

УДК 66.974.434

М.Э. Бурнусов, студент гр. 5ВМ61 (ТПУ)

Д.А. Портнов, студент гр. 5ВМ4Б (ТПУ)

Научный руководитель А.В. Казаков, к.т.н., доцент (ТПУ)

г. Томск

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КОНВЕРСИИ УГЛЯ В ГОРЮЧИЙ ГАЗ

Введение

Актуальность сочетания централизованной системы энергоснабжения с автономными энергетическими установками, использующими в качестве топлива низкосортное сырьё, обусловлено перспективными направлениями развития Энергетики России.

Научное направление проводимых исследований состоит в разработке подхода к глубокой конверсии органической массы топлив в горючие газы в условиях низких температур (не более 500 °C). Преимущества такого подхода: низкие температуры процесса, что позволяет отказаться от дорогостоящих конструкционных материалов; минимальный балласт в газе; возможность генерации насыщенного водородом газа; возможность организации процесса в автотермическом режиме. Но при низкотемпературном нагреве твердого органического сырья крайне затруднительно провести глубокую конверсию углерода топлива в горючий газ, что является основной проблемой научных исследований. Отсюда недостатки процесса: пониженная интенсивность; дополнительные затраты энергии на подготовку пара. Решение данной проблемы позволит разработать перспективное направление в исследовании и создании техники и технологий ресурсоэффективного производства топлив и энергии.

Объектом исследования является процесс низкотемпературной конверсии низкосортных топлив, характеризующейся следующими положениями: преобразование органической массы топлива в горючие газы протекает под воздействием температур в интервале 300 – 450°C при атмосферном давлении и без подачи кислородсодержащего дутья; в активную зону реагирования вводятся каталитические присадки и пар с температурой, соответствующей температуре процесса конверсии (300 – 450 °C); достигается максимальное преобразование органической массы топлива в насыщенный водородом горючий газ с минимальной долей балласта [1].

Характеристики исследуемых образцов

Характеристики образца бурого угля Таловского месторождения и полукокса, полученного на его основе, приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Характеристики исследуемых образцов (ИУ – исходный уголь, ПК – полуококс из исходного угля)

Характеристика	Расчетная масса		Рабочая		Сухая		Сухая беззольная	
	ИУ	ПК	ИУ	ПК	ИУ	ПК	ИУ	ПК
Выход летучих, %	–	–	–	–	59,8	7,1		
Влажность, %	40,7	0,78	–	–	–	–		
Зольность, %	14,6	35,82	24,62	36,10	–	–		
Содержание углерода, %	29,5	60,0	49,75	60,47	66,00	94,64		
Содержание водорода, %	2,20	0,20	3,71	0,20	4,92	0,32		
Содержание кислорода, %	12,2	3,00	20,57	3,02	27,29	4,73		
Содержание серы, %	0,20	0,00	0,34	0,00	0,45	0,00		
Содержание азота, %	0,60	0,10	1,01	0,10	1,34	0,16		
Низшая теплота сгорания, МДж/кг	10,8	20,1	18,21	20,26	24,16	31,70		

Можно отметить довольно высокое значение выхода летучих (59,8%) при удовлетворительном значении зольности (14,6%) на рабочую массу. Однако высокая влажность рабочей массы (40,7%) приводит к тому, что в сухом состоянии зольность угля составляет 24,6%. Содержание кислорода в рабочей массе угля имеет довольно высокое значение (12,2%), (что в целом согласуется с характеристиками “молодых”, в частности бурых углей) которое повышается до значения 27,3% в органической массе. Содержание серы и азота в рабочей массе невелико и составляет 0,2% и 0,6% соответственно. То же самое можно констатировать и относительно содержания водорода – 2,2% в рабочей массе. Ввиду низкого содержания водорода, основным потенциально теплообразующим элементом остается углерод топлива, содержание которого в рабочей массе составляет лишь 29,5%, что обусловлено в первую очередь высокой влажностью. При этом низшая теплота сгорания рабочей массы угля составляет 10,8 МДж/кг. Однако если рассматривать таловский уголь в сухом состоянии, то теплота сгорания повышается до 18,2 МДж/кг (при зольности 24,6%) и 24,2 МДж/кг на сухую беззольную массу.

Полуококс, полученный из бурого угля, характеризуется низким содержанием летучих (7,1%) и практически полным отсутствием влаги (0,8%), при этом зольность составляет довольно высокое значение (35,8%). Количество углерода в органической массе преобладает (94,6%), однако за счет повышенной зольности рабочей массы низшая теплота её сгорания составляет 20,1 МДж/кг, хотя теплота сгорания сухой беззольной массы составляет 31,7 МДж/кг. Относительно других компонентов органической массы можно констатировать их незначительное количество, так водорода содержится 0,3%, кислорода – 4,7%, азота – 0,2%.

Характеристики получаемых газов

По результатам экспериментов определены состав и теплота сгорания горючих газов, получающихся в результате термической конверсии таловского угля и полуокиса на его основе (рис. 1).

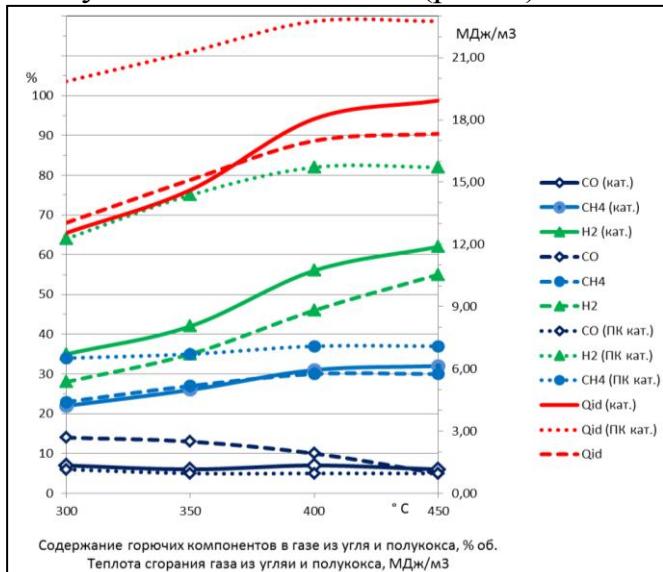


Рисунок 1 – Состав и теплота сгорания горючих газов

При пиролизе бурого угля наблюдается характерно для начальных стадий его конверсии высокое содержание кислородосодержащих соединений. При повышении температуры переработки повышается содержание углеводородной составляющей газов, в первую очередь, за счет увеличения водорода и метана. Концентрация окиси углерода, напротив, снижается, что обусловлено реакциями на ранних стадиях тепловой обработки. Повышенное содержание кислорода в балласте газа обусловлено сильно развитой поверхностью исходного топлива с большим количеством адсорбированного воздуха.

По составу горючих газов определена их теплота сгорания. Очевидно, что величина теплоты сгорания газов определяется в первую очередь количеством метана. Повышение теплоты сгорания газа из бурого угля на протяжении всего исследованного температурного диапазона обеспечено возрастанием содержания в газе метана и водорода при незначительном падении окиси углерода. При каталитическом процессе наблюдается заметное увеличение концентрации горючих компонентов, в первую очередь – водорода.

Материальные балансы

При термической переработке твердого топлива образуются следующие продукты: углеродистый остаток (G_c); сухой газ (G_e); смола и пирогенетическая влага топлива (G_{cm}); минеральная часть топлива (G_M); влага топлива, обусловленная рабочей влажностью (G_w). Таким образом, материальный баланс представляется в виде:

$$G_c + G_r + G_{cm} + G_m + G_w = 1 \quad (1)$$

С учетом данной формы представления материального баланса, на рис. 2 заключены сведения по продуктам, полученным в результате процесса полукоксования (ПК) и низкотемпературной каталитической конверсии (НТКК).

Форма представления материального баланса для НТКК имеет принципиальное отличие от баланса полукоксования т.к. в процессе НТКК участвуют дополнительно вводимые пар (G_n) и каталитические присадки (G_k). Отмечая особенность НТКК, следует учитывать, что часть вводимого высокотемпературного пара участвует в реакциях генерации водорода и восстановления окислов железа, таким образом за счет пара происходит изменение таких компонентов материального баланса, как объем газа и неразложившийся пар. В связи с этим, при составлении материальных балансов НТКК следует учитывать количество вводимого пара. Что касается каталитических присадок, то непосредственно их объемных трансформаций не происходит и правило аддитивности баланса на них не распространяется, поэтому при составлении материальных балансов НТКК учитывать наличие каталитических присадок не нужно. Таким образом, равенство (1) принимает вид:

$$G_c + G_r + G_{cm} + G_m + G_w + G_n = 1 \quad (2)$$

В соответствии с (2) на рис. 2 приведены материальные балансы, в пересчете на сухую массу, для низкотемпературной каталитической конверсии топлив.

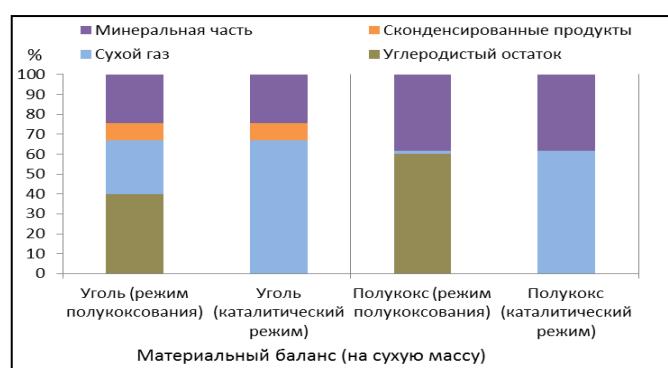


Рисунок 2 – Материальный баланс в режимах полукоксования и каталитическом

Тепловой баланс

Тепловой баланс представляется в виде перераспределения энергогемкости исходного угля по продуктам конверсии. Определение производится с учетом количественных данных по материальным балансам и каче-

ственных данных газового анализа. Результаты представлены на рис. 3 в расчете на сухую беззольную массу.

Очевидно, что при реализации режима полуоксования значительная часть (30...40 %) энергоемкости приходится на твердый углеродистый остаток. При использовании в качестве исходного сырья угля, как в процессе полуоксования, так и в каталитическом режиме, часть энергии распределяется на жидкую фракцию – смолы. При работе с полуоксом в режиме полуоксования выделяются лишь летучие продукты и распределение энергоемкости между газом и углеродистым остатком составляет пропорцию примерно 1:1. В случае каталитического режима, вся органическая масса конвертируется в газ и, соответственно, вся энергоемкость исходного топлива переходит в теплоту сгорания газа.

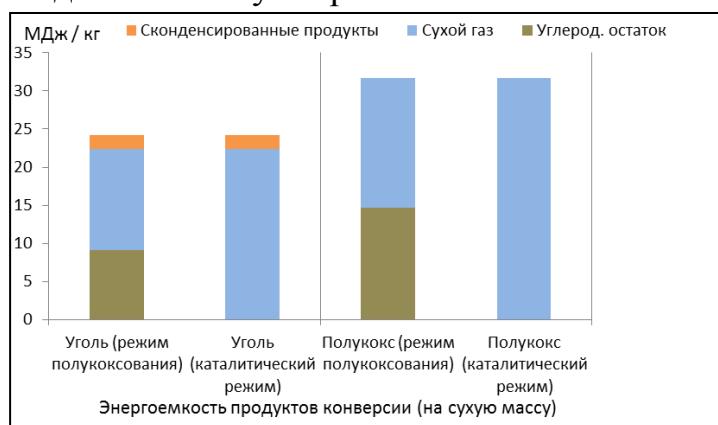


Рисунок 3 – Перераспределения энергоемкости исходного угля по продуктам конверсии

Заключение

Показаны результаты исследований термической переработки таловского угля в классическом режиме пиролиза и каталитическом режиме, отличающемся тем, что в процесс вводятся оксид железа и пар с температурой 300 – 450°C.

Интенсивность проведенного каталитического режима низкая, что накладывает ограничение для его промышленного применения. Представляется целесообразным использовать данный режим в энергетических установках для объектов малой энергетики.

Вариантами реализации конверсии могут быть либо производство насыщенного водородом газа, либо комбинированное производство газа и углеродистого продукта.

Список литературы

1. Казаков А.В. Термическая конверсия низкосортных топлив применительно к газогенерирующими установкам: Диссертация – канд. техн. наук. – Томск: ТПУ, 2002. – 158 с.