

Р. П. ДЗЕДЗИК, К. А. ИОРУДАС, В. Г. СИНЯКЕВИЧ

### МЕНИЛИТОВЫЕ СЛАНЦЫ КАРПАТ — НИЗКОКАЛОРИЙНОЕ ТОПЛИВО ДЛЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

В последнее десятилетие качество твердого топлива, поступающего на электростанции Украинской ССР, существенно снизилось. Это обусловлено изменившимися горно-геологическими условиями, разработкой пластов с более высокой зольностью, а также тем, что основная масса обогащенного концентрированного угля идет на нужды металлургии и быта, а на электростанции поставляются высокозольные шламы и промпродукты.

Поэтому структура топливного баланса электростанций Минэнерго УССР существенно изменилась [1]: в 1970—1979 гг. поставки высокозольных шламов и промпродуктов возросли с 3 до 7,4 млн. т, или до 12% от общего количества твердого топлива. В 1970 г. зольность шлама  $A^d$  составляла 31—32%, в 1978 г. — 39—40%, а в настоящее время она иногда достигает 50—70%.

Особенно резко качество твердого топлива ухудшилось в последние годы. Так, если в 1966—1976 гг. ежегодное снижение теплоты сгорания равнялось в среднем 0,28 МДж/кг, то после 1976 г. оно достигло 0,69 МДж/кг.

Электростанции УССР ощущают недостаток и в количестве угля, что требует завоза топлива из угольных бассейнов, лежащих далеко за пределами республики. В 1980 г. доля дальнепривозного твердого топлива по Минэнерго УССР достигла 8,9%. Еще сложнее снабжение топливом электростанций Западной части УССР, базирующихся на Львовско-Волынском угольном бассейне. Газовые угли этого бассейна все шире вовлекаются в технологические процессы, не связанные с выработкой электроэнергии, что приводит к необходимости увеличения привоза в этот район углей Донбасса. В 1980 г. доля такого угля составила 20%.

Опыт сжигания углей ухудшенного качества показывает, что в эксплуатируемых в настоящее время котлах обеспечить устойчивый режим работы топki без подсветки мазутом или газом практически невозможно уже при теплоте сгорания угля ниже 21,8 МДж/кг [2, 3]. По данным Союзтехэнерго, для обеспечения стабильной работы топki при снижении теплоты сгорания угля с 21,8 до 18,8 МДж/кг доля подсветки газом или мазутом возрастает с 5 до 15% от общего тепловыделения. Более того, поставки угля по маркам неравномерны, а возможности его перемешивания на топливном складе электростанции, как правило, отсутствуют. Резко меняющееся качество угольной пыли серьезно затрудняет ее сжигание. Существенный рост зольности и влажности углей вызывает дополнительные трудности в обеспечении устойчивой работы котлов. Прогнозируемое дальнейшее снижение качества поставляемых электростанциям углей требует поиска новых методов организации процессов сжигания, обеспечивающих надежную и экономичную работу котлов в сложившихся условиях топливоснабжения.

Сравнительный анализ показывает, что наиболее полно требованиям сжигания озоленных углей отвечает способ сжигания их в предтопках

с кипящим или фонтанирующим слоем с предварительным полукоксованием исходного топлива методом твердого теплоносителя, разработанным в Государственном научно-исследовательском энергетическом институте им. Г. М. Кржижановского (ЭНИИ). Идея о целесообразности полукоксования топлива перед сжиганием была высказана и обоснована еще в 1955 г. применительно к циклонным предтопкам с жидким шлакоудалением [4]. Однако при сжигании высокозольных топлив жидкое шлакоудаление не оправдано, так же, как и применение сложных по конструкции и не оправдавших себя в эксплуатации высокотемпературных циклонных предтопок. Для предварительного полукоксования необходимы другие, более простые и надежные конструкции топочных устройств.

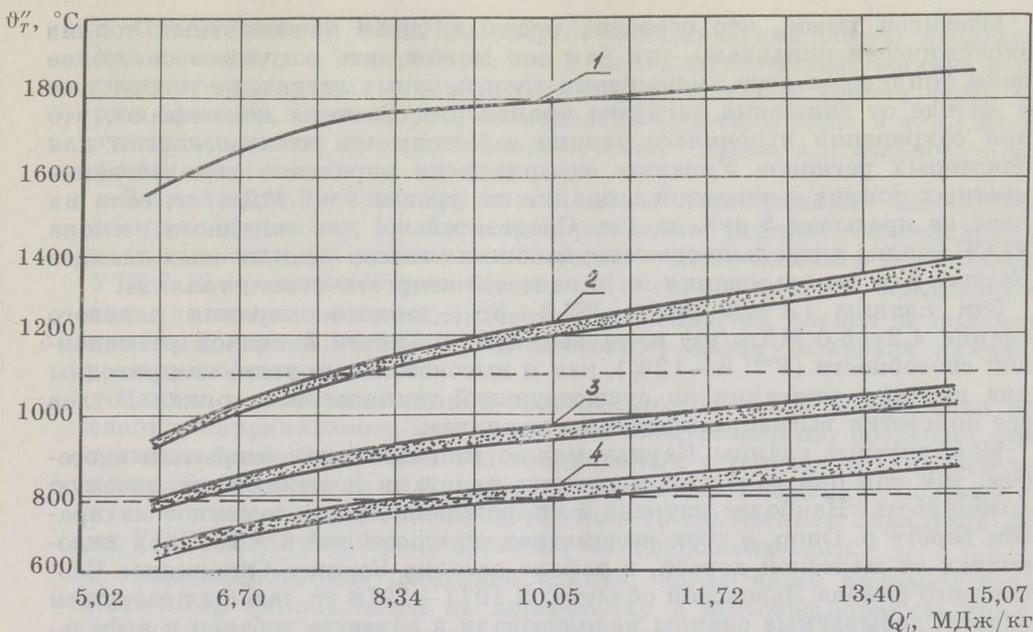
Одна из наиболее подходящих для использования в качестве предтопка, сжигающего полукоккс, — аэрофонтанная топка (АФТ) ЭНИИа [5]. Уже накоплен значительный положительный опыт ее эксплуатации. Например, на сланцеперерабатывающем комбинате «Кивийоли» АФТ установки по переработке мелочи сланцев в жидкие и газообразные продукты к июню 1981 г. проработала 107.400 ч при среднегодовой наработке 6300 ч. При производительности установки до 22 т исходного топлива в час диаметр рабочего канала топки составляет всего 1600 мм.

Так как АФТ ЭНИИа не имеет тепловоспринимающих поверхностей нагрева, основным условием ее надежной эксплуатации является поддержание в камере горения температуры ниже температуры размягчения золы сжигаемого топлива. Кривая 1 (рисунок) иллюстрирует зависимость расчетных значений температуры газов на выходе из АФТ от теплоты сгорания сжигаемого топлива. Пунктирными линиями обозначен желательный интервал температур (800—1100°C), в котором топка должна работать для обеспечения беспыльчатого режима. Как видно из приведенных данных, разрыв между расчетным и желательным уровнями температур существен (до 700°), что делает АФТ непригодной для прямого сжигания в ней рассматриваемых углей.

Однако положение коренным образом изменится, если применить в сочетании с АФТ предварительное полукоксование исходного топлива методом твердого теплоносителя, в нашем случае — собственной горячей золой. При этом ожидаемое снижение уровня температуры в АФТ будет зависеть от заданной температуры процесса полукоксования — 500, 600 или 700°C (на рисунке, соответственно, зоны 2, 3 и 4). Практически при полукоксовании в интервале температур 500—650°C обеспечивается необходимый для беспыльчатого режима работы температурный уровень в камере горения АФТ при теплоте сгорания топлива до 15 МДж/кг.

В рассматриваемом случае суть метода полукоксования топлива твердым теплоносителем заключается в нагреве исходного топлива до заданной температуры за счет тепла смешиваемой с ним горячей золы, выделяемой из потока продуктов сгорания твердого остатка полукоксования в АФТ, и выдерживания смеси при заданной температуре без доступа воздуха в реакторе полукоксования в течение определенного времени. Время выдержки определяется свойствами исходного топлива, крупностью его дробления, желаемой глубиной термического разложения; обычно достаточно 15—25 мин. Заданный температурный уровень в реакторе полукоксования поддерживается регулировкой соотношения топливо—зола, которое в рассматриваемом случае может изменяться от 1 : 1 до 1 : 2,5.

В зависимости от температуры, поддерживаемой в реакторе полукоксования, происходит термическое разложение горючей массы топлива с частичным или полным выделением ее летучей части в виде высококалорийного (до 42 МДж/м<sup>3</sup>) пиролизного газа и паров жидких фракций (смол). Выделившуюся в реакторе пиролиза парогазовую смесь (ПГС) можно использовать как высококалорийное топливо, подавая ее или не-



Изменение расчетной температуры газов на выходе из аэрофонтанной точки (АФТ) в зависимости от выбранного режима работы и теплоты сгорания топлива: 1 — режим без предварительной термической подготовки, 2—4 — режимы с предварительным нагреванием топлива до температуры, соответственно, 500, 600, 700°C,  $\vartheta_T'$  — расчетная температура на выходе из АФТ,  $Q_i'$  — теплота сгорания топлива

посредственно к горелкам котла, или в систему очистки и конденсации, где жидкие фракции выделяются и накапливаются для сжигания в часы пикового роста нагрузок. Твердый остаток полукоксования (активированный горячий полукокк) используется как топливо для АФТ.

Распределение потенциального тепла исходного топлива между продуктами полукоксования может изменяться в широких пределах и зависит от состава горючей массы топлива (в первую очередь от содержания водорода), температуры процесса полукоксования и скорости нагрева частиц топлива. По данным [6], в результате полукоксования при температуре 500—650°C углей с содержанием водорода 5—6% в ПГС может переходить от 28 до 35% потенциального тепла, содержащегося в исходном топливе. Для прибалтийских сланцев, содержащих до 9,5% водорода, этот показатель может достигать 80—90%. Перевод части потенциальной теплоты сгорания исходного топлива в ПГС и существенное озоление полукокка в процессе полукоксования, а следовательно, снижение его удельной теплоты сгорания, обеспечивает возможность успешного применения АФТ при условии предварительного полукоксования сжигаемого топлива в качестве предтопков для энергетических котлов.

Предложенное, достаточно простое, техническое решение организации сжигания высокозольных топлив, и в первую очередь сланцев, ставит на повестку дня вопрос о нижнем пределе качества, при котором добыча и сжигание твердого топлива могут быть экономически оправданы. Все большее использование в топливном балансе электроэнергетики Украины дальнепривозных, дорогих видов топлива, газа и мазута, доля которых в 1982 г. составила 73,4% от всего сожженного топлива, привело к тому, что стоимость 1 т условного топлива по Минэнерго УССР в 1982 г. была вдвое больше, чем в системе Эстонглавэнерго, электростанции которой сжигают местные сланцы со средней теплотой сгорания 9,2 МДж/кг.

Очевиден вывод, что освоение местных, даже низкосортных топлив экономически оправдано, так как оно может дать ощутимое снижение цены топлива за счет уменьшения транспортных затрат, не говоря уже о выгоде от снижения загрузки транспорта. Расчеты показывают, что при сохранении нынешнего уровня себестоимости электроэнергии для некоторых регионов Украины экономически оправдано использование местных топлив с теплотой сгорания на уровне 5—6 МДж/кг, если их цена не превысит 5 руб. за 1 т. Следовательно, для западного региона УССР вполне актуально освоение больших запасов менилитовых сланцев Карпат для использования их в качестве энергетического топлива.

Эти сланцы ( $A^d$  65—85%,  $W_r^i$  3—5%, теплота сгорания рядового сланца 4,2—5,0 МДж/кг) из-за высокой зольности и низкой реакционной способности ( $V^{daf}$  8—12%), как и высокозольные угли, не пригодны для прямого сжигания по существующей технологии в топках котлов без подсветки высокорекционным топливом.

Менилитовые сланцы Карпат можно разрабатывать открытым способом, так как они залегают мощными пластами и выходят на дневную поверхность. Наиболее изучено месторождение, расположенное на правом берегу р. Опор, в трех километрах от шоссе и в четырех километрах от железной дороги, в районе поселка Верхнее Синевидное Сколевского района Львовской области. В 1977—1978 гг. там был сооружен карьер, добываемые сланцы использовали в качестве добавки к асфальту. Ориентировочные геологические запасы месторождения — 1350 млн. т.

Возможны четыре способа сжигания менилитовых сланцев Карпат в энергетических котлах.

1. Прямое сжигание с подсветкой мазутом или природным газом в котлах, специально рассчитанных на такой режим работы. Этим путем пошли энергетики Румынии, где уже накоплен некоторый опыт использования сланцев, по свойствам аналогичных менилитовым. В результате опытного сжигания сланцев месторождения Анина (рабочая теплота сгорания 4,2 МДж/кг, зольность 75, влажность 8—16%) установлено, что сланец указанного качества можно использовать как энергетическое топливо при условии постоянной подсветки мазутом на уровне 15—20% по теплу. Такой уровень соответствует принятому в нашей стране для сжигания углей ухудшенного качества.

При сравнении некоторых усредненных характеристик менилитовых сланцев месторождений Анина, Доман (СРР) и Верхнее Синевидное (СССР) существенное отличие отмечается только в содержании серы, все остальные весьма близки (таблица).

Сравнительные характеристики сланцев различных месторождений

Страна	Месторождение	Технологические показатели				
		$Q_r^i$ , МДж/кг	$W_r^i$ , %	$A^d$ , %	$S_r^d$ , %	$V^{daf}$ , %
СРР	Доман	4,98	6,12	74,2	0,4	14,38
	Анина	4,93	1,6	75,3	0,3	8,14
СССР	Верхнее	4,73	3,0	79,7	3,0	12,5
	Синевидное					

В СРР вблизи месторождения Анина в 1979 г. начато строительство крупной электростанции, запроектированной на сжигание сланца с 15-процентной по теплу подсветкой мазутом, в составе трех энергоблоков мощностью по 330 МВт каждый. Общие запасы сланцев этого месторождения составляют 580 млн. т, что обеспечит работу электростанции в течение 60 лет. (Более подробно об этом см. в обзоре [7]).

2. Предложенный ЭНИОм энерготехнологический способ использования сланцев, т. е. переработка его в высококачественные жидкие и газообразные продукты — заменители нефти, наиболее ценная часть которых (фенолы, сероводород, непредельные углеводороды и т. п.) используется в качестве химико-технологического сырья, а остальное — в качестве энергетического топлива [8].

Возможности реализации такой схемы использования менилитовых сланцев изучаются на базе месторождения Верхнее Синевидное, где построена опытная установка с твердым теплоносителем в двух ступенях УТТ-2-12 пропускной способностью 12 т сланца в сутки, предназначенная для изучения технологических особенностей сланца и получения опытных партий смолы [9]. В настоящее время установка находится в стадии освоения.

Однако применение полной энерготехнологической переработки всего сланца, направляемого для выработки электроэнергии, потребует строительства большого количества специальных установок, а следовательно, длительного времени и больших капитальных вложений. Поэтому этот путь, с учетом сегодняшнего положения со снабжением Западного района УССР топливом, представляется малоперспективным.

3. Комбинированное сжигание сланца, когда часть рядового сланца (20—25%) направляется на переработку в высококалорийное топливо с использованием последнего для стабилизации горения (подсветки), а основная масса сланца (75—80%) направляется в топку котла на прямое сжигание.

По предварительным расчетам, для работы электростанции с установленной мощностью 600 МВт (3 блока по 200 МВт), при шести тысячах часов работы в год с нагрузкой 0,8 от номинального значения, в год потребуется примерно 3 млн. т менилитового сланца со средней теплотой сгорания 4,2 МДж/кг. Из этого количества на энерготехнологическую переработку необходимо направить 1 млн. т в год. Для его переработки электростанция должна располагать блоком из двух установок УТТ-2-2000 (пропускной способностью 2000 т сырого сланца в сутки).

4. Весьма перспективно и достаточно просто использование при сжигании высокосольных углей и сланцев аэрофонтанных предтопков с предварительным полукоксованием исходного топлива собственной горячей золой, что, по сравнению с факельным сжиганием и традиционной подготовкой топлива в пылесистемах различных типов, дает следующие преимущества:

- существенно упрощается система топливоподготовки и снижаются удельные затраты энергии на эту операцию, так как в реактор подается дробленое топливо без предварительной подсушки;

- обеспечивается сжигание топлива, теплота сгорания которого изменяется в широком диапазоне — от 6 до 15 МДж/кг;

- для стабилизации процесса горения не требуется жидкое или газообразное топливо, так как в топке котла сжигается ПГС с высокой теплотой сгорания в количестве 20—35% по теплу;

- при сжигании даже самых высокосольных видов твердого топлива ( $A^d$  до 70%) в топку котла сбрасываются продукты сгорания, в которых содержание золы такое же, как в продуктах прямого сжигания пылеугольного топлива с зольностью  $A^d$  8—12%, что практически полностью снимает вопросы о золовом износе конвективных поверхностей нагрева котла и применении более мощных систем газоочистки;

- при более низком температурном уровне процесса горения в топке котла вероятность шлакования поверхностей нагрева снижается;

- полностью сохраняется возможность работы котла на резервных видах топлива (сезонные избытки газа, мазута);

- сохраняется привычная компоновка котла.

Накопленный к настоящему времени опыт сжигания топлива аэрофонтанным методом и его полукоксования в установках топливопереработки позволяет приступить к созданию демонстрационного энергетического агрегата для сжигания высокозольных газовых и других углей с большим выходом летучих, а также различных видов сланцев. Это позволит оперативно отрабатывать вопросы, связанные с эксплуатацией таких систем в сочетании с котлом, их автоматизацией, накопить данные о надежности и экономической эффективности работы при сжигании высокозольных углей, сланцев и других твердых топлив с различной теплотой сгорания.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Скляр В. Ф. О повышении эффективности энергетического производства в условиях сжигания низкосортных топлив. — Энергетика и электрификация, 1980, № 4, 9—12.
2. Гольшев Л. В., Красноштан Н. Н., Потапенко Ю. Ф., Сиденко А. П., Синякевич Б. Г. Опыт сжигания твердого топлива ухудшенного качества на Трипольской ГРЭС. — Энергетика и электрификация, 1980, № 2, 9—12.
3. Гольшев Л. В., Синякевич Б. Г., Потапенко Ю. Ф., Красноштан Н. Н., Сиденко А. П. Экономичность котла ТПП-210А при сжигании антрацитовых углей ухудшенного качества. — Энергетика и электрификация, 1981, № 1, 9—11.
4. Хитрин Л. Н., Шелестин Ю. П. Применение циклонной топки в установках энерготехнологического использования твердого топлива. — Теплоэнергетика, 1955, № 9, 26—31.
5. А. с. № 754163 (СССР). Аэрофонтанная топка / Чикул В. И., Перепелкин А. В., Гаврилин А. В., Смирнов А. С. — Оpubл. в Б. И., 1980, № 29.
6. Чуханов З. Ф., Хитрин Л. Н. Энерготехнологическое использование топлива. М., 1956.
7. Сууркуус Т. Румынские сланцы на службе электроэнергетики. — Горючие сланцы, 1984, 1, № 2, 209—211.
8. Оценка возможности энерготехнологического использования менилитовых сланцев Карпат на основе метода термической переработки с твердым теплоносителем / Долгополов Б. М. и др. — В кн.: Всесоюз. науч.-техн. совещ. по комплексному использованию топлив. Ч. 2. М., 1973, с. 41—45.
9. Тягунов Б. И., Чикул В. И., Смирнов А. С. Энерготехнологическая схема переработки сланцев в СССР. Доклад на советско-американском симпозиуме «Проблемы газификации и ожижения угля». М., 1976.

Представил К. Я. Полферов

Государственный научно-исследовательский  
энергетический институт  
им. Г. М. Кржижановского  
г. Москва  
Южтехэнерго  
г. Львов

Поступила в редакцию  
27. 06. 1984

R. DZEDZIK, K. YORUDAS, B. SINYAKEVICH

#### CARPATHIANS MENILITE SHALES AS LOW-CALORIFIC FUEL FOR POWER GENERATION

The article concerns variation trends in the solid fuel supplied to power plants of the Ukrainian SSR. The fuel calorific value is forend to decrease annually by 0.28 MJ/kg. The method of burning the fuel in the furnaces with aeroforentains preliminary chamber based on solid heat-carrier units UTT is shown to meet the burning requirements the best. It is shown that this method can be used for burning low-grade solid fuels with decreased calorific value and different volatile yields without introducing liquid or gaseous high-reaction fuel. The experiments are carried out with Carpathian menilite shales.

Krzhizhanovski State Power  
Research Institute  
Moscow