь, зависит от количества влаги, которая по мере испарения может значительно увеличить их количество.

Немаловажную роль играет количество связующих в виде биомассы крахмала в увеличении количества летучих веществ, обычно биомасса содержит высокое содержание летучих веществ (от 70 до 86 %) и низкое содержание полукокса. Это делает биомассу высокореактивным топливом, дающим более высокую скорость горения во время фазы инициализации, чем другие виды топлива. К биомассам с низким

содержанием летучих веществ можно отнести навоз животных, который имеет низкое содержание летучих веществ, это приводит к тлению в начальной стадии горения и сопровождается значительным количеством дыма и выделением токсичных газов. Бумажный картон, содержащий до 70 % летучих веществ приводит к легкому воспламенению брикета и пропорциональному увеличению длины пламени.

Количество неорганических веществ, которые содержатся в некондиционном угле, достигает порядка 20-40 %. В процессе горения негорючий компонент брикета, представляющий собой в основном неорганические вещества переходит в золу. Согласно [16], зола оказывает существенное влияние на теплопередачу к поверхности топлива, а также на диффузию кислорода к поверхности топлива при сгорании полукокса. Поскольку зола является примесью, которая не сгорает, топливо с низким содержанием золы лучше подходит для термического использования, чем топливо с высоким ее содержанием. Более высокое содержание золы в топливе обычно приводит к увеличению выбросов пыли и влияет на объем и эффективность сгорания.

Фиксированный углерод брикета, представляющий собой процент углерода (твердого топлива), доступного для сжигания полукокса после отгонки летучего вещества, был определен как 40,7 % в синтезированном брикете при случае добавки в виде связующего гудрона (рис. 2). 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 веществ 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 к избытку влажности увеличивается, содержание углерода в брикете также увеличивается. Это могло бы способствовать большему количеству атомов

углерода в брикете. Последующие исследования показали, что брикеты с более высоким содержанием фиксированного углерода имеют более низкое содержание золы. Количество золы или остатка коррелирует с количеством фиксированного углерода и другого горючего компонента брикета.

На тепловые характеристики угольных брикетов оказывают влияния не только поток окислителей в воздушном канале, но и диффузионные потоки окислителя в межслоевом пространстве, образующихся в случае высыхания биомассы. 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.

Наибольшие значения скорости обдувания частиц угля потоком воздуха регистрируются при слоевом сжигании с воздушными каналами. При сжигании с безвоздушными каналами частицы несгораемого топлива перемещаются с потоком дымовых газов и скорости обтекания их тепловым потоком значительно ниже. 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 приводятся измеренные физико-химические показатели брикетов.

Увеличение количества крахмала, добавленного в уголь, вызывало больший склеивающий эффект, но увеличило 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 брикет 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) 0,8 г/см<sup>3</sup>, имеет самую высокую прочность на сжатие 3-5 МПа.

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

Уголь / крахмал	Объемная плотность, г/см <sup>3</sup>	Прочность на сжатие, МПа	Скорость горения, г/с	Время воспламенения, сек	Масса на разрушение, кг / см <sup>2</sup>
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
Д – 30 / 70	0,8	3-5 МПа	0,09	186	4,1



Рис. 1 – Брикет с воздушными каналами

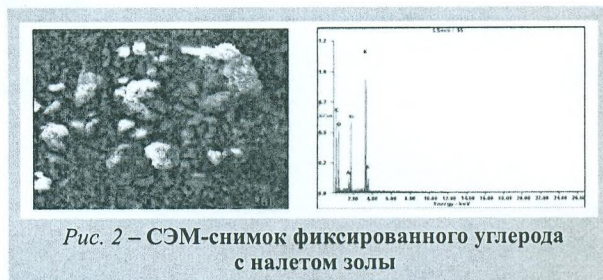


Рис. 2 – СЭМ-снимок фиксированного углерода с налетом золы

Следующим рассматриваемым техническим показателем брикетов было определение трещин и разрушение при подаче нагрузки. Как показали исследования, первое появление 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. Согласно [16], крахмал улучшает адгезию частиц и образует прочные связи между частицами, тем самым повышая стабильность материала, но при его избытке (образец Д) происходит разрушение брикета.

Таким образом, для описания массообменных процессов в диффузионной области исследования зависимости температуры горения брикета от времени с воздушными каналами необходимо принять модель некоей приведенной оболочки, на которой происходят процессы тепло- и массопередачи, согласно которой в ядре потока окислителя и выхода летучих веществ, омывающих частицы угля возникает интенсивный молярный перенос, вызванный турбулентными пульсациями горения, а в пределах условной пограничной пленки происходит только молекулярный перенос. Поэтому основной газовый поток можно считать однородным, а приведенная пограничная пленка является областью ярко выраженных градиентов температур, концентраций и парциальных давлений газобразных компонентов окислителя и летучих [17]. Установлено, что горение угольных брикетов с воздушными каналами основана на изменении диффу-

зионных потоков окислителя и увеличении количества летучих веществ. Выход летучих веществ, в свою очередь, зависит и от количества влаги, которая по мере испарения увеличивала количество летучих веществ до 10 %.

*Работа выполнена по проекту ИРН АР05131088 «Разработка технологии приготовления бурого углерода с мультиполимерным связующим» по программе: 217 «Развитие науки» подпрограмма: 102 «Грантовое финансирование научных исследований» Комитета науки МОН РК.*

#### Литература

- 1 Отчет о НИР «Технологическая оценка углей Ойкарагайского месторождения с целью их комплексной переработки» – Караганда, 2000 – 80 с.
- 2 Святец И. Е. Бурые угли как технологическое сырье [Текст] – М.: Недра, 1976 – 223 с.
- 3 Крапчин И. П., Кирсанова О. П., Емельянова Е. А. Эффективность использования окискованного угольного топлива // Комплексная переработка углей – М., 1988 – С. 88-96.
- 4 Малолетнев А. С. Новые процессы получения окискованного топлива // Химия твердого топлива – 2011 – № 3 – С. 45-51.
- 5 Кулебакин В. Г. Применение механоактивации в гидрометаллургических процессах – Новосибирск: Наука, 1988 – 272 с.
- 6 Молчанов В. И. Физические и химические свойства тонкоизмельченных минералов – Новосибирск: Наука, 1983. – 65 с.
- 7 Болдырев В. В. Экспериментальные методы в механохимии твердых неорганических веществ – Новосибирск: Наука, 1979. – 251 с.
- 8 Папин А. В., Игнатова А. Ю., Неведров А. В., Черкасова Т. Г. Получение топливных брикетов из тонкодисперсных отходов угледобычи и углепереработки // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых – 2015 – № 5 – С. 43-49.
- 9 Буравчук Н. И. Влияние технологических параметров на качество топливных брикетов из мелкозернистых угольных отходов // Химия твердого топлива – 2015 – № 5 – С. 25-32.
- 10 Сухомлинов Д. В. Технологии изготовления топливных брикетов с низкой температурой воспламенения из отходов угольной промышленности // Горный информационно-аналитический бюллетень – 2013 – № 5 – С. 14-17.
- 11 Ребиндер П. А. Поверхностные явления в дисперсных системах. Физико-химическая механика – М.: Наука, 1979 – 384 с.
- 12 Каблов Е. Н. Инновационные разработки ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ по реализации «Стратегических направлений развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года» // Авиационные материалы и технологии – 2015 – № 1 (34) – С. 3-33.
- 13 Гуняев Г. М., Каблов Е. Н. Конструкционные углепластики на рубеже веков / В кн. Авиационные материалы. Избранные труды «ВИАМ» 1932-2002: юбилейный научно-технический сборник – М.: МИСИС-ВИАМ, 2002 – С. 242-247.
- 14 Николаев М. А. Возможности получения эффективного брикетированного топлива на базе отходов сельского хозяйства и угольной промышленности // Academia. Архитектура и строительство – 2009 – № 5 – С. 395-397.
- 15 Гомонай М. В. Производство топливных брикетов. Древесное сырье, оборудование, технологии, режимы работы / Монография – М.: МГУЛ (Московский государственный университет леса), 2006 – 150 с.
- 16 Уманский А. М. Прессование порошковых материалов – М.: Металлургия, 1981 – 81 с.
- 17 Антоненко Л. А., Пилипенко Е. В., Домнин К. И., Волынкина Е. П., Аникин А. Е. Исследование возможности получения топливных брикетов из угольной мелочи // Труды Всероссийской научной конференции молодых ученых – Н.: Издательство, 2012 – С. 188-190.