

Я. И. СИДОРОВИЧ, Е. В. МАРТЫНЕЦ, А. В. ПЕРЕПЕЛКИН,  
В. В. ШАРИКОВ, А. В. БОРЗОВ

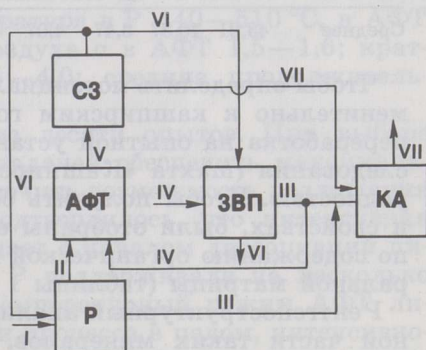
## ИЗУЧЕНИЕ СЖИГАНИЯ КАШПИРСКИХ СЛАНЦЕВ НА ОПЫТНОЙ УСТАНОВКЕ С ТВЕРДЫМ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕМ

В настоящее время основным потребителем кашпирских горючих сланцев является Сызранская ТЭЦ, где из-за низкой удельной теплоты сгорания ( $Q^r$  3,8—4,7 МДж/кг) они сжигаются с подсветкой факела мазутом. При этом имеют место трудности, которые связаны с коррозионным и абразивным износом металлоконструкций, шлакованием поверхностей нагрева, а также образованием плотных отложений в зоне воздухоподогревателя и поэтому усложняют и значительно удорожают эксплуатацию котельных агрегатов. Причина всех этих проблем — несоответствие способа сжигания свойствам топлива.

В то же время известны методы переработки высокозольных топлив, которые позволяют избегать некоторых сопутствующих прямому сжиганию в камерной топке трудностей, что должно способствовать повышению экономичности процесса [1—2]. В случае горючих сланцев одним из таких методов может быть термическая обработка и сжигание на базе модифицированной аппаратуры в установке с твердым теплоносителем (УТТ) [3], упрощенная структурная схема которой представлена на рис. 1.

Рис. 1

Структурная схема экспериментальной установки УТТ-2-Т-2.76. Обозначения: Р — реактор, АФТ — аэрофонтанная топка, СЗ — сепаратор золы, ЗВП — зольный воздухоподогреватель, КА — котельный агрегат. Потoki: I — сланец, II — коксозольный остаток (КЗО), III — парогазовая смесь (ПГС), IV — воздух, V — аэро-смесь золы и продуктов сгорания, VI — зола (теплоноситель), VII — продукты сгорания



Установка состоит из трех частей:

- дробильно-сортировочное отделение;
- отделение термической подготовки, состоящее из реактора (Р), аэрофонтанной топки (АФТ), сепаратора золы (СЗ), пусковой топки (ПТ), зольного воздухоподогревателя (ЗВП) и электропарогенератора;
- отделение сжигания и утилизации, включающее водогрейный котел НИИСТУ-5 и теплообменные устройства.

Работа установки осуществляется следующим образом. Сырой дробленый сланец грубого помола из бункера запаса подается шнековым

питателем с регулируемым числом оборотов через поточный смеситель в Р, где он смешивается с горячей золой (теплоносителем) и нагревается до температуры пиролиза, которая регулируется уменьшением кратности циркулирующей золы (зола:сланец). В результате пиролиза происходит термическая деструкция органической массы (ОМ) сланца. Образующаяся при этом парогазовая смесь (ПГС) подается в горелку водогрейного котла для сжигания в факеле. Горячий коксозольный остаток (КЗО) из реактора через аэродинамический питатель (АДП) подается в АФТ для выжигания оставшегося нелетучего углерода и получения новой порции теплоносителя. При этом в АФТ подается предварительно нагретый воздух. Зола, полученная в топке, отделяется в сепараторе от продуктов сгорания и разделяется на два потока, один из которых направляется в реактор, а другой выводится из системы. Бросовые газы подаются также в горелку котла.

Таблица 1

Характеристика образцов сланца, %

Образец	W <sup>a</sup>	A <sup>d</sup>	(CO <sub>2</sub> ) <sub>M</sub> <sup>d</sup>	Условная органическая масса (УОМ)	Q <sub>i</sub> <sup>f</sup> , МДж/кг	Элементный состав на сухую массу				
						C <sup>d</sup>	H <sup>d</sup>	S <sub>i</sub> <sup>d</sup>	N <sup>d</sup>	O <sup>d</sup>
1	5,18	77,57	7,07	15,36	3,01	9,78	1,59	2,23	0,22	1,93
2	3,74	42,71	14,67	42,62	8,07	29,67	3,93	4,18	0,31	4,90
Среднее	4,63	61,85	11,64	26,23	4,70	16,33	2,61	3,70	0,25	3,86

Таблица 2

Химический состав золы образцов сланца, %

Образец	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	CaO	MgO	MnO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SO <sub>3</sub>
1	50,90	15,12	4,20	3,04	19,41	1,92	0,14	2,00	0,84	0,53	0,67	1,33
2	21,60	7,23	2,03	4,53	56,61	2,06	0,26	1,26	0,90	0,26	1,00	2,26
Среднее	43,21	10,37	3,47	4,07	31,76	1,18	0,18	2,32	1,05	0,32	0,58	1,49

Чтобы определить потенциальные возможности данного метода применительно к кашпирским горючим сланцам, была исследована их переработка на опытной установке УТТ. Сланец, полученный для исследования (шахта «Кашпирская», 120 т), характеризовался неоднородностью. Чтобы получить более общее представление о его составе и свойствах, были отобраны единичные пробы, которые различались по содержанию органической массы и общей серы и по составу минеральной матрицы (таблицы 1 и 2).

Рентгеноструктурный анализ образцов выявил наличие в минеральной части таких минералов, как кварц, альбит, хлорит, ортоклаз, монтмориллонит, каолинит, биотит, гипс, пирит, карбонаты. Последние в основном представлены кальцитом (91 %) и незначительной долей доломита (7 %) и сидерита (2 %). Пирит, как показали петрографические исследования, разбросан во всей массе породы в виде единичных зерен неправильной формы размером 0,1—0,3 мм. Для рассматриваемых сланцев он является основной разновидностью серы: на его долю приходится более 60 % общей серы. Относительная доля органической серы составляет лишь 11—31 %. В работах [4—6] установлена пропорциональная зависимость между содержанием в сланце ОМ и сернистостью, что подтверждено и нашими данными (табл. 3).



## Распределение форм серы в сланце (А — абсолютное, О — относительное), %

Образец	$S_s^d$		$S_o^d$		$S_{SO_4}^d$		$S_t^d$	УОМ
	А	О	А	О	А	О		
1	1,59	71,50	0,25	10,90	0,39	17,60	2,23	15,36
2	3,17	75,80	0,64	15,40	0,37	8,80	4,18	42,62
Среднее	2,21	59,40	1,15	31,00	0,34	9,60	3,70	25,23
Рядовой сланец ([7], данные за 1957 г.)	2,20	45,90	2,30	47,90	0,30	6,20	4,80	28,00

Выход продуктов при полукоксовании средней пробы сланца в алюминиевой реторте (ГОСТ 3168-66) составил, %:

Смола	5,4
Полукок	80,52
Пирогенетическая вода	4,06
Газ+потери	10,28

Газ полукоксования имеет следующий состав, %:  $CH_4$  14,84,  $C_2H_6$  8,80,  $C_3H_8$  1,95,  $C_4H_{10}$  2,04,  $CO$  7,18,  $H_2$  16,96,  $H_2S$  3,89,  $CO_2$  29,12,  $O_2$  4,42,  $N_2$  13,75.

На основе информации о физико-химических свойствах сланцев и было организовано их опытное сжигание на установке УТТ.

В качестве основных критериев оценки эффективности сжигания были взяты степень выгорания КЗО и степень связывания серы собственной золой. Концентрацию диоксида серы ( $C_{SO_2}$ ) определяли экспериментально, а объем продуктов сгорания ( $V_{п.с}$ ) рассчитывали по данным элементного анализа топлива.

Показатели качества сланца, подаваемого на установку, соответствовали значениям для средней пробы (таблицы 1—3) с незначительными отклонениями в сторону ухудшения. Опыты проводили при следующих условиях: расход сланца крупностью до 12 мм 30—450 кг/ч при рабочей влажности 18,5 %; температура в Р 440—510 °С, в АФТ 750—900 °С; коэффициент избытка воздуха  $\alpha$  в АФТ 1,5—1,6; кратность циркуляции теплоносителя 3,5—4,0; средняя продолжительность опыта 24 ч.

Всего было проведено три серии из десяти опытов. При выборе температуры в Р руководствовались задачей обеспечить максимальный перевод ОМ сланца в ПГС и исключить возможность разложения пирита. Поскольку в ходе опытов подтвердилось, что интенсивная деструкция ОМ по температуре совпадает с началом диссоциации пирита (490—510 °С), то температуру в Р поддерживали на несколько десятков градусов ниже последней. Температурный режим АФТ лимитирован условиями автотермичности процесса в целом, интенсивностью окислирования сульфидных соединений КЗО и плавкостными характеристиками золы:  $T_A$  950—1010 °С,  $T_B$  1000—1060 °С,  $T_C$  1040—1190 °С.

Как показали испытания, химический недожог в широком диапазоне коэффициента избытка воздуха в исследованном температурном режиме не превышал 0,1 %. Поэтому эффективность горения КЗО определяется механическим недожогом, формирование которого связано с гранулометрическим составом КЗО и аэродинамическим режимом в топке.

На рис. 2 приведены ситовые характеристики исходного сланца и его продуктов. Около 50 % КЗО представлено частицами размером

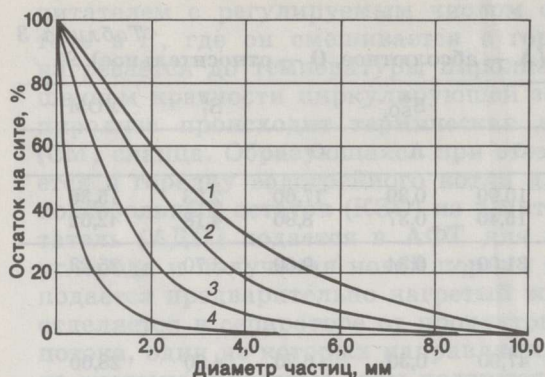


Рис. 2  
Кривые ситового анализа:  
1 — сланец, 2 — КЗО, 3 — зола (теплоноситель), 4 — зола уноса

более 2 мм. После АФТ доля этих частиц уменьшается до 20 %. Измельчение частиц в объеме АФТ связано с их взаимным истиранием. Некоторые структурные характеристики исходного сланца и его продуктов приведены в табл. 4. Пористость  $P_r^d$  золы в 1,5 раза выше, чем у КЗО.

В ходе опытов установлено, что сжигание сланца такого качества со степенью выгорания  $\eta$  95 % возможно при температуре в Р 450 °С и в АФТ 750—900 °С. Так, при температурах в АФТ 750 °С  $\eta$  составляла 95 %, при 820 °С — 97,4 %, при 875 °С — 99,2 %. Однако, когда коэффициент  $\alpha$  был больше 1,6, степень выгорания  $\eta$  не достигала 95 % из-за снижения температуры и уменьшения времени пребывания частиц КЗО в АФТ.

Таблица 4

**Структурно-механические характеристики кашпирского сланца и его продуктов**

Материал	Угол естественного откоса, град		Насыпная масса (без утруски), г/см <sup>3</sup>	Плотность, г/см <sup>3</sup>		Пористость $P_r^d$ , %	Коэффициент размолоспособности (данные ВТИ)	
	динамический $\theta_d$	статический $\theta_c$		$d_r^d$ *	$d_a^{d**}$			
Сланец	45,4	42,1	0,744	0,819	2,18	1,83	15,8	0,8
КЗО	42,7	39,5	0,717	0,823	2,35	1,76	23,7	—
Зола (теплоноситель)	42,2	38,7	0,707	0,788	2,48	1,69	32,2	—
Зола уноса	41,8	37,9	0,683	0,762	2,41	1,65	33,4	—

\* С действительной утруской.

\*\* Кажущаяся.

Концентрация  $H_2S$  в Р и  $SO_2$  в АФТ зависит от температуры в этих аппаратах обратно пропорционально. Причем с подъемом температуры в Р выше 500 °С степень связывания сероводорода золой растет, а при повышении температуры в АФТ выше 900 °С снижается степень связывания диоксида серы. Количественная оценка степени связывания  $SO_2$  показала, что практически вся сера КЗО (92—97 %) связывается оксидом кальция, образующимся в результате разложения кальцита.

Материальный баланс основных целевых потоков при термической деструкции следующий, кг/кг: смолы 0,11, горючего газа 0,06, золы 0,64 и продуктов сгорания 1,38.



В топке котла отмечено устойчивое горение ПГС в факеле при стабилизации корня факела высокотемпературными бросовыми газами из АФТ.

Изучение кашпирских сланцев в лабораторных условиях и на опытной установке экспериментально подтвердило, что их можно сжигать в аэрофонтанном предтопке с высокой степенью выгорания ( $\eta$  95 %) без подсветки высокорекрационным топливом в условиях автотермичности ведения процесса. Показано, что в результате диссоциации карбонатов, главным образом кальцита, образуется оксид кальция, благодаря чему существенно интенсифицируется реакция связывания сернистых соединений с золой.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Маргинс А. А., Песур А. А.* Перспективы двухступенчатого сжигания сланцев с газификацией их в кипящем слое // Горение органического топлива. Новосибирск, 1985. Ч. 1. С. 117—121.
2. *Каширский В. Г., Каштаков В. В.* Перспективы получения энергетического газа из многосернистых сланцев Поволжья // Химия тв. топлива. 1981. № 3. С. 9—12.
3. *Иорудас К. А., Скрипаль Т. М., Сидорович Я. И.* К вопросу переработки менилитовых сланцев Карпат на установках с твердым теплоносителем // Энерготехнологическое использование топлив / ЭНИН им. Г. М. Кржижановского. М., 1984. С. 116—123.
4. *Кизильштейн А. Я., Погребнова Н. Б.* Биохимия серы горючих сланцев Волжского бассейна // Горючие сланцы. 1985. Т. 2, № 4. С. 63—64.
5. *Клесмент И. Р., Уров К. Э.* Природа серы в горючих сланцах // Там же. № 2. С. 139—149.
6. *Парнарова Г. М.* К вопросу об осернении рассеянного органического вещества пород // Химия тв. топлива. 1975. № 3. С. 15—23.
7. *Барщевский М. М., Безмозглый Э. С., Шапиро Р. Н.* Справочник по переработке горючих сланцев. — Л., Гостехиздат. 1963.

Представил А. А. Отс

Поступила в редакцию  
29.01.1988

Институт геологии и геохимии  
горючих ископаемых  
Академии наук Украинской ССР  
г. Львов

Энергетический институт им. Г. М. Кржижановского  
г. Москва

Ja. I. SIDOROVICH, E. V. MARTYNETS, A. V. PEREPEL'KIN

## INVESTIGATION OF BURNING KASHPIR SHALES ON THE SOLID HEAT CARRIER PILOT PLANT

The results of investigation of burning Kashpir shales on the solid heat carrier pilot plant are presented.

Academy of Sciences of the Ukrainian SSR,  
Institute of Geology and Geochemistry  
of Combustible Minerals  
Lvov

G. M. Krzhizhanovsky Power Institute  
Moscow