

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА ВЫСОКОКАЛОРИЙНОГО ТОПЛИВА С НИЗКИМ СОДЕРЖАНИЕМ ЛЕТУЧИХ ИЗ УГЛЕЙ МАРОК ЗБ И Д

© М. В. Кулеш¹, С. Р. Исламов²

Энерготехнологическая компания «Сибтермо»
660060 г. Красноярск, ул. Лебедевой, 66. Россия

¹ Кулеш Михаил Владимирович, инженер, e-mail: aim@inbox.ru

² Исламов Сергей Романович, докт. техн. наук, ген. директор

В работе представлены результаты экспериментального исследования процесса карбонизации угля. Показано, что при безокислительной термообработке углей марок ЗБ и Д с постепенным повышением температуры греющей среды от 300 до 600 °С можно получать высококалорийное топливо с удовлетворительной прочностью куска (≥ 8 МПа на сжатие), что исключает необходимость брикетирования карбонизата.

Ключевые слова: карбонизация; бурый уголь; длиннопламенный уголь; высококалорийный, энергетический термоуголь.

На ближайшую перспективу поставлена задача увеличения доли угля в энергетическом балансе страны за счет снижения потребления природного газа. Она закреплена правительственными документами о долгосрочной энергетической стратегии. Традиционные методы энергетического и технологического использования угля, по существу, достигли своего предела экономической и экологической эффективности. В связи с этим значительный интерес представляет разработка новых способов переработки угля, которые обеспечивают качественное повышение энергоэффективности использования угля, а также высокий уровень экологической безопасности.

Настоящая работа посвящена исследованию возможности получения высококалорийного топлива с малым содержанием летучих веществ из бурого угля марки ЗБ и длиннопламенного угля марки Д. В качестве исходного сырья использовали бурый уголь Большесырского месторождения (Красноярский край) и длиннопламенный уголь Моховского месторождения (Кузбасс). Их характеристики приведены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1. Основные характеристики бурого и длиннопламенного углей

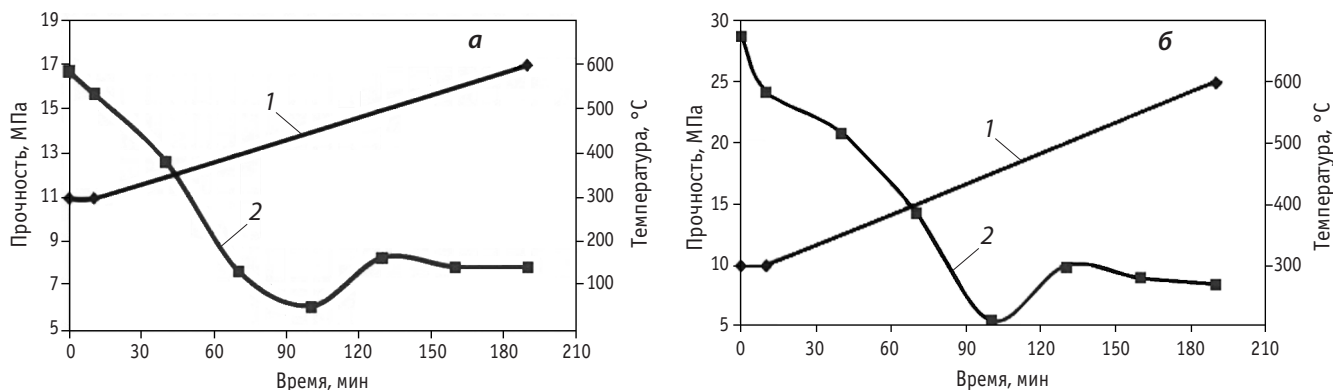
Марка угля	W^r , %	A^d , %	V^{daf} , %	Прочность, МПа	Теплота сгорания, МДж/кг
ЗБ	20	5	45	16,6	21
Д	17,9	6,6	42,3	29,8	21

Задача исследования заключалась в следующем: полностью удалить из угля влагу и снизить

содержание летучих веществ до уровня $\sim 15\%$, обеспечив тем самым теплоту сгорания > 25 МДж/кг (6000 ккал/кг), т. е. получить топливо с характеристиками, примерно соответствующими характеристикам дорогих энергетических углей марки СС. Однако самое главное условие – обеспечить удовлетворительную прочность карбонизата (≥ 8 МПа на сжатие) для его перевалки и транспортирования без необходимости брикетирования.

Для унификации условий нагрева и более корректного измерения прочности использовали изготовленные из исходного угля образцы в форме кубика со стороной 2 см. Угольные кубики помещали в закрытый металлический контейнер, закрепленный на подвесе электронных весов. Во время эксперимента контейнер вводили в камеру нагрева электрической печи. Таким образом обеспечивался контроль изменения массы образцов в процессе их термической обработки.

В результате экспериментов был определен температурный диапазон карбонизации угля 300–600 °С, в пределах которого сохраняется удовлетворительная прочность, а также предельно допустимый по условию сохранения прочности темп нагрева. Он обеспечивается двухстадийным нагревом: 10-мин сушка угля при 300 °С и собственно термообработка в течение 180 мин. На второй стадии температура в камере печи линейно поднималась от 300 до 600 °С в течение 3 ч. Далее этот режим термообработки считается *основным режимом*. Для контроля изменения прочности образцы отбирали через каждые 30 мин после начала термообработки. Прочность на сжатие измеряли раздавливанием кубического



Р и с. 1. Зависимость прочности карбонизата из углей марок ЗБ (а) и Д (б) от температуры и времени выдержки (основной режим термообработки):

1 – температура, 2 – прочность

образца на лабораторном штемпельном прессе (ГОСТ 21289–75). В каждом эксперименте измеряли прочность 5–7 образцов угля и в качестве результата использовали среднее значение.

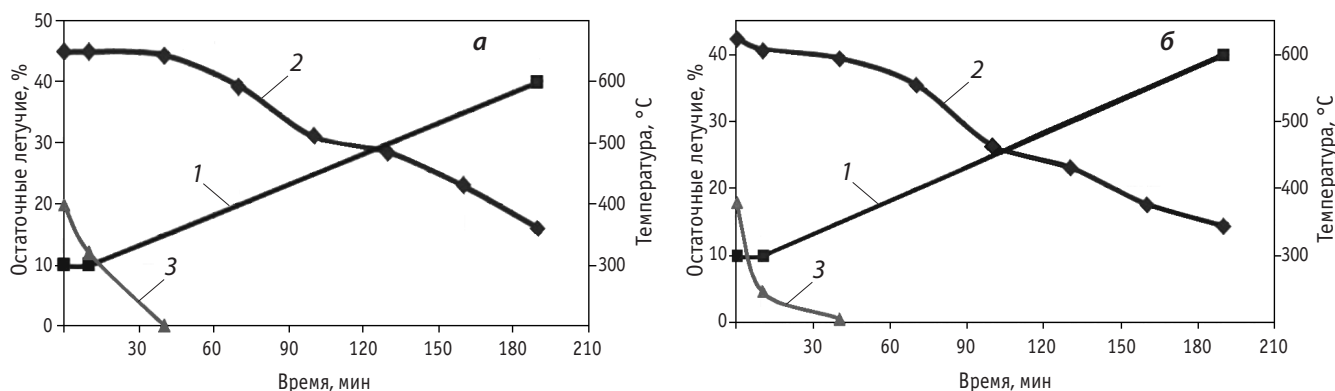
Графики зависимости прочности карбонизата из углей марок ЗБ и Д от температуры и времени выдержки представлены на рис. 1. Из этих графиков видно, что значительная часть прочности теряется в процессе удаления летучих веществ – она снижается примерно в два раза по сравнению с прочностью исходного угля. В конечном итоге прочность на раздавливание у прокаленных образцов достигает уровня 8 МПа.

Интересно отметить, что в области температур 400–500 °С наблюдается аномальное падение прочности, а далее происходит ее увеличение примерно на 30 %. Этот эффект наблюдался при исследовании образцов из углей обеих марок. Его достоверность была подвергнута тщательной проверке многократным повторением опытов, но ошибок эксперимента обнаружено не было. Если сопоставить график зависимости прочности от температуры и времени с графиком изменения

содержания летучих веществ (рис. 2), то можно предположить, что упрочнение происходит за счет коксования части высокомолекулярной органики (смола), образующейся на заключительной стадии пиролиза органической части угля.

Таким образом, достижение низкого содержания летучих веществ, высокой прочности и калорийности конечного продукта обеспечивается при термообработке исследуемых углей по основному режиму. На следующем этапе исследовали возможность использования ускоренных режимов термообработки при сохранении неизменными параметров стадии сушки.

Рассмотрены два режима линейного нагрева от 300 до 600 °С: в течение 90 мин и более ускоренный режим – в течение 45 мин. В обоих случаях характеристики конечного продукта по калорийности и выходу летучих остались примерно на том же уровне, что и при использовании основного режима термообработки. При этом прочность карбонизата из угля марки ЗБ понизилась соответственно на 6 и 24 %, а карбонизата из угля марки Д для режима 90 мин осталась



Р и с. 2. Динамика удаления влаги и летучих веществ при карбонизации углей марок ЗБ (а) и Д (б) для основного режима термообработки:

1 – температура; 2 – летучие; 3 – влажность

Т а б л и ц а 2. Сравнительные характеристики исходного угля и карбонизата

Показатели	Исходный уголь марки ЗБ	Карбонизат угля ЗБ после термообработки	Исходный уголь марки Д	Карбонизат угля Д после термообработки
W^r , %	20	0	17,9	0
A^d , %	4–5	7	7	9
V^{daf} , %	45	15	42	14
Теплота сгорания, МДж/кг (ккал/кг)	21 (5000)	30,3 (7240)	21,8 (5220)	29,5 (7060)
Содержание серы, %	0,33	0,41	0,35	0,18
Прочность, МПа	16,6	8–10	28,8	8–10
Водопоглощение, %	–	16–17	–	14–16
Водопоглощение после гидрофобизации, %	–	< 1,5	–	< 1,5

примерно на том же уровне, для режима 45 мин – уменьшилась на 15 %.

В табл. 2 представлены характеристики конечного продукта в сравнении с характеристиками исходного угля. Из таблицы можно видеть, что карбонизат из углей обеих марок после термообработки характеризуется теплотой сгорания ~ 30 МДж/кг и выходом летучих веществ на уровне 15 %. Прочность карбонизата из угля марки ЗБ снизилась приблизительно в два раза, а из угля марки Д – в 3–3,5 раза, но осталась на уровне, удовлетворяющем поставленным условиям. Здесь необходимо обратить внимание на различный характер изменения содержания серы: у бурого угольного карбонизата этот показатель выше, чем у исходного угля, а у каменноугольного карбонизата – ниже. Скорее всего, это обусловлено

разным характером распределения серы как в органической, так и в минеральной массе сравниваемых углей.

Полученное после термообработки углей высококалорийное топливо имеет достаточно высокую пористость и, соответственно, обладает склонностью к активному водопоглощению (16–17 %, ГОСТ 21290–75). Следовательно, при транспортировке и хранении такого продукта на открытом складе будет происходить насыщение влагой и заметное снижение теплоты сгорания, что крайне нежелательно. Для предотвращения ухудшения потребительских свойств карбонизата при транспортировке и хранении были выполнены эксперименты с целью гидрофобизации его поверхности обмакиванием в расплав парафина. После такой обработки водопоглощение составило < 1,5 %; расход парафина – не более 4 % от массы топлива.

В результате выполненной серии экспериментов для карбонизации бурого угля марки ЗБ в качестве оптимального выбран следующий режим термообработки: 10-мин сушка при 300 °С и далее нагрев с постоянной скоростью до 600 °С в течение 3 ч. При этом обеспечивается прочность получаемого карбонизата на сжатие ~ 8,5 МПа. А для карбонизации угля марки Д в качестве оптимального рекомендуется более ускоренный режим термообработки: 10-мин сушка при 300 °С, затем нагрев с постоянной скоростью до 600 °С в течение 90 мин.

Гидрофобизация поверхности карбонизата позволяет радикально снизить водопоглощение и, соответственно, сохранить достигнутый уровень теплоты сгорания – около 30 МДж/кг (> 7000 ккал/кг).

Статья поступила 11.04.2012 г.

INVESTIGATION OF THE POSSIBILITY OF PRODUCTION OF HIGH-CALORIFIC LOW VOLATILE FUEL FROM BROWN AND SUBBITUMINOUS COALS

© M. V. Kulesh, PhD S. R. Islamov

This paper presents the results of an experimental study of the process of coal carbonization. It is shown that the non-oxidizing thermal processing of brown (grade 3B) and subbituminous coal, with a gradual increase in temperature of the heating medium from 300 °C to 600 °C allow to receive the high calorific fuel with a satisfactory strength of a piece (at least 8 MPa in compression). This result eliminates the need for briquetting of carbonizate.

Keywords: carbonization; brown coal; subbituminous coal.