

УДК 662.65

ПРОДУКТЫ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ КАТАЛИТИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ НИЗКОСОРТНЫХ ТОПЛИВ

А.В. Казаков, Г.М. Никифоров, А.С. Заворин, А.А. Макеев, А.В. Визгавлюст
Томский политехнический университет, г. Томск
E-mail: aleks@ped.tpu.ru

Введение

Необходимость привлечения в топливно-энергетический баланс невостробованных запасов местных низкосортных топлив составляет актуальное направление топливоиспользования.

Высокое содержание влаги и золы в таких видах топлива ставит задачу поиска новых эффективных методов их энергетического использования.

По данным [1] Томская область обладает богатейшими в мире месторождениями торфа, ресурсы которых составляют более 10% его мировых запасов. Сюда входит крупнейший торфяной массив Западной Сибири – Васюганский, площадь которого около 5 млн. га с запасами, в пересчете на воздушно-сухое состояние, около 1,1 млрд. тонн. Также в Томской области имеются залежи бурого угля – Таловское месторождение, расположенное в 25–40 км севернее Томска на площади 604 км² и ресурсами в 150 млн. тонн [2]. К местным низкосортным топливам также можно отнести отходы лесоперерабатывающих предприятий.

Существующее котельное оборудование не приспособлено к переработке высоковлажных и высокозольных топлив, требуется дооснащение вспомогательными средствами, что влечет за собой дополнительные капиталовложения, которые зачастую являются экономически необоснованными, если не найдены другие пути эффективного использования низкосортных топлив.

Предложенный Д.И. Менделеевым способ газификации твердых топлив в настоящее время мало применим, в основном реализован в виде полупромышленных демонстрационных установок (пилотные установки). Существуют технологические средства и устройства для реализации этого способа с получением различных химических продуктов: полукоксы, смолы, синтетические моторные топлива, газ.

На кафедре ПГС и ПГУ Томского политехнического университета разрабатывается способ, основанный на паротепловой конверсии низкосортных топлив, отличительной особенностью которого является реализация процесса при низких температурах в диапазоне 100–450⁰С. Основные положения разрабатываемого процесса заключаются в следующем:

1. Переработке подвергается топливо в состоянии рабочей влажности.
2. Конструктивное исполнение аппаратов позволяет применять алюминиевые сплавы, недорогие стали и чугуны, а также дешевую теплоизоляцию (стекловата).
3. Процесс паротепловой конверсии соответствует требованиям экологической безопасности.
4. Получаемые продукты являются энергетическим сырьем.

Характеристики исходных топлив

Низкотемпературной переработке подвергались топлива с характеристиками, представленными в таблице 1.

Таблица 1

Характеристики исследованных топлив

Характеристика		Торф	Опилки	Бурый уголь
Содержание в рабочей массе	SiO ₂ , %	3,31	0,0231	10,36
	Al ₂ O ₃ , %	0,64	0,0221	4,28
	Fe ₂ O ₃ , %	0,23	0,0008	1,37
	SO ₃ , %	0,03	0,014	0,25
	CaO, %	0,24	0,076	1,58
	MgO, %	0,04	0,034	0,36
Зольность, %		A ^r	0,17	18,2
Влажность, %		W _t ^r	28,4	50,7
Выход летучих, %		V ^r	61,0	19,6
Низшая теплота сгорания, МДж/кг		Q _i ^r	8,2	8,4
C ^r , %		12,5	30,7	20,08
H ^r , %		4,11	2,39	2,10
O ^r , %		8,5	37,8	8,50
S ^r , %		0,1	0,04	0,06
N ^r , %		0,40	0,50	0,36

Как видно, перерабатываемые топлива характеризуются низкой теплотой сгорания (8,1–9,2 МДж/кг) и высокой влажностью (28,4–69,9%).

Экспериментальная установка

Для осуществления термической обработки твердых топлив разработана экспериментальная установка, основным элементом которой является реактор (рис. 1).

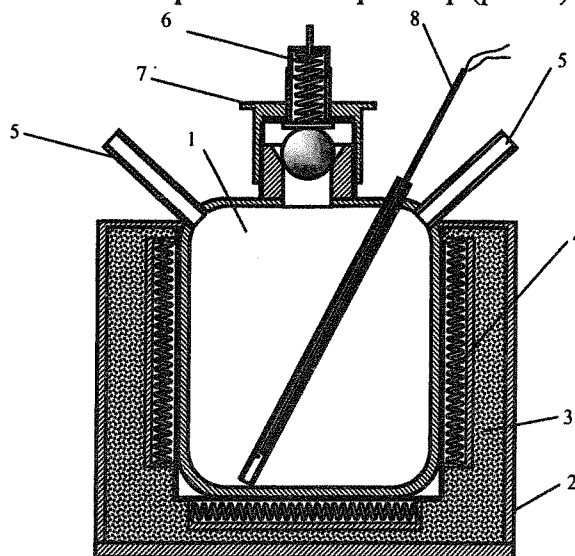


Рис. 1. Схема реактора

- 1 – Реактор;
- 2 – Корпус печи;
- 3 – Теплоизоляционный материал;
- 4 – Электронагревательные спирали;
- 5 – Газоотводящие патрубки;
- 6 – Предохранительный клапан;
- 7 – Крышка загрузочного отверстия;
- 8 – Термопара.

Через загрузочное отверстие производится загрузка исследуемого топлива. Нагрев реактора осуществляется по периметру и снизу при помощи электронагревательных элементов. Получаемый газ отводится через газоотводящие патрубки. Температура в слое топлива фиксируется при помощи термопары. Таким образом, конверсия осуществляется без доступа воздуха.

Схема проведения эксперимента по термической обработке топлива приведена на рис. 2.

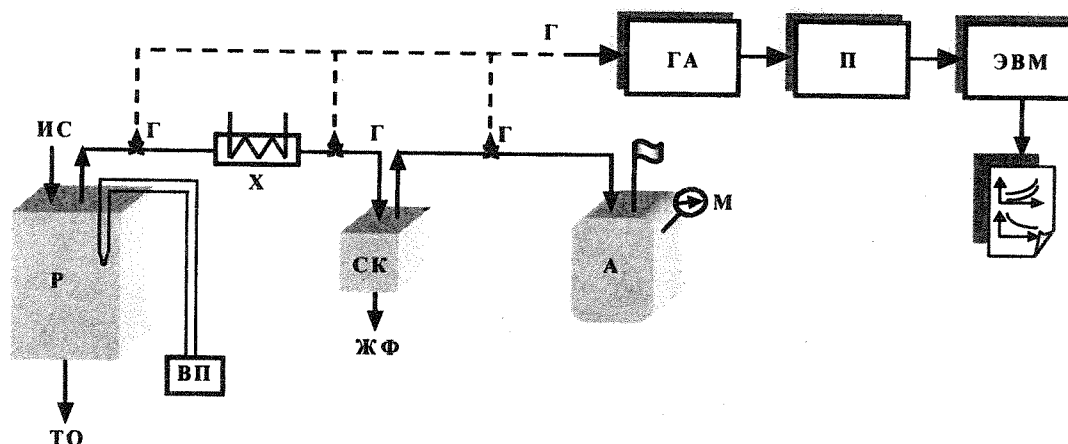


Рис. 2. Схема проведения эксперимента по термической обработке топлива

Р – реактор

Х – холодильник

СК – сборник конденсата

А – аспиратор

ИС – исходное сырье

ТО – выход твердого остатка

ЖФ – жидкая фракция

Г – место отбора газа

ВП – вторичный прибор

М – манометр

ГА – газоанализатор

П – потенциометр

Во время проведения эксперимента из топлива, находящегося в реакторе, выделяются газ и водо-смоляные продукты, конденсация которых производится в холодильнике. Сконденсировавшаяся влага и смола собираются в сборнике конденсата, осушенный газ направляется в аспиратор. Отбор газа можно производить из любой точки газового тракта. Твердый остаток вынимается из реактора после проведения эксперимента.

Результаты термической переработки топлив

Термической переработке подвергались торф, опилки, бурый уголь, а также полукокс из торфа и полукокс из опилок, полученные после однократной термической обработки торфа и опилок. Количество получающихся продуктов переработки приведено в таблице 2.

Таблица 2

Материальный баланс термической переработки топлив

Топливо	Продукты переработки, % вес.			
	Тв. остаток	Газ	Смола	Влага
Торф	12,3	14	4,7	69
Опилки	20,5	50	2,5	27

Бурый уголь	30	15	5	50
Полукокс из торфа	89,1	10	0,2	0,7
Полукокс из опилок	88,8	10	0,2	1

Теплотворная способность получаемых продуктов приведена в таблице 3.

Таблица 3

Теплотворная способность продуктов термической переработки топлив

Топливо	Теплота сгорания, МДж/кг		
	Тв. остаток	Газ	Смола
Торф	25,4	25–50	25–30
Опилки	23,3	15–36	15–20
Бурый уголь	18,7	10–43	15–20
Полукокс из торфа	19	10–60	10–15
Полукокс из опилок	23,7	10–60	10–15

Как видно из приведенных данных, вследствие высокой влажности исходных топлив образуется небольшое количество горючих продуктов переработки. Высокая теплота сгорания твердых остатков обусловлена увеличением доли углерода, а ограниченное количество воздуха в реакторе позволяет получать высококалорийные газы пиролиза.

Основной трудностью при переработке полукоксов является окисление углерода топлива. При переработке полукокса из опилок углерод не окисляется, а наоборот, его доля незначительно увеличивается, что отражается увеличением теплоты сгорания остаточного продукта. При переработке полукокса из торфа наблюдается уменьшение теплоты сгорания остаточного продукта, это вызвано увеличением зольности вследствие уменьшения доли углерода.

Термокаталитическая переработка низкосортных топлив

Невозможность окисления углерода топлива при низких температурах (до 450⁰С) приводит к необходимости поиска новых решений в организации низкотемпературного способа переработки топлив.

Существуют способы термокаталитической переработки твердых топлив при температурах до 700⁰С в псевдоожиженном слое катализатора [3, 4]. К недостаткам данных способов можно отнести относительно высокую стоимость катализатора (5–10 тыс. долларов за тонну) и использование воздушного дутья, что снижает теплотворную способность газа и приводит к образованию NO_x.

Разрабатываемый способ предполагает использование более дешевых и доступных катализаторов и отказ от воздушного дутья.

Принцип использования катализаторов подразумевает их непосредственное введение в слой топлива на стадии первоначального формирования шихты.

Шихта представляет собой смесь из топлива, соединений железа и цеолита, каталитическая активность которых определялась отдельными экспериментами [5, 6].

Термокаталитической переработке подвергались торф, опилки, бурый уголь, полукокс из торфа и полукокс из опилок в составе шихты. Оптимальное количество окислов железа и цеолита, вводимых в шихту, было определено экспериментально и составляет 8–12 % Al₂O₃ в составе цеолита и 25–35 % Fe₂O₃.

Материальный баланс термокаталитической переработки низкосортных топлив в составе шихты, приведенный в таблице 4, представлен без доли шихтовых добавок с целью наглядного сравнения с материальным балансом термической переработки топлив (таблица 2).

Таблица 4

Материальный баланс термокаталитической переработки топлив в составе шихты

Топливо в составе шихты	Продукты переработки, % вес.			
	Тв. остаток	Газ	Смола	Влага
Торф	8	18	5	69
Опилки	15	55,2	2,8	27
Бурый уголь	20	25	5	50
Полукок из торфа	80	19,1	0,2	0,7
Полукок из опилок	79	19,8	0,2	1

Таблица 5

Теплотворная способность продуктов термокаталитической переработки низкосортных топлив в составе шихты

Топливо в составе шихты	Теплота сгорания, МДж/кг		
	Тв. остаток	Газ	Смола
Торф	11	54–65	25–30
Опилки	10	50–60	15–20
Бурый уголь	12	10–50	15–20
Полукок из торфа	8	35–50	10–15
Полукок из опилок	8	50–75	10–15

Низкая теплота сгорания твердых остатков обусловлена уменьшением содержания углерода. Высокая теплотворная способность газа определяется увеличением в нем концентрации водорода.

Как видно из представленных материалов, переработка низкосортных топлив в составе шихты, представляющей собой смесь топлива, цеолита и соединений железа, позволяет уменьшить выход остаточного твердого продукта и увеличить выход газа, что свидетельствует о протекании процессов с углеродом топлива, среди которых возможны реакции $C + H_2O \rightleftharpoons CO + H_2$, $C + 2H_2 \rightleftharpoons CH_4$, о чем свидетельствует увеличение концентрации водорода в получаемом газе, что влечет за собой повышение теплоты сгорания этого газа.

Источником водяного пара в данных экспериментах являлась адсорбированная влага цеолита. По данным [7], дегидратация цеолита путем термической обработки представляет собой трехступенчатый процесс удаления адсорбированной влаги при характерных температурах 140, 190 и 320 °С, причем при термокаталитической переработке топлив в составе шихты при данных температурах на хроматограмме наблюдается резкое увеличение концентрации водорода в газе, что подтверждает наличие процесса разложения пара.

Таким образом, глубокая переработка низкосортных топлив при температурах до 450⁰С возможна, если организовать термокаталитическую конверсию низкосортных топлив в составе шихты перегретым паром (паротепловая конверсия).

Литература:

1. Смольянинов С.И., Маслов С.Г. Термобрикетиrowание торфа. – Томск: Изд. ТГУ, 1975.
2. Теплотехнические и химико-технологические свойства углей Таловского месторождения Томской области и возможные пути их использования./ А.С. Заворин, С.К. Карякин, С.Г. Маслов и др. // Энергосбережение и энергетическая безопасность регионов России: Всероссийское совещание. – Томск: Изд. Томского ЦНТИ, 2000.
3. Каталитические теплофикационные установки/ А.Д. Симонов, Н.А. Языков, П.И. Ведякин и др. // Теплоэнергетика, 1999, №4.
4. Щипко М.Л. Термокаталитические процессы в переработке твердого органического сырья: Автореф. дис. доктора техн. наук. – Красноярск, 1997.
5. Заворин А.С., Макеев А.А., Казаков А.В. Исследование процессов конверсии местных топлив // Сб. науч.-техн. семинара «Энергетика: экология, надежность, безопасность». – Томск: Изд. ТПУ, 2000.
6. Казаков А.В., Никифоров Г.М. Переработка и использование низкосортных топлив в низкотемпературных каталитических процессах // Современная техника и технологии: Сборник научных трудов. – Томск: Изд. ТПУ, 2001.
7. Купрюнин А.А. Разработка технологических основ использования природного цеолита для денитрации дымовых газов котельных установок: Автореф. дис. канд. техн. наук. – Томск: ТПУ, 1998.

УДК 662.62:66-936.3

АНАЛИЗ ПРОДУКТОВ ГОРЕНИЯ ГОМОГЕННЫХ ТОПЛИВ

Н.С. Третьяков

Томский политехнический университет, Томск

E-mail: bor@ped.tpu.ru

Представлена методика качественного анализа конденсированных продуктов сгорания систем, содержащих минеральные добавки, на дифрактометре ДРОН-2.

Весовое процентное содержание минеральных добавок в исходной смеси может быть менее 0,5 %, что за пределами чувствительности рентгеновских аппаратов. Однако, после сжигания образцов и соответствующей обработки шлаков (удаление смолообразных веществ, измельчение, промывка, использование магнитной, флотационной и других видов сепарации порошка) концентрация добавок повышается до величины, достаточной для рентгенофазового анализа.

Принцип работы дифрактометров основан на том, что отражение рентгеновских лучей от семейства параллельных кристаллических плоскостей будет происходить только