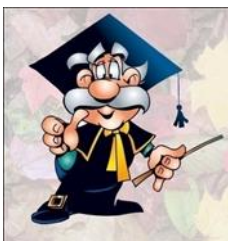


Тема 10. Технология переработки мелкозернистого горючего сланца



В данной теме даётся описание технологии термической переработки мелкозернистого сланца, технологические особенности эксплуатации.

10.1. История освоения процесса термической переработки сланца с твёрдым теплоносителем.

В Эстонии освоен процесс Enefit-140, Enefit-280, Petroter – установки с твердым теплоносителем УТТ (TSK-tahke soojuskandja, SHC-solid heat carrier)¹, который позволяет перерабатывать сланцевую мелочь.

История освоения данной технологии начинается в 1946 году в Таллине, когда на заводе «Imarine», была построена пилотная установка производительностью 100 кг в час.

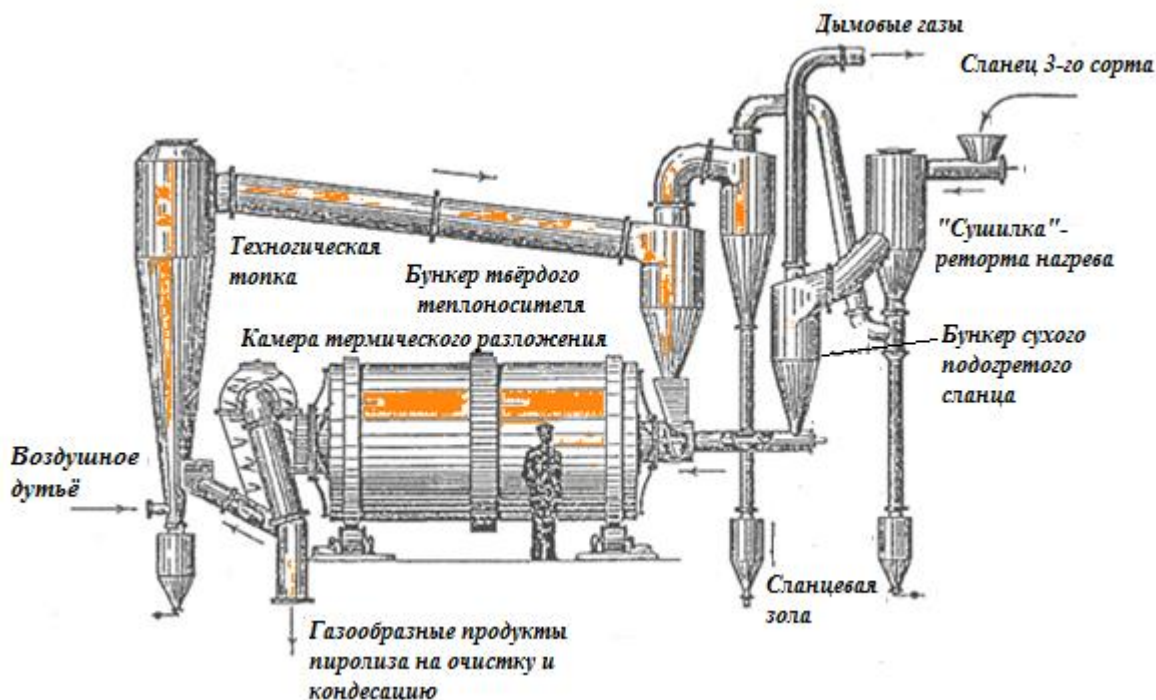


Рис. 1 Схема технологической установки УТТ-200

Дальнейшая отработка данной технологии проходила на СХЗ «Кивиыли» в городе Кивиыли

¹ <https://www.enefit.com/ru/enefit140-oil-plant>

(Эстония), где были построены опытно-промышленные установки УТТ-200 производительностью 200 тонн сланца сутки в 1953-1962 годах и УТТ-500 производительностью 500 тонн сланца, которая проработала в промышленной эксплуатации до 1980 года. В 1953-1962 гг. в Кивиыли эксплуатировалось опытно-промышленная установка номинальной мощностью по сырому сланцу 200 тонн в сутки.

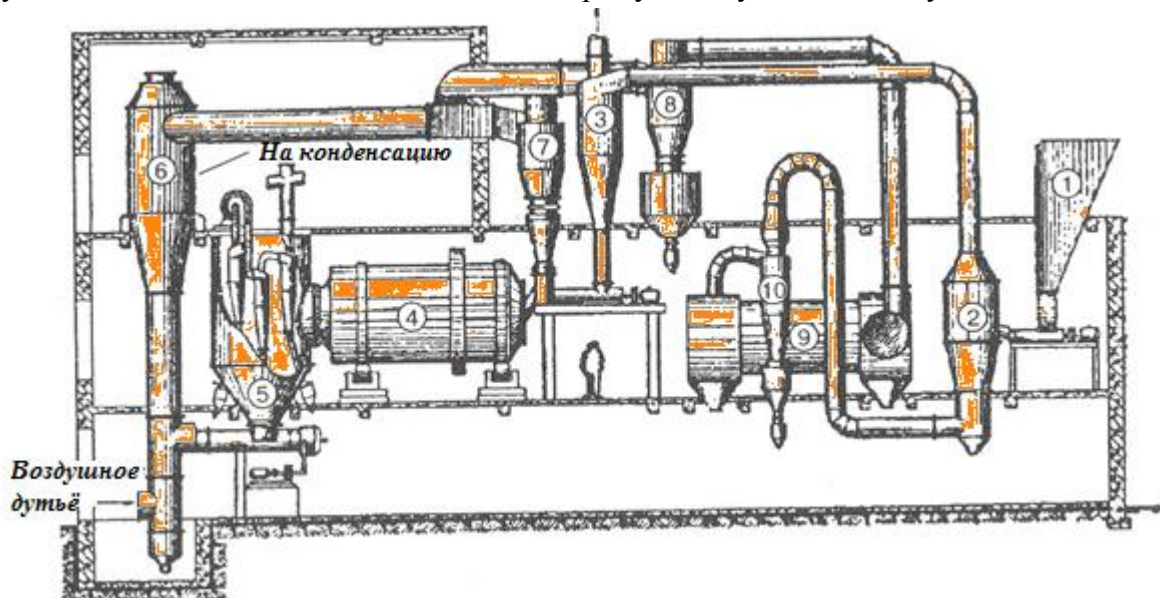


Рис. 2 Технологическая схема УТТ-500. 1 – бункер сырого сланца, 2 – сушилка, 3 – сепаратор сухого сланца, 4 – реактор, 5 – пылеотделительное устройство, 6 – технологическая топка, 7 – циклоны теплоносителя, 8 – первые зольные циклоны, 9 – котел-утилизатор, 10 – вторые зольные циклоны.

Строительство УТТ-3000 было начато в 1976 году на Эстонской электростанции в городе Нарва (Эстония) и завершилось в 1980 году. Освоение продолжалось до 1990 года. В настоящее время на заводе масел Enefit-140 успешно работает. В конце 2012 осуществлён пробный пуск Enefit-280.²

Формула технического решения, относящегося к способу пиролиза сланца с использованием установок с твердым теплоносителем (УТТ). Способ включает пиролиз сланца твердым теплоносителем - горячей собственной золой с получением парогазовой смеси и полукокса, сжигание полукокса для получения твердого теплоносителя с утилизацией тепла дымовых газов и выработкой пара, очистку и конденсацию парогазовой смеси с получением высококалорийного полукоксового газа (8000 - 11500 ккал/м³) и фракций жидких топлив, сжигание полукоксового газа, сжигание фракций жидких топлив (топочного масла и легкой бензиновой фракции) в котле паротурбинного энергоблока с получением пара и выработкой электроэнергии, сжигание фракции газотурбинного топлива в камере сгорания газотурбинного энергоблока с выработкой электроэнергии.

Специфическими особенностями процесса термической переработки сланца с твердым теплоносителем являются:

- малые размеры частиц топлива;

² <https://www.enefit.com/ru/retorting-enefit280>

- квазиизотермический характер и высокая скорость нагрева частиц топлива, благодаря использованию аппаратов со взвешенным слоем и «идеального» перемешивания;
- распределение отдельных стадий процесса термического разложения по отдельным аппаратам и возможность свободного варьирования конечных температур.
- Сочетание термического разложения керогена сланца с пиролизом выделяющихся летучих в слое зернистого материала.

Таким образом, в процессах «Enefit-140» и Petroter осуществляется переход к скоростному нагреву, что убыстряет вывод системы на относительно высокий температурный уровень, интенсифицирует эвакуацию сравнительно тяжелых продуктов и стимулирует протекание вторичных реакций пиролиза.

Переработка мелкозернистого сланца в УТТ предполагает:

- замкнутость энергетических и материальных потоков, обеспечивающих полное использование ресурсного и энергетического потенциала сланца;
- безотходность и экологическую безопасность производства;
- многостадийность обработки сланца с последовательным извлечением вещества.

Таким образом в процессе «Enefit-140» и Petroter заложены основы безотходной технологии, отвечающей условиям экологической безопасности воздействия термической переработки сланца на окружающую среду.

Все три типа УТТ на производительность 200, 500 и 3000 тонн сланца в сутки в процессе длительной эксплуатации проверены на практике и на сегодняшний день являются реальными агрегатами для промышленного внедрения.

Все типовые размеры реакторов характеризуются одинаковой степенью заполнения твердым материалом (50 %) и одинаковым давлением во внутренней полости барабана-реактора (0,2 бар).

Технические характеристики разработанных УТТ для процесса «Galoter» приведены ниже в таблице 1.

Таблица 1 .Технические характеристики разработанных УТТ

Установка	Отношение внутреннего и внешнего диаметров	Длина, м	Время пребывания в реакторе	
			твёрдого материала	ПГС, с
УТТ-200	1,64/2	4,5	20,6	18
УТТ-500	2,52/3	6,0	21,4	15
УТТ-3000	4,38/5	14,0	20,7	21,2

Установка	Скорость движения твёрдого материала в реакторе, м/с	Производительность по сланцу, т/ч	Число оборотов реактор, об/мин
УТТ-200	0,35	6,34	1,83
УТТ-500	0,57	20,2	1,18

УТТ-3000	1,1	139,0	0,92
----------	-----	-------	------

С 1996 года на установках Enefit-140 вместе со сланцем перерабатывались органические «отходы». Практически подтверждена возможность переработки дробленых автопокрышек, резиновых отходов (шин), нефтяных осадков из цистерн, замазученных грунтов и т.п. В 2010 выведен на проектную мощность цех «PetroterI» VKG Oil AS, использующий технологию «Galoter». В настоящий момент построены и успешно функционируют «PetroterII», «PetroterIII». Технология «Enefit-140» «Enefit-280» «Petroter» признана в области термической переработки горючих сланцев Best Available Techniques (BAT).

Сырье, поступающее на переработку, должно быть мелкозернистым (фракция 0÷25), так как процессы переработки такого сырья имеют принципиальные преимущества перед процессами переработки крупнокускового по организации высокоинтенсивных процессов. Эта чрезвычайно важная особенность в значительной мере определяет экономичность переработки за счет низких затрат на подготовку сырья, которая заключается в простом дроблении 30% рядового сланца до фракции 0÷25 мм, так как 70% этой фракции «сланцевая мелочь» получается уже в процессе добычи.

10.2. Описание технологической схемы установки Enefit-140.



Установка состоит из двух отделений:

- перегонного отделения, в котором производится пиролиз сланца и очистка, образовавшейся, парогазовой смеси от пыли;
- отделения конденсации, где происходит пофракционное выделение жидких масляных сланцевых продуктов и подсмоленной воды, компримирование не сконденсировавшихся продуктов пиролиза, дополнительное извлечение жидких углеводородов методом абсорбции и транспортировка, оставшегося газообразного продукта – полукоксового газа – на сжигание в сланцевые котлы.

Приём сланца на агрегаты Enefit-140 производится в расходные бункеры ленточными конвейерами. Далее сланец из расходного бункера с двумя воронками выбирается ленточными питателями. От ленточных питателей сланец самотеком поступает на распределительную решетку, разделяющую фракции до 25мм и больше 25мм. Более

Sergey Chekryzhov, EVM0152 “Kütuste keemia ja tehnoloogia II”. Loeng 10.

крупные поступают в молотковые дробилки и далее с фракциями, прошедшими через распределительную решетку, на ленточный конвейер.

Размолотый сланец по ленточным конвейерам поступает в бункера шнеков сырого сланца.

Шнеки сырого сланца на своих концах имеют герметизирующие камеры с поворотными лотками, которые позволяют надёжно герметизировать внутренний объём аппарата от атмосферы, который находится под избыточным давлением 0,2 бара.

Процесс термической переработки сланца осуществляется в перегонном отделении.

Технологическая схема перегонного отделения включает в себя узлы:

- подготовки и подачи твёрдого топлива – (фракция 0 – 25мм),
- сушки сланца,
- блок пиролиза сланца,
- устройства сухой и мокрой очистки парогазовой смеси из блока пиролиза,
- устройство дожига полукокса – аэрофонтанную топку,
- узел выделения твёрдого теплоносителя,
- узлы выделения золы и сухого сланца,
- узел очистки дымовых газов - электрофильтр.
-

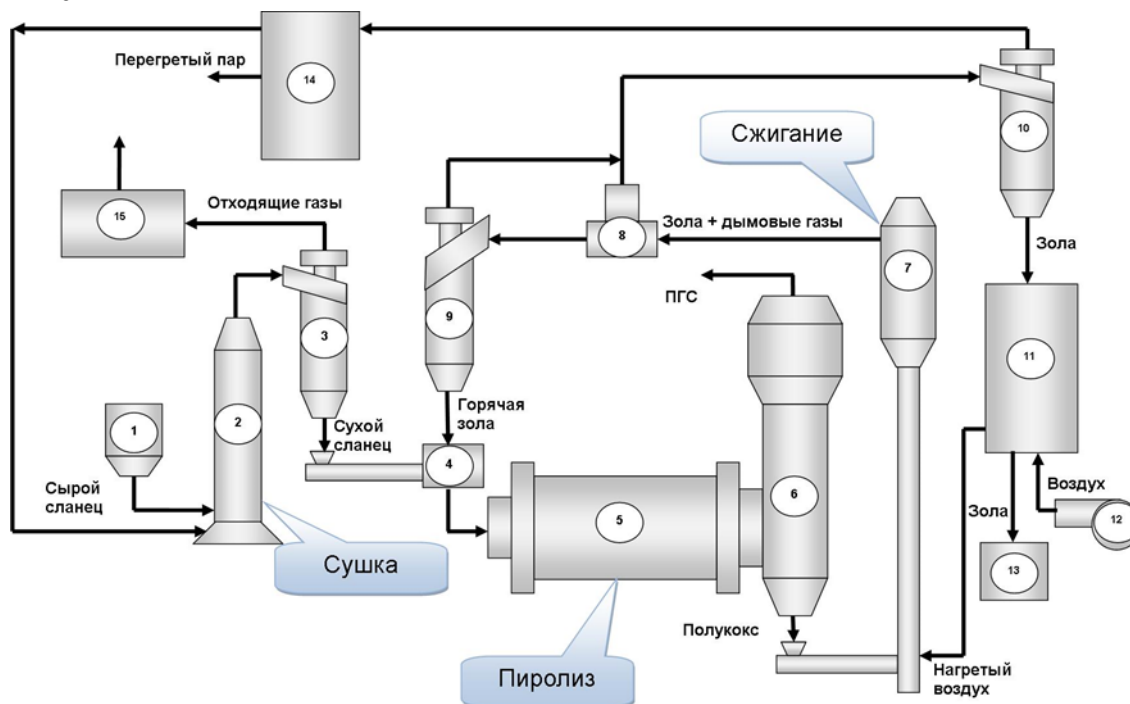


Рис. 3 Технологическая схема перегонного отделения цеха Petroter

1 – бункер сырого сланца, 2 – аэрофонтанная сушилка, 3 - циклон сланца, 4 – смеситель, 5 – горизонтальный вращающийся реактор, 6 – пылевая камера, 7 – аэрофонтанная топка, 8 – байпас теплоносителя, 9 – циклон теплоносителя, 10 – циклон золы, 11 – зольный теплообменник, 12 – нагнетатель воздуха, 13 – увлажнитель золы, 14 – котел-утилизатор, 15 – электрофильтр дымовых газов.

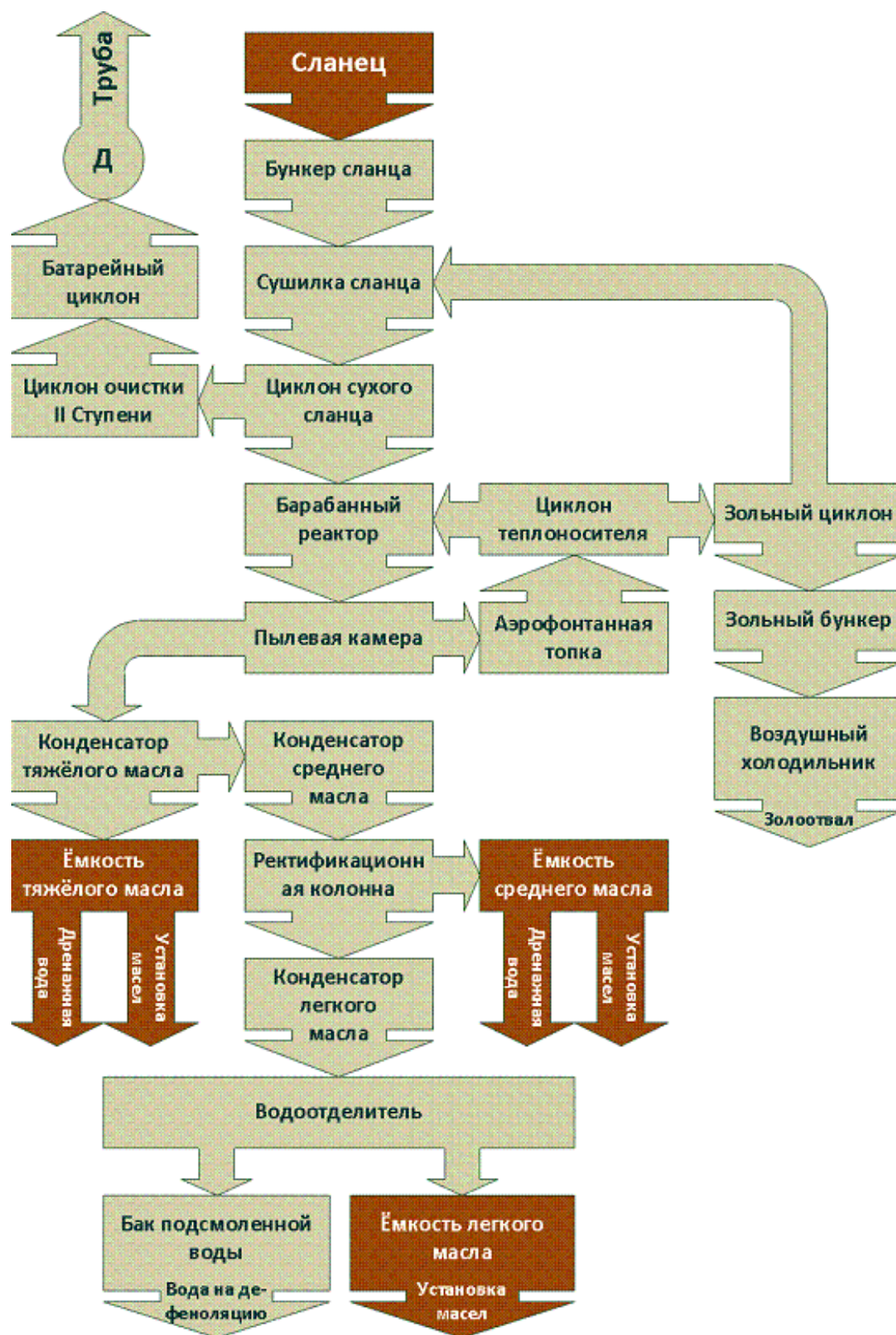


Рис. 4. Блок-схема производства переработки мелкозернистого сланца Enefit-140.

Анимированная технологическая схема установки **Enefit-280** представлена на сайте <https://www.enefit.com/ru/retorting-enefit280>

10.3. Технологическая схема установки

Из герметизирующих камер (1) шнеком сланец подаётся во внутреннюю полость аэрофонтанной сушилки (АФС) (2). Навстречу падающему сланцу движется дымовой газ. Температура дымовых газов составляет 590-600°C от котла-утилизатора. Благодаря уменьшенному сечению внизу АФС скорость дымовых газов увеличивается и частицы сланца, включая самые крупные, сначала «подвисают» в газодинамическом потоке, а затем начинают движение вместе с потоком (пневмотранспорт). Вверху АФС скорость газа за счёт увеличения сечения потока снижается и наиболее крупные куски оседают. Таким образом, возникает фонтанирующая циркуляция твёрдого материала. При колебаниях влажности сланца регулируется расход сушильного агента по температуре газов на выходе из АФС. Высушенный сланец с температурой 110 °C транспортируется сушильным агентом при температуре газа 150°C.

Пылегазовая смесь проходит последовательно три пары циклонов (3) сухого сланца, где выделяется высушенное топливо. Дымовой газ следует на доочистку в электрофильтр (12) и выбрасывается в атмосферу через дымовую трубу. Пыль, уловленная электрофильтром, посредством системы золоудаления, смешивается с основной массой золы, выводимой из работающей установки УТГ. Соотношение между количеством пыли выделенной из электрофильтра и балансовой удаляемой золой составляет 1/100.

Выделенный в циклонах (3) сухой сланец подаётся транспортировочными шнеками в герметизирующие шнеки сухого сланца, которые оснащены герметизирующими камерами с поворотными лотками. Благодаря наличию этих устройств, предотвращаются или минимизируются взаимные перетоки газов между объёмами, заполненными дымовыми газами и продуктами термического разложения сланца.

С поворотных лотков сухой сланец с температурой 110 °C подаётся в полость смесителя (4). С потолка камеры смесителя одновременно по футерованным течкам самотёком поступает, выделенная в циклонах теплоносителя зола с температурой 780-830°C. Балансовое соотношение между золой и сухим сланцем составляет 2-2,5 к 1 в массовых долях. Одновременно в камеру смесителя и в реактор могут вспрыскиваться: загрязнённые масляные отходы, возникающие в приготовлениях товарных продуктов - фусы и часть фракции тяжёлого масла, используемая в системе мокрой очистки парогазовой смеси (ПГС).

В смесителе происходит первый контакт между двумя твёрдыми материалами: сланцем и горячей золой. Практически мгновенно в точке контакта раскалённой золы с органическим веществом сланца происходит выделение газов продуктов разложения сланца. Вся масса дисперсного материала становится чрезвычайно подвижной (псевдоожидание). По структуре потоков смеситель является реактором идеального смешения.

Далее «вскипевший» материал по наклонной течке поступает в реактор (5). Во вращающемся барабане реактора происходит выравнивание температур между разогретой золой и сланцем. Время нахождения твёрдого материала в реакторе составляет 14-16 минут.

Регулирование соотношения «теплоноситель - сланец» производится изменением положения аэродинамического «козырька» в байпасе теплоносителя (8). Основным показателем технологического режима является температура смеси в реакторе. Изменение этой

температуры позволяет осуществить «смоляной» или «газовый» вариант переработки сланца. Эталонным является смоляной вариант с температурой в реакторе 480-485°C. В промышленном масштабе возможна работа установки при 500°C и 530°C.

Изменение температуры в реакторе может быть осуществлено тремя способами:

- изменением температуры сухого сланца;
- изменением температуры зольного теплоносителя;
- регулированием соотношения теплоноситель-сланец.

Газообразные продукты полукоксования (парогазовая смесь и твердые частицы) с температурой 470-490 °C покидает реактор, и попадают в пылевую камеру (6), в которой гравитационным путём происходит первичное разделение газовой фазы и твёрдого материала. С этого момента твёрдые частицы сланца называются полукоксом. Продукт разложения в виде парогазовой смеси после циклонной и мокрой очистки поступает в отделение конденсации. Газовая фаза, также загрязнена мелкодисперсной золой и сажой.

Для очистки парогазовой смеси от твёрдых продуктов в пылевой камере используется система циклонной очистки с принудительным отсосом потока. Сброс выделенной циклонами ПГС пыли производится в нижнюю часть пылевой камеры. Данный технологический узел установки потребовал длительных поисковых исследований. Это связано со спецификой процесса, а именно использованием мелкозернистого сланца и низкой механической прочности сланцевого полукокса, высоким содержанием твердого вещества в газе до 1000-1500 мг на м³ при размере части менее 10 мкм. Кроме этого дополнительные трудности очистки связаны с тонкодисперсностью большого количества пыли, большого весового содержания масляных паров и близкого расположения точки росы отдельных фракций парогазовой смеси к температуре процесса.

Парогазовая смесь радикально освобождается от ультрадисперсных компонентов в отделении конденсации путём конденсации части фракции тяжёлого масла в специальной системе мокрой очистки. Очищенная парогазовая смесь поступает далее в ректификационную колонну, где выделяется фракция среднетяжёлого сланцевого масла и керосино-дизельная фракция (газотурбинное топливо), затем в холодильнике конденсируются пары воды и бензина, полукоксовый газ сжимается при помощи газодувки, ещё раз освобождается от сконденсированных продуктов и направляется в виде топлива в энергетические котлы.

Полукоксы стекают в нижнюю часть пылевой камеры, откуда он выводится шнеком. Данное устройство также оснащено герметизирующей камерой с поворотным лотком, которая предотвращает попадание кислорода воздуха в разогретую до 490 °C пылевую камеру. Шибера шнека полукокса, как и шибера циклонов теплоносителя, охлаждаются паром с расходом 0.25 – 0.3 м³/ч.

Твёрдый остаток разложения сланца полукоксы – поступают на дожиг в аэрофонтанную топку (АФТ) (7), в которую одновременно подаётся воздух с температурой 400°C.

Полукоксы поступают с поворотного лотка герметизирующей камеры шнека в ствол разгонного участка АФТ, в котором снизу вверх с высокой скоростью движется поток воздуха. Движение воздуха создаётся мощным центробежным нагнетателем. Внизу АФТ расположен бункер провала и рядом с ним топка розжига, в которой установлена газовая горелка розжига. Бункер провала служит для сбора твёрдого материала из АФТ при аварийной остановке отделения, так как в АФТ во время работы цеха находится 5-7 м³ взвешенного материала. Топку розжига используют при пуске отделения, для того чтобы довести полукоксы до температуры воспламенения его органической части.

После перехода на постоянный режим подача природного газа в топку розжига

прекращается. Воздух в аэрофонтанную топку подается турбокомпрессором при давлении 1,35-1,7 ата, с расходом 52000 - 58000 нм³/час, мощность турбокомпрессора-3 МВт двумя потоками. Первый поток необходим для поддержания горения газовой горелки в топке розжига, а второй поток необходим для охлаждения и снижения температуры в ядре факела до 850-900°C.

Полукокс подхватывается потоком воздуха и транспортируется в АФТ. На середине разгонного ствола происходит самовоспламенение полукокса и далее смесь горящего полукокса с воздухом и дымовыми газами поступает в расширяющуюся часть АФТ, где твёрдый материал снижает скорость и начинает фонтанировать.

Для интенсификации процесса горения полукокса и уменьшения размеров АФТ в центре топки размещён завихритель. Температура горения полукокса поддерживается в пределах 780-830 °С. Температура контролируется подачей воздуха в топку, но количество воздуха все равно должно быть на минимальном уровне.

Благодаря тому, что горение происходит при недостатке воздуха, в дымовом газе полностью отсутствует кислород, но содержатся окись углерода, водород и метан.

Повышению соотношения «воздух-полукокс» препятствует температура горения. При температурах больше 870°C наблюдается плавление золы. Сгоревший полукокс в виде золы покидает АФТ и направляется в параллельно установленные циклоны теплоносителя.

Балансовое количество золы выводится из системы выделения теплоносителя вместе с дымовыми газами и далее поступает в систему циклонной очистки дымовых газов от золы (10).

Дымовой газ проходит последовательно три пары зольных циклонов, где происходит выделение золы.

Зола, уловленная в зольных циклонах, поступает самотеком в зольный теплообменник. Теплообменник имеет секции труб для подогрева дутьевого воздуха АФТ и котла-утилизатора до температуры 400°C. В основном объеме аппарата теплообмен осуществляется в «падающем» потоке золы. Зола отдает тепло воздуху. Уровень золы создается только в его нижней части для предотвращения перетока дымового газа в систему золоудаления. Уровень золы поддерживается в заданных пределах изменением числа оборотов выгружающих шнеков. Температура золы на выходе из теплообменника 150°C.

Дымовые газы, образующиеся в результате горения полукокса, после выделения из них теплоносителя и доочистки от золы в зольных циклонах используются, как теплоагент для сушки сланца, далее они очищаются и выбрасываются через дымовую трубу в атмосферу.

Дымовые газы после аэрофонтанной топки содержат в себе продукты сгорания полукокса в виде CO; H₂; CH₄ и имеют температуру 780°C. После выделения золы в системе зольной очистки дымовой газ имеет температуру 740-800°C. Количество тепла, содержащегося в дымовом газе, избыточно по отношению к потребности тепла на сушку, что позволяют установить, перед вводом газа в АФС, котёл-утилизатор. Для предотвращения шлакования поверхностей температура газов не должна превышать 950°C.

Балансовый остаток избыточного тепла трудно быстро регулировать режимом работы котла-утилизатора, поэтому точная регулировка температуры пылегазовой смеси на выходе из АФС, а следовательно, и режима сушки сланца, осуществляется впрыском оборотной воды в горловину сушилки. Для снятия избытка тепла по дымовому газу производится впрыск воды в сушилку.

Технологическая схема конденсационного отделения состоит из холодильников-конденсаторов тяжёлого масла-, двойной дефлегмационной колонны, холодильников-конденсаторов водяных паров и бензина —, сепаратора, центробежной пятиступенчатой

газодувки и абсорбционной колонны, после чего полукоксовый газ направляется потребителю.

Вопросы самоповторения.

1. В чем специфические особенности процесса термической переработки сланца с твердым теплоносителем?
2. Функциональное назначение перегонного и конденсационного отделений установки ENEFIT-140.
3. Назначение «байпаса теплоносителя» в технологической схеме переработки мелкозернистого сланца.
4. Назначение аэрофонтанной топки в технологической схеме переработки мелкозернистого сланца.
5. В каком аппарате происходит основная утилизация тепла горячей золы.

Использованная литература

1. А.Згуро., Л.Григорьева., С. Чекрызов, И.Бородин. Химические технологии. Учебное пособие для химико-технологических специальностей профессиональных центров., Йыхви. Innove .2012. 374 с.
2. <https://www.enefit.com/ru/retorting-enefit280>
3. Блохин А.И., Зарецкий М.И., Стельмах Г.П., Фрайман Г.Б. Энерготехнологическая переработка топлив твердым теплоносителем.-«Светлый СТАН», 2005-336с.
4. Oil Shale: Petroleum Alternative. Editors in chief Jialin Qian, Liang Yin. China Petrochemical Press. 2010