

К. ТЕННО

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА  
РАЗРАБАТЫВАЕМЫХ ПРОЦЕССОВ  
ТЕРМИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ СЛАНЦА

Среди эксплуатируемых и разрабатываемых процессов термической переработки сланца по современным представлениям о развитии техники заслуживают внимания три: полукоксование в генераторах, методом твердого теплоносителя и в псевдоожиженном (кипящем) слое.

Современный газогенератор, разработанный на основе опыта длительной эксплуатации генераторов различной конструкции на ПО «Сланцехим» им. В. И. Ленина в Эстонской ССР, представляет собой агрегат с поперечным потоком газового теплоносителя для переработки сланца размерами кусков 25—125 мм. При переработке прибалтийского сланца (кукерсита) с теплотой сгорания  $Q_s^d = 13,4$  МДж/кг и рабочей влажностью  $W_t^r = 9\%$  процесс характеризуется следующими показателями [1, 2]:

Производительность по сланцу, т/сут	1000
Выход смолы в расчете на рабочий сланец, %	17—18
Выход газа (4,6 МДж/м <sup>3</sup> ), м <sup>3</sup> /т	400—450
Химический к. п. д. процесса, %	74
Выход подсмольной воды, кг/т	258
Выход твердого остатка, кг/т	550—600
Содержание фенолов в подсмольной воде, г/л	10—12

Генераторный процесс хорошо освоен в промышленности. Агрегаты просты по конструкции и надежны в работе. Современный генератор легко обслуживается, его управление полностью автоматизировано. Не решен, однако, вопрос о твердом остатке — полукоксе, который характеризуется низкой степенью разложения карбонатов и высоким содержанием органического вещества, что затрудняет его использование в промышленности строительных материалов или для других целей.

Для переработки мелкозернистого сланца Энергетическим институтом им. Г. М. Кржижановского в сотрудничестве с Институтом химии АН ЭССР, НИИсланцев и сланцехимическим заводом (СХЗ) «Кивиыли» разработан метод полукоксования твердым зольным теплоносителем [3]. Метод прошел ряд опытных и опытно-промышленных проверок, и установка производительностью 500 т сланца в сутки (УТТ-500) длительное время эксплуатировалась на СХЗ «Кивиыли». В годы X пятилетки на Эстонской ГРЭС построены две установки производительностью по 3000 т сланца в сутки (УТТ-3000) для энерготехнологического использования сланца на электростанциях. Однако в ходе их освоения были обнаружены серьезные недостатки при проведении процесса, обусловленные неработоспособностью ряда узлов и систем, и установки до сих пор не освоены. Сообщения авторов процесса о введении установок в действие и достижениях ими проектных показателей преждевременны [4, 5, с. 76]. Более того, в пробах полученного масла соотношение легких и тяжелых фракций существенно отличается от проектного (1 : 2,25 против 1 : 1), что делает неэффективной работу системы очистки масла,

а также затрудняет его использование на ГРЭС и дальнейшую переработку.

Зола переработки сланца методом твердого теплоносителя при испытанном высокотемпературном режиме (температура в аэрофонтанной топке 800—820°C) в УТТ-500 и при проведенных пусках УТТ-3000 содержит, помимо органических веществ, значительное количество свободной окиси кальция и водорастворимых сульфидов, и ее складирование представляет большую опасность для человека и окружающей среды — прежде всего для поверхностных и подземных вод. Для использования этой золы предлагается ее дополнительная термическая обработка — дожигание, однако техническое решение соответствующего узла отсутствует.

Чтобы выявить возможность предотвращения образования в золе УТТ-3000 свободной окиси кальция и сульфидов, на стендовой установке испытан режим со сниженной температурой в аэрофонтанной топке (750—700°C). При таком режиме одновременно с исчезновением в зольном остатке свободной окиси кальция и сульфидов увеличивается выход суммарной смолы и возрастает содержание водорастворимых фенолов как в самой смоле, так и в подсмольной воде. Выход газа в этом случае снижается — на фоне увеличения содержания в нем двуокиси углерода и сероводорода. Такой газ нельзя сжигать в свече, а при сжигании его в реконструированном котле требуется дополнение технологической схемы сероочисткой газа.

Ориентировочные характеристики технологического процесса переработки сланца в УТТ-3000 при описанных двух режимах представлены в табл. 1 [2, 6].

При условии освоения и обеспечения устойчивой работы УТТ-3000 следует провести их балансовые испытания для принятия обоснованного заключения о технико-экономической эффективности процесса и его перспективах.

В НИИсланцев в настоящее время разрабатывается технология полукоксования сланцевой мелочи в псевдооживленном слое. Завершено проектирование опытной установки производительностью 25 т сланца в сутки, и на СХЗ «Кивиыли» проведены подготовительные работы для ее сооружения. Технология предназначена для использования сланца крупностью 1—5 мм. По технологическому регламенту на проектирование опытно-промышленной установки процесс характеризуется следующими выходами продуктов на 1 т перерабатываемого сланца:

Смола безводная, кг	186
Газ (2,93 МДж/м <sup>3</sup> ), м <sup>3</sup>	60
Газбензин, кг	6
Подсмольная вода, кг	97

Получаемая смола содержит до 32% суммарных фенолов, подсмольная вода — от 3 до 5,6 г/л. Содержание механических примесей в смоле и их дисперсный состав ожидаются аналогичными соответствующим показателям для генераторной смолы. В твердом остатке переработки содержится до 5—6% углерода, поэтому он пригоден для изготовления цементной сырьевой смеси.

Рассмотренные процессы полукоксования сланца трудно сравнивать в полной мере — прежде всего из-за различной степени освоенности агрегатов. Соответственно, приводимые ниже расчетные экономические оценки являются в большей мере условными, ориентировочными характеристиками указанных процессов.

Для сравнения экономической эффективности каждый из рассматриваемых процессов полукоксования сланца представлен в двух вариантах: без химической переработки смолы и фенолов и с нею — итого 8 вариантов. Под химической переработкой смолы и фенолов подразумевают подготовку и разделение смолы на фракции, выделение из смолы

## Переработка сланца в УТТ-3000

Показатель	Режим	
	обычный	низкотемпературный
$Q_6^d$ , МДж/кг	10,9	10,9
$W_7$ , %	11,2	12,4
$Q_7^d$ , МДж/кг	8,66	8,5
Выход на 1 т рабочего сланца, кг:		
смолы	129,4	172,0
газбензина	7,0	8,8
газа	46,2	25,4
в т. ч. очищенного от $H_2S$	—	24,2
фенольной воды	28,0	55,0
Содержание фенолов в под- смольной воде, г/л	1,7	24,0

Таблица 2

Выход фенолов при термической переработке  
сланца-кукерсита в различных агрегатах

Показатель	Генератор	УТТ		АПС
		Обычный режим	Низко-температурный режим	
	Сланец			
$W_7$ , %	9,0	9,4	12,4	10—11
Содержание органической массы, %	34,6	29,4	28,3	22—25
	Фенольная вода			
Выход на рабочий сланец, л/т	258	28	55	97
Содержание водорастворимых фенолов, г/л	7,3	1,7	24	5,6
Выход водорастворимых фенолов на рабочий сланец, %	0,188	0,005	0,132	0,054
	Смола			
Выход на рабочий сланец, %	16,6	13,6	17,2	17
Содержание суммарных фенолов, %	30,6	13,0	17,05	32
Содержание 5-алкилрезорцинов, %	3,36	0,79		3,5
То же, с учетом фенолов, содержащихся в воде, %	3,85	0,79		4,0
Выход водорастворимых 5-алкилрезорцинов, %:				
на сухой сланец	0,24	0,02	0,22	0,25
на органическую массу	0,69	0,08	0,69	0,95
на смолу	1,27	0,15	1,12	1,33
Промышленный выход водорастворимых фенолов на смолу, %	2,3	0,2	1,6	2,6
В т. ч. 5-метилрезорцина	0,5	0,05	0,4	0,6
алкилрезорцина	0,4	0,1	0,7	0,5

и подсмольной воды фенолов, их ректификацию и выработку из ректификата наиболее специфичных для кукурсита двухатомных фенолов — 5-метилрезорцина и алкилрезорцина. В расчетах использованы последние проектные и научно-исследовательские данные, в некоторых случаях скорректированные с помощью соответствующих специалистов.

Эффективность термической переработки сланца, естественно, зависит от выхода и качества полезных продуктов переработки, прежде всего смолы как источника жидкого топлива, а также фенолов — наиболее ценных и специфичных продуктов разложения сланца-кукурсита. Выходы фенолов при переработке сланца в агрегатах различной конструкции и с разным температурным режимом не одинаковы. Фенолы весьма чувствительны к термическому воздействию и разлагаются при жестких технологических режимах. Выход фенолов в генераторах и агрегатах с псевдооживленным слоем (АПС) значительно выше, чем в установках с твердым теплоносителем (особенно при высокотемпературном режиме). Низкий выход фенолов в данном процессе связан с их хемосорбцией на зольном теплоносителе, содержащем свободную окись кальция [7]. В основу наших расчетов сравнительной экономической эффективности по рассматриваемым вариантам положены выходы фенолов и их отдельных фракций (табл. 2) [8, 9].

Варианты сравниваются по приведенным затратам на полукоксование и последующие операции. В вариантах с химической переработкой смолы и фенолов побочные химические продукты отключены по оптовым ценам. Суммарные затраты распределены между смолой, газом и газбензином пропорционально их теплосодержанию. Рассчитаны также затраты на 1 т условного топлива. Уровень затрат на добычу сланца соответствует затратам, принятым для варианта развития сланцедобывающей промышленности Эстонской ССР согласно схеме развития производительных сил республики.

Результаты расчета (табл. 3) показывают, что химическая переработка смолы и фенолов значительно улучшает экономику сланцепереработки, за исключением варианта УТТ на высокотемпературном режиме, где затраты на выделение и переработку фенолов превышают выручку от их реализации. В других вариантах за счет химической переработки смолы и фенолов затраты на топливную продукцию снижаются на 21—66%. Наименьшие затраты по рассматриваемым вариантам в расчете как на натуральное жидкое топливо (смолу), так и в условном исчислении получаются при генераторном процессе. Полукоксование сланца в псевдооживленном слое с химической переработкой смолы и фенолов по эффективности практически равно соответствующему варианту переработки сланца в генераторах. Среди вариантов без химической переработки смолы и фенолов АПС и УТТ на низкотемпературном режиме также имеют практически равную эффективность. Высокотемпературный режим полукоксования в УТТ как с химической переработкой смолы и фенолов, так и без нее значительно уступает другим процессам переработки сланца.

Анализ структуры затрат по вариантам показывает, что преимущество генераторов перед другими агрегатами связано, помимо высокого выхода полезных продуктов при генераторном процессе, с наименьшей капиталоемкостью генераторов. В приведенных затратах на долю капитальных приходится (при рассматриваемых двух вариантах): для генераторного процесса 18 и 25%, высокотемпературного режима УТТ 30 и 29%, низкотемпературного режима УТТ 30 и 45% и процесса с псевдооживленным слоем 28 и 46%.

Все это подтверждает результаты многочисленных исследований Института экономики АН ЭССР, свидетельствующих о том, что переработка кускового сланца в газогенераторах экономически эффективнее, чем мелкозернистого в УТТ, а тем самым и вывод о том, что при любом варианте развития сланцедобывающей промышленности следует предусматривать

**Приведенные затраты на производство продуктов  
термического разложения сланца  
в различных агрегатах, %**

Показатель	Генератор	УТТ				АПС			
		Высокотемпературный режим		Низкотемпературный режим		Высокотемпературный режим		Низкотемпературный режим	
Химическая переработка									
	Нет	Есть	Нет	Есть	Нет	Есть	Нет	Есть	
В на туральном выражении:									
на смолу	100,0	78,5	100,0	113,3	100,0	74,0	100,0	66,7	
на газ	100,0	83,8	100,0	111,2	100,0	74,0	100,0	58,1	
на газбензин			100,0	101,4	100,0	67,1	100,0	59,9	
В условном исчислении	100,0	79,0	100,0	110,9	100,0	73,8	100,0	66,2	
В сравнении с генераторным процессом	100,0	100,0	130,0	182,5	115,8	108,0	122,0	101,3	

максимальное извлечение сланца крупного класса и строительство обогатительных фабрик для увеличения ресурсов кускового сланца.

Как уже было отмечено, освоенность рассматриваемых процессов переработки сланца неодинакова. Поэтому степень определенности использованных исходных данных и полученных результатов по вариантам различна. Наиболее освоен генераторный процесс. Низкотемпературный режим УТТ и процесс с псевдооживленным слоем прошли испытания лишь на стендовых установках, поэтому принятые для них исходные технико-экономические показатели могут значительно измениться.

На данном этапе работы не учтены обезвреживание и утилизация твердых остатков термической переработки, а также затраты природоохранного характера, так как эти проблемы до сих пор не получили удовлетворительного технологического разрешения. Но поскольку эти мероприятия в равной мере необходимы во всех рассматриваемых вариантах, их учет не может изменить соотношений экономической эффективности вариантов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Процесс термической переработки кускового сланца. М., 1975.
2. Ефимов В. М., Дойлов С. К., Роокс И., Лезнер Р. Термическая переработка кускового сланца в газогенераторах. — Горючие сланцы, 1984, 1, № 1, 81—90.
3. Тягунов Б. И., Панов В. И., Стельмах Г. П. Энерготехнологическое использование горючих сланцев. — Энергетическое строительство, 1980, № 4, 28—30.
4. Тягунов Б. И., Стельмах Г. П., Чукул В. И., Гаврилин А. В., Аранович Ю. В., Долгополов Б. М. Современное состояние и перспективы использования горючих сланцев в энергетике и технологии. — Химия тв. топлива, 1982, № 3, 26—34.
5. Проблемы комплексного использования горючих сланцев Белорусской ССР. Минск, 1983.
6. Ефимов В. М., Ионас Р. Э., Пийк Э. Э., Роокс И. Х. Сланцеперерабатывающая промышленность СССР и пути ее развития. (Тематический обзор). М., 1982.

7. Ефимов В. М., Дойлов С. К., Лилле Ю. Э., Пурре Н. А., Соо М. О., Мурд А. Г. Влияние свободной окиси кальция на выход и продукты полукоксования кукурсита. — Химия тв. топлива, 1975, № 2, 72—79.
8. Ефимов В. М., Петухов Е. Ф., Дойлов С. К., Кундель Х. А. Некоторые особенности термической переработки кукурсита в промышленных условиях. — Химия тв. топлива, 1981, № 1, 56—64.
9. Ефимов В. М., Кундель Х. А., Дойлов С. К., Аранович Ю. В. О влиянии технологического режима термической переработки кукурсита на выход 5-алкилрезорцинов. — Химия тв. топлива, 1981, № 2, 86—93.

Представил И. З. Каганович

Институт экономики  
Академии наук Эстонской ССР  
г. Таллин

Поступила в редакцию  
20. 03. 1984

K. TENNO

### A COMPARATIVE ECONOMIC ESTIMATE OF OIL SHALE THERMAL PROCESSINGS

The paper presents the results of estimating comparative efficiencies of oil shale thermal processings carried out at the Institute of Economics of the Academy of Sciences of the Estonian SSR within the research programme of comprehensive utilization of oil shale. The technologies studied involve semicoking in generators, with a solid heat carrier (high and low temperature regimes), and fluidized distillation. Two variants of each technology are discussed: with and without chemical processing of oil and phenols obtained.

The comparative efficiency of the variants is calculated in the form of reduced expenses for semicoking and the following technological operations. Total expenses are either divided between the obtained oil, gas and casing-head gasolene in proportion to their heat content, or are presented per 1 GJ and 1 ton of arbitrary fuel contained in the products.

The calculations show that chemical processing of oil and phenols raise the efficiency of the variants studied cutting expenses by 27—51 per cent. In comparison with other variants the generator process is economically the most advantageous, especially if oil and phenols are processed. The efficiency results from the comparatively low capital intensity of generators on the one hand, and the high yield of useful products, especially water-soluble phenols, on the other.

The results obtained should be regarded as preliminary ones, since the technological processes compared are not developed to the same degree, and thus the uncertainties of the input data differ. The generator process is the most developed. Therefore, the advantages of generators will evidently be preserved if conditions are changed.

Academy of Sciences of the Estonian SSR,  
Institute of Economics  
Tallinn