

горения воспламенителя при подходе к границе раздела увеличивается, запас тепла в системе понижается, и погасание может наступить после перехода фронта через поверхность контакта, т. е. в процессе нестационарного горения поджигаемой системы. Исходя из соображений физической наглядности и общности результатов, представляется целесообразным построить карту устойчивости в координатах $\varphi_{1,2}$, $\Delta H_{1,2}$. В них граница устойчивости переходного процесса горения составного образца изображается линией, состоящей из двух ветвей (см. рис. 2, отрезки 1а и 1б). Левая ветвь соответствует погасанию воспламенителя, правая — погасанию поджигаемой системы. Во внутренней области значений $\varphi_{1,2}$ и $\Delta H_{1,2}$ переходы всегда устойчивы, во внешней — реализуется погасание. Положение ветвей зависит от значений кинетических параметров. Так, при уменьшении энергии активации в законе пиролиза $u \sim \exp(-E/2RT_s)$ или коэффициента температурной чувствительности $\beta = \frac{\partial \ln u}{\partial T_0}$ происходит расширение областей устойчивого горения воспламенителя и поджигаемой системы.

На рис. 2 (точки) по экспериментальным данным, включая данные таблицы, построена аналогичная карта устойчивости горения исследованных металлизированных составов. Можно отметить неплохое качественное соответствие расположения экспериментальных и теоретических кривых, особенно при малых (≤ 2) значениях параметра $\varphi_{1,2}$. В области $\varphi_{1,2} > 2$ и $\Delta H_{1,2} > 1$ экспериментальные точки при горении исследованных составов получить не удалось.

В настоящей работе изложены впервые полученные результаты по систематическому исследованию переходных процессов горения составных металлизированных образцов. Очевидно, требуется продолжить изучение физической картины явления нестационарного горения с привлечением методов динамической регистрации скорости горения и визуализации процессов на реагирующей поверхности. Необходимо также совершенствовать теоретическое описание явления с целью учета агломерации и воспламенения частиц металла, физической и химической неоднородности поверхности горения. Решение этих задач должно привести к созданию теоретических основ целевого подбора составов для воспламенения заданных конденсированных веществ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Н. К. Андреев, И. Д. Костин. Докл. АН СССР, 1946, 54, 3.
2. В. Н. Симоненко, В. Е. Зарко, А. Б. Кискин. Исследование нестационарных режимов горения баллиститовых порохов. Препринт № 10. Новосибирск, 1980.
3. В. Н. Маршаков, О. И. Лейпунский.— В кн.: Горение конденсированных и гетерогенных систем. Черноголовка, 1980.
4. А. Г. Струнина, Т. М. Мартемьянова, В. В. Барзыкин и др. ФГВ, 1974, 10, 4.

УДК 662.612.5

СОБРАЗОВАНИЕ ТОКСИЧНЫХ И КАНЦЕРОГЕННЫХ ВЕЩЕСТВ В ПРОЦЕССЕ СГОРАНИЯ СЛАНЦЕВ И СЛАНЦЕВОГО МАСЛА

*A. A. Ott, D. M. Egorov, Ю. М. Loosaar
(Таллин)*

Из разных видов горючих сланцев в качестве энергетического топлива наиболее широко применяется эстонский горючий сланец — кукерсит, скижаемый в виде пыли. В настоящее время создана также мощная установка с твердым теплоносителем для получения сланцевого масла УТТ-3000 с целью его энергетического и технологического использования.

Таблица 1

Топливо	Характеристики						
	Q_H^p , МДж/ кг	C, %	H, %	S, %	N, %	O, %	A ^p , %
Сланец	8,8	26—33	2,9—3,6	1,6—1,7	0,01—0,6	—	48—52
Сланцевое масло из УТТ-3000	37,8	83,6	9,6	0,6	0,3	5,6	0,3

В связи с сжиганием пылевидного сланца и сланцевого масла сложного состава поднимаются проблемы горения топлива, коррозии металла, удаления и утилизации золы, защиты окружающей среды.

В настоящей работе приводятся данные относительно выделения вредных веществ при пылевидном сжигании эстонских горючих сланцев в энергетических парогенераторах (ТП-17, ТП-67, ТП-101), а также при горении пробной партии сланцевого масла УТТ-3000 на опытном стенде. Характеристики исследованных топлив приведены в табл. 1.

На основе проведенных опытов установлена связь между содержанием азота в сланце и концентрацией окислов азота в дымовых газах. Концентрации окислов азота (в пересчете на двуокись азота при коэффициенте избытка воздуха $\alpha_r = 1$) в основном режиме горения ($T_{max} = 1750$ К, $\alpha_r = 1,25$) изменились от 0,06 до 0,43 г/м³, при этом содержание азота в сухой массе топлива изменялось от 0,01 до 0,6%. При сопоставлении данных, полученных при разных содержаниях азота в топливе, можно заключить, что топливные окислы азота составляют значительную долю (до 86%) от всех окислов азота в дымовых газах. При среднем содержании азота в топливе (0,25%) доля перехода топливного азота в окислы составляет ~12%. Относительно большие избытки воздуха в горелках ($\alpha_r = 1,10 \div 1,47$) оказывали лишь разбавляющее действие на содержание окислов азота в дымовых газах.

При горении пылевидного сланца степень связывания общей серы с золой составляет при номинальных режимах горения 0,85; средняя концентрация окислов серы 1,3 г/м³. В ходе опытов замечено повышение коэффициента связывания серы с золой с увеличением коэффициента избытка воздуха.

Выход бенз(а)пирена (БП) с дымовыми газами зависит от коэффициента избытка воздуха и в среднем для номинальных рабочих режимов составляет 5 мкг/100 м³. Содержание БП в летучей золе из электрофильтров более чем в 100 раз меньше. Это указывает на то, что БП связан с мелкими фракциями летучей золы, проходящими электрофильтры. В летучей золе сланцев за электрофильтрами обнаружены и другие поликлинические ароматические углеводороды (ПАУ), например канцерогенный бенз(к)флуорантен и кризен (о канцерогенности которого имеются предположения), причем в таких же количествах, что и БП. Из сказанного можно сделать вывод о том, что следует пересмотреть общепринятое в энергетике представление о БП как о единственном показателе канцерогенности выбросов.

При исследовании горения сланцевого масла УТТ-3000 использовался опытный стенд для сжигания жидкого топлива, позволяющий моделировать процесс горения в топке энергетического мазутного парогенератора по температурным и времененным условиям. В результате измерений при α_r , близких к единице, выявлена сильная зависимость концентрации окислов азота от коэффициента избытка воздуха. При $\alpha_r \geq 1,3$ наблюдается лишь разбавляющее действие избыточного воздуха.

При основном режиме горения сланцевого масла средняя концентрация окислов азота в дымовых газах составляла 0,31 г/м³. Из данных при аналогичных режимах опытов по сжиганию безазотного топлива [1]

Таблица 2

Топливо	NO_2 , г/ГДж	NO_x / ПДК× $\times 10^{-6}$	SO_2 , г/ГДж	SO_x / ПДК× $\times 10^{-6}$	БП, мкг/ГДж	БП/ПДК× $\times 10^{-6}$	Σ /ПДК× $\times 10^{-6}$
Сланец	109	1,283	444	0,828	25	0,025	2,136
Сланцевое мас- ло из УТТ-3000	89	1,047	320	0,640	100	0,1	1,787

с учетом влияния серы на окисление атмосферного и топливного азота [2] можно сделать вывод, что доля топливных окислов азота в общем выбросе окислов азота составляет ~70%. Доля топливного азота, перешедшего в окислы, около 20%.

Концентрация окислов серы в дымовых газах при основных режимах составляет 1,1 г/м³. Баланс серы по содержанию в дымовых газах и топливе указывает на то, что основная часть серы входит в состав органических соединений топлива, сгорающих полностью при топочных процессах.

Как показал анализ отобранных проб на содержание БП, при основном режиме горения с дымовыми газами выделяется в среднем 40 мкг/100 м³ БП. Установлено также присутствие в пробах и других ПАУ.

На основе полученных данных проведена сравнительная оценка вредности выбросов с дымовыми газами при сжигании сланцевого масла УТТ-3000 и пылевидного эстонского горючего сланца. В табл. 2 приведены значения величины выбросов окислов азота (в пересчете на NO_2), окислов серы (в пересчете на SO_2), бенз(а)пирена (БП) на единицу потенциального тепла топлива, а также суммарная относительная вредность выбросов (Σ). Из таблицы видно, что суммарная относительная вредность выбросов при сжигании сланцевого масла УТТ-3000 приблизительно на 20% меньше, чем при пылевидном сжигании эстонского горючего сланца. Недостатком данного сравнения является то, что данные относительно масла УТТ-3000 получены в стендовых условиях. Проведенное сравнение относится только к сжиганию исследованных топлив в парогенераторах. Кроме этого, следует учитывать, что производство сланцевого масла сопровождается значительными вредными выбросами.

Все анализы на содержание БП и других ПАУ проведены в Институте химии АН ЭССР.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. А. Отс, Д. М. Егоров, К. Ю. Саар. Теплоэнергетика, 1979, 4, 68.
2. А. А. Отс, Д. М. Егоров, К. Ю. Саар. Теплоэнергетика, 1982, 12, 15.

УДК 536.46 : 535.417

НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ГОРЕНИЯ КОНДЕНСИРОВАННЫХ СИСТЕМ МЕТОДОМ ИНТЕРФЕРОМЕТРИИ

B. C. Абруков, A. Э. Авверсон, B. M. Мальцев
(Чебоксары)

Методы интерферометрии находят в последнее время разнообразное применение в исследовании процессов горения конденсированных систем [1—4]. В [5] разработан новый подход к применению интерферометрии, позволяющий определять целый ряд интегральных характеристик процесса. В основе подхода лежит возможность достаточно простого