

Г. П. СТЕЛЬМАХ, Б. И. ТЯГУНОВ, В. И. ЧИКУЛ,
М. З. ГУДКИН, К. И. СЕНЧУГОВ

ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ МЕЛКОЗЕРНИСТОГО ГОРЮЧЕГО СЛАНЦА

Советский Союз — одна из немногих стран мира, где переработка и использование горючих сланцев имеют народнохозяйственное значение. Практически вся добыча горючих сланцев и их использование сосредоточены в Прибалтийском бассейне. Современная технология переработки сланца базируется на обогащенном крупнокусковом сланце (фракция 25—100 мм) с теплотой сгорания 10,5—10,9 МДж/кг в рабочем состоянии топлива. В то же время высокомеханизированная добыча (и шахтная, и открытая) приводит к тому, что количество мелочи в добываемом сланце (фракция < 25 мм) достигает 70—75%. Поэтому вопрос ее технологического использования представляется очень важным.

Основная особенность горючих сланцев — высокое (до 90% на горючую массу) содержание летучих веществ. Это позволяет рассматривать сланцы как ценное сырье для производства целой гаммы химических сырьевых и товарных продуктов — фенолов, ароматических и непредельных углеводородов, консервантов, элементарной серы, электродного кокса и др. Кроме того, это сырье для получения искусственных жидких топлив (котельного и газотурбинного для энергетики и моторных топлив для нестационарных двигателей).

Наша страна, как известно, стала пионером прямого энергетического использования горючих сланцев — вначале на небольших и средних, а затем на крупных тепловых станциях мощностью до 1600 МВт. Учитывая серьезные успехи в промышленном применении прямого пылевидного сжигания прибалтийского сланца, нельзя не подчеркнуть, что такой метод его использования (непосредственно в топках котлов) связан прежде всего с потерей химического потенциала сланца и техническими трудностями эксплуатации вследствие высокой зольности этого топлива ($\geq 60\%$). К тому же прямое энергетическое использование освоено только для богатых и малосернистых сланцев, какими являются, например, прибалтийские, имеющие Q_d 8,4 МДж/кг и содержащие не более 2% общей серы. Между тем большая часть горючих сланцев имеет меньшую теплоту сгорания, и, очевидно, существует такой предел по калорийности, когда прямое сжигание сланца становится экономически нецелесообразным.

Химико-технологическая переработка кускового сланца, осуществляемая сейчас на четырех предприятиях, проводится с целью получения шпалопропиточного масла, препарата «Нэрозин», фенолов, клеев, гипосульфита, электродного кокса, различных мастик, ихтиола, ароматических углеводородов и т. п., а также топочного масла. На смену сланцевым генераторам с пропускной способностью 200—250 т сланца в сутки приходят сланцевые генераторы мощностью 1000 т/сут (процесс «Кивитер»). Освоение головного агрегата начато в 1981 г. Предполагается переоснастить сланцеперерабатывающие предприятия

такими генераторами для получения из сланца специфических продуктов, в частности алкилрезорцинов.

Предназначенный для мелкозернистого сланца (фракция 0—25 мм) метод переработки сланцев с применением твердого теплоносителя — процесс «Галотер» — расширяет способы использования исходного сырья сланцепереработки. Достоинства метода: скорость процесса, возможность использования мелочи, получение, кроме смол, высококалорийного газа.

При энерготехнологическом использовании сланец подвергается термической переработке с получением маслопродуктов и высококалорийного газа с теплотой сгорания порядка 42 МДж/м³. Основная часть полученных веществ направляется в энергетику (в качестве чистых высококачественных энергоносителей), а наиболее ценные химические компоненты служат дополнительной сырьевой базой для химической промышленности. Для реализации такого использования, учитывая масштабы потребления топлива современными электростанциями, необходимы высокопроизводительные агрегаты мощностью не менее 1 млн. т сланца в год (3000 т/сут). Энерготехнологическое использование сейчас наиболее перспективно для бедных сланцев.

После 1990 г., по сегодняшним представлениям о топливно-экономическом балансе, помимо расширения сланцедобычи в Прибалтике, перспективным может стать введение в эксплуатацию сланцев других месторождений европейской части страны: Перелюб-Благодатовского в Саратовской обл., Камелик-Чаганского и Коцебинского в Оренбургской обл., Болтышского в Кировоградской обл. УССР, Туровского в БССР, сланцев Коми АССР и др. Если не появятся иных альтернативных решений, в числе главных технологических агрегатов переработки сланцев могут оказаться энерготехнологические установки с твердым теплоносителем (УТТ).

Сущность названного метода заключается в том, что тепло, необходимое для термического разложения (пиролиза) сланца, передается последнему от твердого теплоносителя циркулирующей нагретой сланцевой золой. Зола непрерывно смешивается со сланцем перед барабанным вращающимся реактором и внутри него, а затем вновь нагревается в технологической топке за счет тепла, выделяющегося при сжигании органического вещества, остающегося (после реактора) в смеси золы и полукокса. Избыток золы, соответствующий ее количеству в поступающем сланце, выводится из схемы, а очищенные от золы горючие дымовые газы технологической топки используются для сушки сланца. Основное достоинство метода энерготехнологической переработки на УТТ (применительно к прибалтийским сланцам) — это возможность использования мелкозернистого сланца (включая пыль), количество которого достигает при добыче 70%.

Метод и оборудование прошли стадии опытно-промышленной проверки на сланцехимическом заводе (СХЗ) «Кивийли»:

- на опытно-промышленной установке производительностью 200 т/сут сланца в 1953—1963 гг.,
- на опытно-промышленной установке производительностью 500 т/сут сланца (УТТ-500), пущенной в 1963 г. и проработавшей в опытных и производственных режимах до первого июля 1981 г.

За весь период освоения, опытных работ и эксплуатации УТТ-500 проработала 107 360 ч. На ней переработано 2095 тыс. т сланца и выработано 280,2 тыс. т сланцевого масла и более 109 млн. м³ высококалорийного газа (теплота сгорания более 42 МДж/м³). Фактическая экономическая эффективность при опытной эксплуатации УТТ-500 составила 2,76 млн. руб. Коэффициент использования ка-

лендарного времени достигал 80,3%, а среднесуточная производительность доходила до 530—540 т.

При промышленной эксплуатации установки — помимо отработки режимов и технологических показателей оборудования — были получены опытные партии сланцевого масла со специальными свойствами для промышленных испытаний (котельное газотурбинное топливо, дорожное масло, препарат «Нэрозин», различные бензиновые фракции). Изучалась также возможность использования золы УТТ в сельском хозяйстве и промышленности стройматериалов.

На основе результатов эксплуатации и исследования получаемых продуктов, включая их промышленные партии, проектными организациями Минэнерго СССР, при участии АН ЭССР, Миннефтехимпрома СССР и Минуглепрома СССР была произведена технико-экономическая оценка энерготехнологического использования прибалтийских сланцев и был разработан технический проект (1969 г.) агрегата для переработки сланца производительностью 1 млн. т сланца в год (УТТ-3000). В окончательном виде проект энерготехнологической установки (ЭТУ) для Эстонской ГРЭС был утвержден Минэнерго СССР в 1973 г. Проект включал 2 агрегата УТТ-3000, реконструированный котел ТП-101 с увеличением паропроизводительности с 320 до 640 т/ч (для работы на сланцевом масле), а также вспомогательные отделения по очистке масла и др., но без химического крыла. Реализация этого проекта началась в 1976 г. в соответствии с принятыми на XXV съезде КПСС «Основными направлениями развития народного хозяйства СССР на 1976—1980 годы».

Наша установка создавалась для отработки в промышленном масштабе процесса и оборудования термической переработки сланца с твердым теплоносителем на агрегатах производительностью 3000 т сланца в сутки. Проводились также отработка промышленного котлоагрегата энергоблока в 200 МВт, апробация природоохранных мероприятий и получение технических и технико-экономических данных для принятия решения о дальнейшем развитии переработки сланца по этому методу.

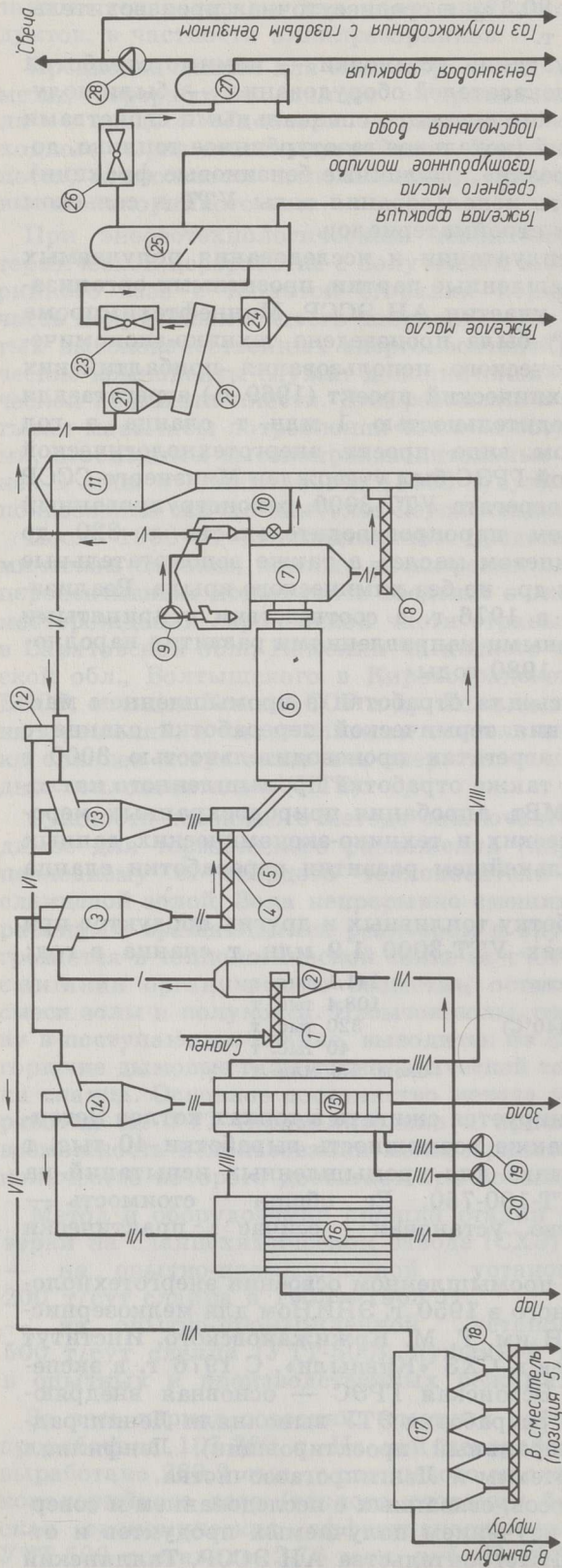
Приведем проектную выработку топливных и других продуктов при переработке на двух агрегатах УТТ-3000 1,9 млн. т сланца в год:

Суммарное очищенное топочное масло	241,1 тыс. т
Газ полудоксования с газбензином	108,4 тыс. т
Пар котлов-утилизаторов (40 атм, 440°С)	320 тыс. т
Подсмольная (фенольная) вода	40 тыс. т
Сланцевозольные отходы	около 1,0 млн. т

Все топливные продукты планируется сжигать в топках котлов Эстонской ГРЭС. Предусмотрена также возможность выработки 40 тыс. т жидкого газотурбинного топлива для промышленных испытаний на газотурбинной установке ГТ-100-750. Ее общая стоимость — 38,16 млн. руб. Строительство установки сейчас практически завершено.

В доработке, испытаниях и промышленном освоении энерготехнологического метода, предложенного в 1950 г. ЭНИНом для мелкозернистого сланца, участвуют ЭНИН им. Г. М. Кржижановского, Институт химии АН ЭССР, НИИсланцев и СХЗ «Кивиыли». С 1976 г. в эксперименте принимает участие Эстонская ГРЭС — основная внедряющая организация. Проектные разработки ЭТУ выполняли Ленинградское отделение АТЭПа (генеральный проектировщик), Ленфилиал Оргэнергостроя, Ленгипронефтехим и Ленгипрогазоочистка.

В решении отдельных вопросов, связанных с исследованием и совершенствованием аппаратуры, изучением получаемых продуктов и отходов, принимают участие НИИстроительства АН ЭССР, Таллинский



Принципиальная схема агрегата УТ-3000

Оборудование: 1 — шнек сырого сланца, 2 — аэрофонная сушилка, 3 — циклон сырого сланца, 4 — шнек сухого сланца, 5 — смеситель, 6 — барабанный реактор, 7 — пылевая камера с циклонами очистки парогазовой смеси (ПГС), 8 — шнек полукокса, 9 — вентильатор ПГС, 10 — система удаления пыли, уловленной циклонами ПГС, 11 — аэрофонная технологическая топка (АФТ), 12 — байпас теплоносителя, 13 — циклон теплоносителя, 14 — зольный циклон, 15 — зольный теплообменник, 16 — котел-утилизатор, 17 — электрофильтр, 18 — шнеки пыли, уловленной электрофильтром, 19 — нагнетатель воздуха в АФТ, 20 — нагнетатель котла утилизатора, 21 — скруббер тяжелого масла (ТМ), 22 — барельет (газосборник), 23 — холодильник-конденсатор ТМ, 24 — емкость ТМ, 25 — ректификационная колонна, 26 — холодильник-конденсатор бензина и подсмольной воды, 27 — сепаратор, 28 — газодувка.

Потоки: I — сланец в потоке сушильного агента, II — сухой сланец, III — теплоноситель (зола), IV — полукокс с теплоносителем, V — парогазовая смесь, VI — зола в потоке дымового газа, VII — дымовой газ, VIII — воздух

политехнический институт, Институт кибернетики и Институт экономики АН ЭССР, НПО ЦКТИ, Союзтехэнерго, ВТИ им. Ф. Э. Дзержинского, ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева, Гипроцемент, НИПСиликатобетон, ВИУА им. Д. Н. Прянишникова, ВНИИМЗ и др.

Технологическая схема агрегата УТТ-3000 представлена на рисунке (процесс «Галотер»), все данные — проектные.

Горючий сланец (945 200 т/год, фракция 0—20 мм) шнековым питателем 1 подается в аэрофонтанную сушилку 2, где высушивается теплом технологического топочного газа. Аэровзвесь сухого сланца и газа-теплоносителя разделяется в циклоне 3. Сухой сланец шнековым питателем 4 через смеситель 5 подается во вращающийся барабанный реактор 6 (диаметр реактора 5 м, длина 15 м, скорость 1 об./мин). В смесителе и реакторе за счет тепла, поступившего из циклона 15 зольного теплоносителя (800—850°C), происходит термическое разложение сланца при температуре 480—500°C. Дымовые газы после сушки выходят из циклона 3, проходят очистку от пыли в дополнительных циклонах и электрофилт্রে 17 и далее, при температуре около 150°C, выбрасываются в атмосферу.

Парогазовая смесь (ПГС), выходящая из реактора 6, поступает в пылевую камеру 7, где очищается от пыли во встроенных циклонах, и затем — в систему конденсации 21—28. В колонне 21, газосборнике 22 и воздушном конденсаторе 23 конденсируется тяжелое масло (25 625 т/год), поступающее в емкость 24. В колонне 25 конденсируется — за счет орошения охлажденной газотурбинной фракцией — тяжелая фракция среднего масла (37 415 т/год) и фракция газотурбинного топлива (36 000 т/год). Затем в воздушном конденсаторе 26 конденсируются пары пирогенетической подсмольной воды и бензиновой фракции (25 495 т/год), которые разделяются в сепараторе 27. Газ полукоксования (54 200 т/год), содержащий газовый бензин (7400 т) и пары воды (3200 т), в схеме ЭТУ предусматривается сжигать в топках котлов ГРЭС, а в пусковые периоды — на свече.

Смесь полукокса и золы теплоносителя из реактора 6 поступает в нижнюю часть пылевой камеры 7, из которой она шнековым питателем 8 подается в аэрофонтанную технологическую топку 11, куда нагнетателем 19 через зольный теплообменник 15 подается горячий воздух. В топке 11 происходит сжигание горючего остатка полукоксования, за счет чего вся масса золы теплоносителя нагревается до требуемой температуры. Аэровзвесь топочных газов и горячей золы через байпас 12 направляется в циклон-теплоноситель 13, в котором выделяется необходимое количество теплоносителя, поступающего в смеситель 5. Избыточная зола выделяется в циклонах 14, из которых горячие газы направляются в котел-утилизатор 16, а зола (439 500 т/год) через зольный трубчатый теплообменник 15 поступает в систему гидрозолоудаления (ГЗУ) ГРЭС. В результате дожигания в котле-утилизаторе остаточных горючих компонентов газа получается пар (40 атм, 440°C, 161 560 т/год). Охлажденный до 500—600°C газ из котла-утилизатора подается в сушилку 2. Сланец-зольная пыль, уловленная электрофилтром 17, может быть направлена в систему ГЗУ или, по пневмосистеме, в реактор.

ЭТУ Эстонской ГРЭС была пущена в опытно-промышленную эксплуатацию 30 июня 1980 г. К тому времени было освоено 61,7% капиталовложений и одна из двух УТТ-3000 5 раз запускалась и кратковременно выводилась на режим с получением 40 т масла за пуск. УТТ-3000 № 1 работала несколько продуктивней, чем УТТ-3000 № 2 (таблица), так как на ней были исправлены некоторые ошибки и недочеты, выявленные в процессе пусков УТТ-3000 № 2.

Основные показатели освоения ЭТУ

Показатель	УТТ-3000		
	№ 1	№ 2	Всего
Календарное время эксплуатации	декабрь 1981— май 1983 г.	февраль 1980— октябрь 1981 г.	
Освоение капиталовложений (в т. ч. строительно-монтажных) к моменту пуска, млн. руб.	33,7(19,6)	23,6(14,1)	
Количество пусков	19	22+9*	50
Переработанный сланец, тыс. т	67,0	23,6+35,3*	125,9
Выработанное масло, тыс. т	8,25	1,6+4,45*	14,39
Максимальная продолжительность работы, ч	76	32(88,5)	
Суммарная наработка, ч	504	170+265*	939

* После реконструкции в октябре 1983 г.

Проведенные пуски были непродолжительными из-за выявленной неработоспособности некоторых узлов и систем. Большая часть этих узлов уже реконструирована (топливоподача, шнеки сырого, сухого сланца и полукокса, футеровка циклонов и др.), что позволило достичь проектной производительности агрегатов по переработке сланца и получению масла в течение 1—3 сут. Требуется, однако, проверка работоспособности узлов при более длительной эксплуатации. По некоторым узлам — система удаления золы из циклонов пылевой камеры, насосы тяжелого и среднего масла и др. — удовлетворительного решения пока нет. В связи с трудностями освоения основного оборудования и технологического процесса все пуски осуществлялись без некоторых вспомогательных устройств. Так, до сих пор не опробованы котел-утилизатор и электрофильтры дымовых газов. Получаемый при работе ЭТУ газ полукоксования сжигался на свечах.

В декабре 1982 г. на накопленном масле было проведено комплексное опробование реконструированного корпуса котла № 8Б, который проработал на сланцевом масле ЭТУ 164 ч с нагрузкой около 90 МВт и выработал 12,8 млн. кВт·ч. Из-за отсутствия качественного масла котел находится в резерве.

Проанализируем причины медленного освоения ЭТУ. Главная из них — это поиск и проверка в промышленном масштабе решений технологического и конструктивного характера, связанных с шестикратным увеличением мощности агрегатов УТТ-3000 по сравнению с их прототипом УТТ-500. Усиление требований по защите окружающей среды, с одной стороны, и дефекты проекта и необходимость изготовления нового специального оборудования, с другой — также замедлили освоение ЭТУ. Пока же эксплуатация ЭТУ — это опытные проверочные пуски.

На первом этапе, до середины 1982 г., медленные темпы освоения ЭТУ определял ряд технических и организационных обстоятельств:

1. Значительное количество проектных и конструкторских погрешностей и недоработок (в конструировании и проектировании ЭТУ принимали участие 18 неспециализированных проектных и конструкторских организаций Минэнерго СССР).
2. Необходимость согласования новых решений с многочисленными организациями. Недостаточная систематичность материально-технического обеспечения и выполнения заказов. Нехватка ремонтного персонала, грузоподъемных машин и т. п.

3. Усиление мер по защите окружающей среды (система сухого удаления пыли из циклонов парогазовой смеси, мероприятия по снижению сульфидов в золе и др.).

На втором этапе, после устранения большинства механических дефектов и увеличения продолжительности пробега агрегатов до 1—3 сут, выявились трудности технологического характера:

1. Неудовлетворительная работа узлов очистки парогазовой смеси от пыли из-за неотработанной системы сухого удаления пыли, и вследствие этого повышенный по сравнению с проектным (в 3—6 раз) пропуск пыли, приводящий к получению некондиционного тяжелого масла с высокой зольностью.

2. Неудовлетворительная работа системы отстоя смеси тяжелого масла и бензина. Соотношение компонентов смеси, получаемой на УТТ-3000, существенно отличалось от проектного (1 : 2,3 против 1 : 1 по проекту). Из-за повышенной вязкости смеси и высокого содержания золы в тяжелом масле процесс отстоя значительно ухудшается, что исключает возможность получения кондиционного (с зольностью 0,3%) топочного масла.

3. Недоработки проекта электрофильтра по очистке дымовых газов ЭТУ.

При освоении ЭТУ важным вопросом является получение золы, безвредной для окружающей среды. Прорабатывается два направления по предотвращению образования или устранению сульфидов кальция в золе: термоокисление (дожиг) минерального остатка УТТ и применение низкотемпературного режима в технологической топке, при котором резко снижается образование сульфидов, но значительно возрастает содержание в газе полукоксования сероводорода (с 0,1 до 8% по объему). Однако это делает сжигание газа в котлах, по-видимому, невозможным без дополнительных мероприятий. Один из вариантов решения вопроса, предложенный ЭНИНом, — дополнение схемы ЭТУ отделением сероочистки с получением товарной серы.

Важнейшие задачи по освоению ЭТУ сформулированы на межведомственном совещании в Таллине (май 1983 г.). Их намечено выполнить в три этапа.

I этап. Освоение длительной работы УТТ-3000 по полной проектной схеме в высокотемпературном режиме технологической топки (по аналогии с УТТ-500) и отработка всех вариантов системы очистки парогазовой смеси от пыли.

II этап. Осуществление дополнительного рецикла тяжелого масла с бензином и перевод агрегатов УТТ-3000 на промышленную эксплуатацию (при этом сланцевое масло — по количеству и качеству — должно отвечать проектным величинам), наладка системы отстоя и центрифугирования тяжелого масла и утилизация фусов, а также разработка технологического обоснования очистки газа полукоксования от сероводорода и десульфидизации зольного остатка УТТ.

III этап. Получение золы, безвредной для окружающей среды и пригодной для применения в народном хозяйстве (сельское хозяйство и промышленность стройматериалов). И наконец, определение технико-экономических показателей метода УТТ с целью выработки рекомендаций для проектирования будущих ГРЭС, работающих на продуктах переработки мелкозернистых сланцев различных месторождений.

Представил К. Я. Полферов

Государственный научно-исследовательский энергетический институт им. Г. М. Кржижановского (ЭНИН)
г. Москва

Поступила в редакцию
13. 07. 1984

G. P. STELMAKH, B. I. TYAGUNOV, V. I. CHIKUL,
M. Z. GUDKIN, K. I. SENCHUGOV

ENERGY PROCESS PLANT FOR FINE-GRAIN SHALE

The paper contains the information on the experience gained with the operation of the energy process plant since 1980 with two UTT-3000 units at the Estonian thermal power station. It considers the problems involving equipment and technology, oil shale quality, the use of ash in farming, combustion of sulfur-containing semi-coke gas. The task of mastering the energy process plant technology in the near future is set forth.

G. M. Krzhizhanovski State Power Research Institute
Moscow