

Д. Байсейтов  
М. Тулепов  
Л. Сасыкова  
А. Тасимханова  
Ш. Габдрашова  
Е. Марал  
О. Досжанов

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ТЕМПЕРАТУРЫ ГОРЕНИЯ УГОЛЬНОГО БРИКЕТА С БЕЗВОЗДУШНЫМИ КАНАЛАМИ ОТ ВРЕМЕНИ

• Стаття посвящена дослідженню залежності температури горіння вугільного брикету з безвоздушними каналами від часу. Досліджувалися вугільні брикети з некондиційного вугля з органічними та неорганічними зв'язуючими. Встановлено, що кінетичні області дослідження залежності температури горіння брикету визначаються температурою теплопередачі та спекання в замкнутій системі. Були проведені експерименти на зжиганні брикетів вугля з безвоздушними каналами в печі, температурні профілі яких показали, що термічне поведіння брикетів з неорганічним зв'язуючим в печі нестаціонарне.

• Мақала ауа арналары жоқ брикеттің жсануын зерттеуге арналған. Органикалық және бейорганикалық байланыстырғыштары бар кондициялық емес көмір брикеттері зерттелді. Брикеттің жсану температурасының тәуелділігін зерттеудің кинетикалық аймақтары түйықталған жүйеде жылу беру және агрегация температурасымен анықталатындығы анықталды; көмір брикеттерін пеште ауасыз каналдармен жсау бойынша тәжірибелер жүргізілді, олардың температуралық профильдері пеште бейорганикалық байланыстырғыштар бар брикеттердің термиялық әрекетін көрсетті.

• The article is devoted to the study of the dependence of the combustion temperature of a briquette on time by airless channels. Coal briquettes from substandard coal with organic and inorganic binders were investigated. It was found that the kinetic regions of the study of the dependence of the combustion temperature of the briquette are determined by the temperature of heat transfer and sintering in a closed system; experiments were carried out on the combustion of coal briquettes with airless channels in a furnace, the temperature profiles of which showed that the thermal behavior of briquettes with inorganic binders in the furnace is unsteady.

### Экспериментальная часть

В качестве объекта исследования для получения брикетов из угля и полимеров, исследования структуры и состава угля был выбран уголь месторождений «Шубарколь», «Каражира» и «Ой-Карагай» Центрального региона Казахстана. Для проведения экспериментов смеси твердых полимерных остатков предварительно подвергали термообработке, затем совместно с углем проводили механообработку до размера частиц более 200 мкм. Полученные смеси тщательно хранились с соблюдением мер предосторожности для предохранения от окисления, возможных источников загрязнения, которыми могут быть реактивы, атмосфера, пыль.

Для брикетирования использовался гидравлический автоматизированный пресс ИП-100 (рис. 1). Прессование осуществлялось в замкнутых цилиндрических матрицах диаметром от 10 до 25 мм. Расчетное количество компонентов брикетирования в определенной последовательности смешивалось до получения однородной массы и брикетировалось в прессе при давлении прессования 25 МПа, что соответствует развиваемому давлению в промышленных вальцевых прессах.

Температуру горения измеряли оптическим пирометром. Оптический пирометр марки Raytek 3i 1M (2006 г.) предназначен для измерения температуры от 600 до 3000 °С.

### Результаты и их обсуждения

Исследовались угольные брикеты из некондиционного угля со связующими (жидкое стекло, бумажный картон и гудрон). Результаты анализа показали различную теплотворную способность, самую высокую теплотворную способность (7832 ккал/кг) показал образец брикета с гудроном из-за его высокого фиксированного содержания углерода (табл.).

Кинетические параметры горения показали, что для горения образца брикета в диапазоне температур от 25 до 1200 °С необходимая скорость нагрева составляет 20 °С в минуту (рис. 2).

Из рисунка 2 видно, что температурные профили горения брикетов имеют сходные тенденции роста температуры со временем, в первые 20 минут – это первая стадия испарения воды, процесс мало влияет на его тепловое поведение. Далее идет стадия пиролиза при температуре около 500 °С, и этот процесс непрерывно идет вместе с их сжиганием. По мере возгорания в процессе пиролиза происходит потеря веса, сумма которой приближается к содержанию летучего вещества в брикетах, что указывает на то, что процесс пиролиза главным образом связан с улетучиванием летучих веществ.

Скорость протекания данного процесса определяется температурой и структурой углеродной поверхности брикета, и при высоких температурах он протекает практически мгновенно.



Теплотворная способность угольных брикетов с различными связующими

Образцы брикетов со связующими	Теплота сгорания, ккал/кг	Теплота сгорания, МДж/кг
Брикет со связующим из картона	6843	28,25
Брикет со связующим из жидкого стекла	7073	30,31
Брикет со связующим из гудрона	7832	36,41

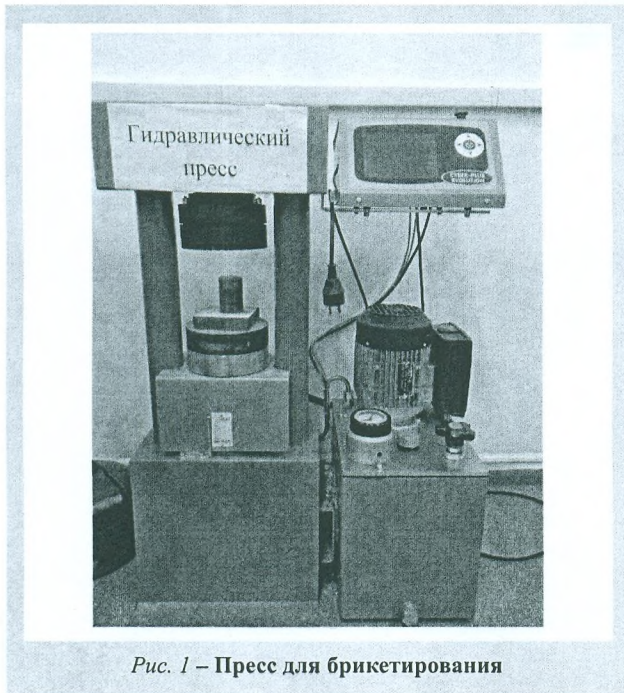
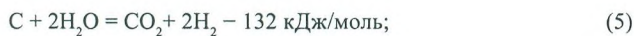
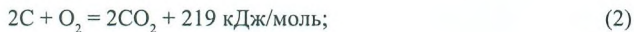
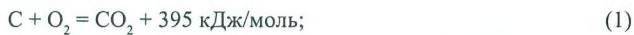


Рис. 1 – Пресс для брикетирования

венно. Механизм выгорания углеродных частиц достаточно сложен, в зависимости от связующего (рис. 4). В настоящее время существует общепринятая схема [5] для его описания, учитывающая возможность протекания следующих химических реакций: на наружной поверхности и внутри пор.



В условиях встречной диффузии продуктов неполного сгорания от поверхности углеродной частицы в поток окислителя, диффундирующего им навстречу из окружающего объема, протекают следующие реакции.



В сочетании с результатами приближенного анализа основной реакцией сжигания брикетов угля является сжигание фиксированного углерода, это в значительной степени способствует снижению теплотворного качества брикетов, что наблюдается при сжигании брикетов с картоном. Основные тенденции сгорания брикетов с различными связующими схожи, хотя показывают различия в деталях в зависимости от связующего.

Скорость гомогенных реакций в этом случае зависит от концентрации реагирующих компонентов. Экспериментальные данные по определению скорости тепловыделения реакции показывают, что горение CO, H<sub>2</sub> и неорганических компонентов определяется содержанием этих компонентов в смеси с их соотношением, и только при малых концентрациях кислорода скорость реакции горения начинает зависеть от содержания окислителя.

Исследовались параметры горения, которые включают температуру воспламенения, пиковую температуру, максимальную скорость горения и время выгорания, полученные из термопрофилей горения брикетов.

Параметры сгорания (рис. 3) четко отображают характеристики сгорания образцов брикетов, в частности уголь с гудроном характеризуется температурой воспламенения 470 °С (наиболее легко воспламеняемый), в то время как уголь с жидким стеклом имеет самую высокую температуру воспламенения (580 °С), но при этом устанавливается стабильная пиковая температура горения (1000 °С) и достигается самое длительное время выгорания (200-300 минут), что указывает на то, что уголь с жидким стеклом будет воспламеняться при высоких температурах и продолжит горение в течение длительного времени.

Поскольку проводилось сжигание брикетов угля с безвоздушными каналами, исследовалось и влияние размера частиц угля в брикетах (рис. 4), поскольку последнее оказывает большое влияние на сжигание угля, так как уголь трудно воспламенить при слишком малой размерности частиц угля (-100 мкм).

В то же время брикет угля с такой же размерностью, но в присутствии связующего картона может загореться при нормальной температуре воспламенения, кроме того, интенсивность сгорания растет с увеличением содержания картона, но время выгорания сокращается с 80 до 60 минут, когда содержание связующего картона увеличивается с 30 до 50 %. Следовательно, подходящий размер для сжигания угля составляет около 150-174 мкм.

Исследовалось влияние воздушного потока на характеристики горения угля с безвоздушными каналами и в присутствии окислителей, в качестве окислителя выбран перманганат калия KMnO<sub>4</sub> (рис. 5).

Воздушный поток оказывает некоторое влияние на сжигание угля, а именно пик сгорания переносится на более низкую температуру, интенсивность сгорания повышается, и значение пика сгорания также растет при увеличении потока



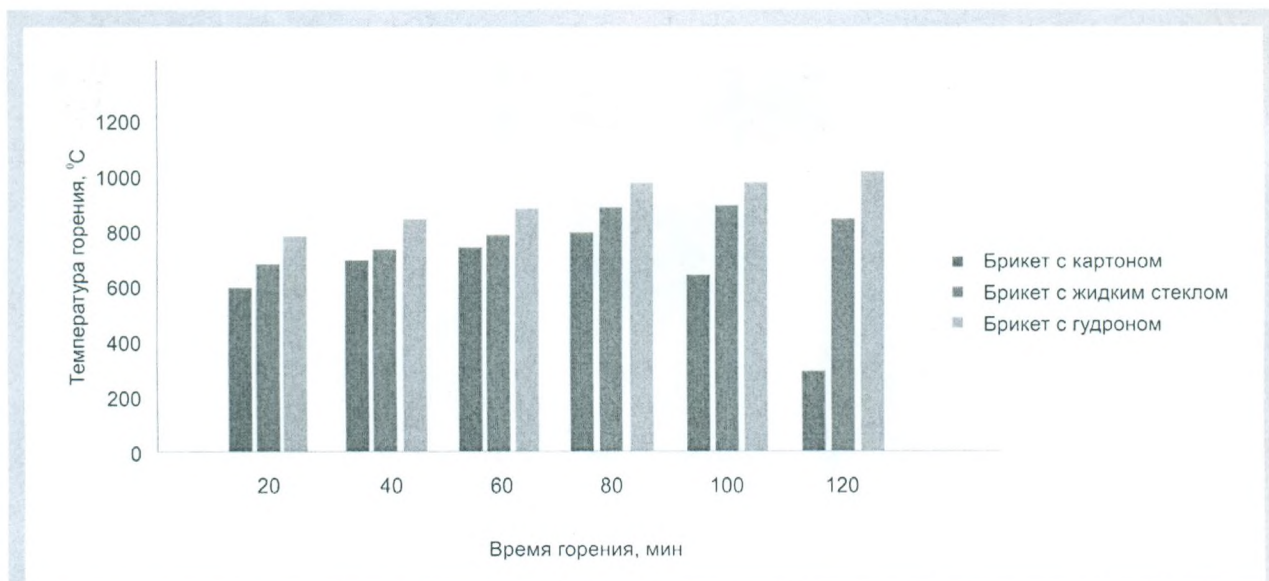


Рис. 2 – Температурные профили горения брикетов



Рис. 3 – Параметры горения угольных брикетов (синий уголь с гудроном, зеленый уголь с жидким стеклом)

воздуха. При увеличении расхода воздуха с 50 до 100 мл/мин максимальная температура снижается с 860 до 570 °С, а время выгорания сокращается с 75 до 65 минут. Установлено, что температура воспламенения не изменяется при увеличении потока воздуха, а это означает, что поток воздуха не влияет на характеристики воспламенения брикетов с безвоздушными каналами.

Влияние окислителя перманганата калия проявляется в повышении температуры горения, однако после 50 минут интенсивность возгорания падает и происходит стабилизация температуры, что говорит об окончании окислительно-восстановительных процессов, сопровождающих процессы горения.

Немаловажным фактором в процессе горения брикетов является предварительный прогрев и скорость нагрева брикетов.

Исследовалось влияние скорости нагрева на сжигание брикетов, в частности при увеличениях скорости нагрева ускоряется сгорание брикетов. Кинетическое время от зажигания до максимального сгорания (пиковое время) сокращено с 3,42 до 3,03 минуты, а время выгорания сокращается с 70 до 30

минут, когда скорость нагрева увеличивается с 10 до 30 °С в минуту.

Сгорание брикета угля дополнительно усиливается, когда скорость нагрева непрерывно увеличивается до 30 °С в минуту, это означает, что сжигание угля должно происходить с подходящей скоростью нагрева. Кроме того, температура воспламенения не изменяется с увеличением скорости нагрева, что указывает на то, что скорость нагрева не влияет на характеристики воспламенения угля.

Таким образом, брикеты угля с безвоздушными каналами вне зависимости от содержания связующего имеют сходную тенденцию пиролиза, которая происходит при температуре около 500 °С и этот процесс непрерывно продолжается вместе с их сжиганием. Они имеют сопоставимые характеристики горения: температура воспламенения – 480-540 °С; пиковая температура – 600-1000 °С и время выгорания – 75-80 минут. Тепловые характеристики температуры воспламенения, температуры выгорания, максимальной скорости сгорания и кинетических параметров сгорания могут охарактеризовать количе-



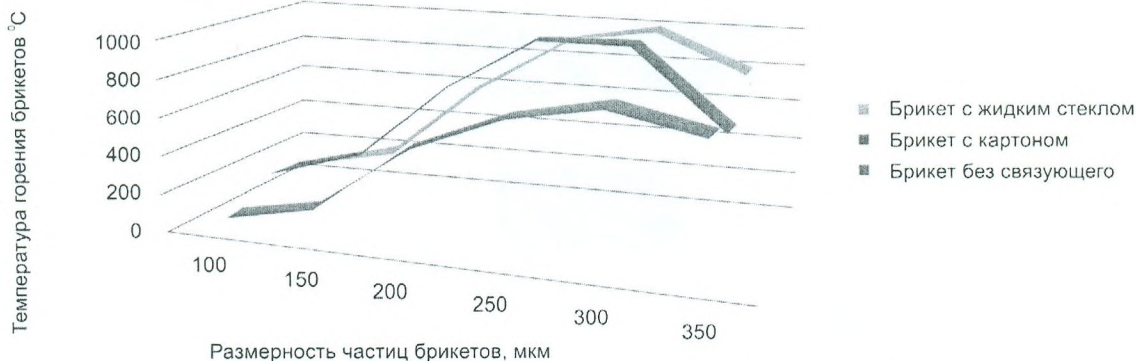


Рис. 4 – Горение брикета от размерности в зависимости от присутствия связующего

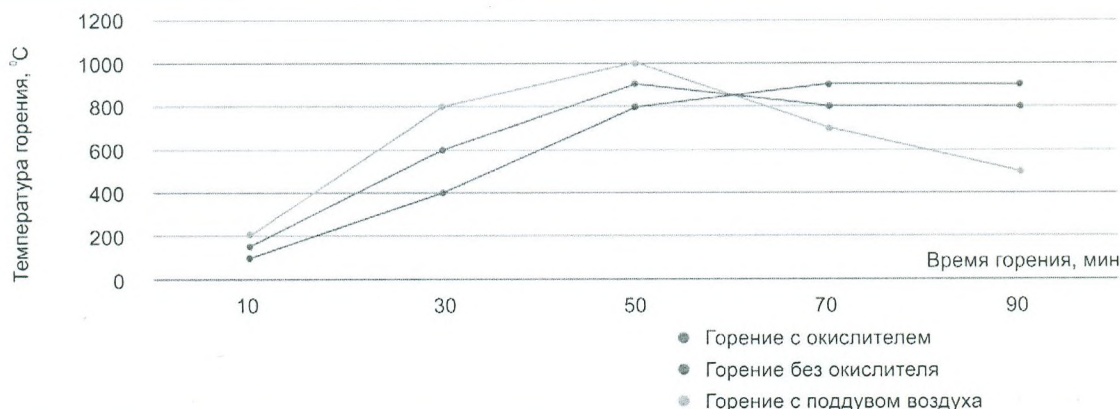


Рис. 5 – Горение брикетов в присутствии окислителя и поддува воздуха

ственный анализ всего теплового процесса сгорания топлива. Установлено, что кинетические области исследования зависимости температуры горения брикета определяются температурой теплопередачи и спекания в замкнутой системе, были проведены эксперименты на сжигание брикетов угля с безвоздушными каналами в печи, температурные профили которых показали, что термическое поведение брикетов с неорганическим связующими в печи нестационарное.

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

Литература

- 1 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: Tengritid, 2013 – 276 с.
- 2 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.
- 3 Сухомлинов Д. В. Технологии изготовления топливных брикетов с низкой температурой воспламенения из отходов угольной промышленности // Горный информационно-аналитический бюллетень – 2013 – № 5 – С. 14-17.

- 4 Ширшиков В. И. Химия и технология производства древесно-угольных брикетов – СПб.: Химиздат, 2012. – 196 с.
- 5 Буравчук Н. И. Влияние технологических параметров на качество топливных брикетов из мелкозернистых угольных отходов // Химия твердого топлива – 2015 – № 5 – С. 25-32.
- 6 Александрова Т. Н. Разработка технологии брикетирования бурогоугольной мелочи на основе связующей композиции из отходов // Горный информационно-аналитический бюллетень – 2012 – № 9 – С. 284-289.
- 7 Буренина О. Н., Петрова Л. А. Исследование и разработка связующих материалов для брикетирования бурых углей / Сборник трудов I международного форума молодых ученых и студентов «Актуальные проблемы современной науки» – Самара, 2005 – С. 188-190.
- 8 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.
- 9 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.
- 10 Каблов Е. Н. России нужны материалы нового поколения // Редкие земли – 2014 – № 3 – С. 8-13.
- 11 Плюдеман Э. Поверхности раздела в полимерных композитах. Композиционные материалы – М.: Мир, 1978 – Т. 6 – 296 с.
- 12 Аринова С. К. Исследование технологии получения угольных брикетов с заданными физико-механическими характеристиками в лабораторных условиях // Современные научные исследования и инновации – 2015 – № 5 – С. 127-133.