

ТЕХНОЛОГИЯ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО ПИРОЛИЗА ОРГАНИЧЕСКОГО СЫРЬЯ В УСТАНОВКАХ С ТВЕРДЫМ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕМ ПО МЕТОДУ ГАЛОТЕР

Авторы: Петров М.С, Салихов Р.М., Айбульдинов Е.К.

Организация: ООО «ТТУ», г. Санкт-Петербург, Россия; АО «Казахский университет технологии и бизнеса», г.Нур-Султан, Казахстан

АННОТАЦИЯ. Разработана технология, позволяющая эффективно перерабатывать низкосортные горючие ископаемые - сланцы, угли, битумы, лигниты, шунгиты, твердые бытовые и промышленные отходы. Продукты переработки - нефть, газ, кокс, тепло-и электроэнергия, синтез-газ, метанол, пропилен, строительные материалы, ферросплавы, клинкер и карбиды. Экологические параметры соответствуют нормам ЕС. Данная технология может послужить основой для расширения добычи неиспользуемых месторождений.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА. Низкосортное топливо, переработка, пиролиз, горючие сланцы, уголь, твердые бытовые отходы, тяжелые нефтяные остатки.

ВВЕДЕНИЕ. Эффективность добычи и переработки запасов полезных ископаемых зависят от эффективности технологий переработки добываемого сырья. Огромные неиспользуемые запасы углеводородов и чистого углерода имеются в нетронутых природных залежах низкосортного ископаемого топлива, а также в техногенных залежах - на полигонах твердых бытовых и промышленных отходов. Например, запасы бурого угля в России составляют триллионы тонн, а добыча-около 70 миллионов тонн в год. На территории России расположено около 180 месторождений горючих сланцев с запасами сланцевой нефти 190 млрд. тонн, из них 10 млрд. тонн горючих сланцев в Ленинградской области с нефтяным эквивалентом от 1 до 1,5 баррелей на тонну. В Карелии имеются запасы 1 млрд. тонн шунгита с содержанием углерода 30-90%. На территории России накоплено более 31 миллиарда тонн твердых бытовых отходов. Ежегодно их объем увеличивается на 60 миллионов тонн.

Все перечисленные выше ископаемые классифицируются как низкосортные горючие ископаемые, то есть, как ископаемые с физико-химическими характеристиками, затрудняющими их включение в топливно-энергетический баланс из-за высокой зольности, влажности или низкой температуры плавления золы, либо наличия и образования опасных веществ. Наличие эффективных технологий позволяет использовать

эти огромные ресурсы. Установки с твердым теплоносителем (УТТ) могут успешно работать с применением различных режимов - полукоксования, коксования, парового пиролиза, окислительной паровой газификации. Такая гибкость позволяет получать различные целевые продукты в различных пропорциях: синтетическую нефть, газ, кокс, тепло-и электроэнергию, синтез-газ с последующим получением метанола, пропилена и полимеров. Полученная зола не содержит углерода и может быть использована для производства строительных материалов, цемента, ферросплавов, карбидов, удобрений и др., что обеспечивает безотходность производства. Установки УТТ являются экологически чистыми - они работают в границах городов Европейского Союза.

ТЕХНОЛОГИЯ И РЕФЕРЕНЦИИ. Технология высокоскоростного пиролиза горючих сланцев в установках с твердым теплоносителем основана на методе Галотер, изобретенном в 1947 году инженером И. С. Галынкером и разработанном Энергетическим институтом ЭНИН (Москва). Сущность способа заключается в том, что пиролиз сырья происходит при его смешивании с горячей золой во вращающемся барабане реактора без доступа кислорода. Органическое вещество разлагается с образованием парогазовой смеси, которая при охлаждении образует различные фракции синтетических нефти и газа. Полукокс сжигается в аэрофонтанной топке. Часть горячей золы возвращается в реактор для нагрева свежей порции сырья, избыток золы охлаждается и удаляется из процесса. Тепло золы, дымовых газов и синтез-газа используется в котле-утилизаторе для получения пара с энергетическими параметрами для производства тепловой и электроэнергии. Технология освоена на коммерческом уровне.

Семь установок УТТ, построенных в Эстонии, были спроектированы при участии специалистов ООО «ТТУ». В Нарве с 1980-84 годов эффективно работают две установки УТТ-3000 мощностью по 1 млн. тонн сырья в год каждая. В 2009 году они были переименованы в Enefit-140. В 2006-2015 годах в Кохтла-Ярве были спроектированы, построены и введены в эксплуатацию три УТТ-3000, переименованные в Петротер. Две УТТ-500 построены в Кивиыли в 2005-2009. Еще один завод «Энефит-280» был построен под Нарвой в 2009-2012 гг. без участия специалистов ООО "ТТУ", он работает в режиме опытно-промышленной установки. В целом за 2006-2015 годы построено шесть заводов, обеспечивающих 365% прироста мощностей по переработке сланца методом Галотер с 2,0 до 7,8 млн. тонн в год. Инвестиции составили около 600 миллионов долларов, а добыча достигла более 8 миллионов баррелей нефтяного эквивалента в год. Сейчас в Эстонии сланцы при помощи процесса Галотер приносят синтетическую нефть, газ, тепло- и электроэнергию, ценные химические продукты и строительные материалы из сланцевой золы.

Специалисты ООО «ТТУ» за период 2009-2020 провели дополнительные исследования и разработки, учли опыт работы эстонских заводов и усовершенствовали технологические схемы, позволяющие получать из сланца и низкосортных топлив не только синтетическую нефть, газ, тепло и электроэнергию, но и продукты с более высокой добавленной стоимостью и меньшей зависимостью от колебаний мировых цен на нефть - тиофены, фенолы, кокс, синтез-газ с возможностью дальнейшего производства метанола, чистых топлив, олефинов и полимеров, вырабатываемая электроэнергия может использоваться для плавки золы с добавлением марганцевой руды, угля, кокса и с получением клинкера, ферросплавов и карбидов.

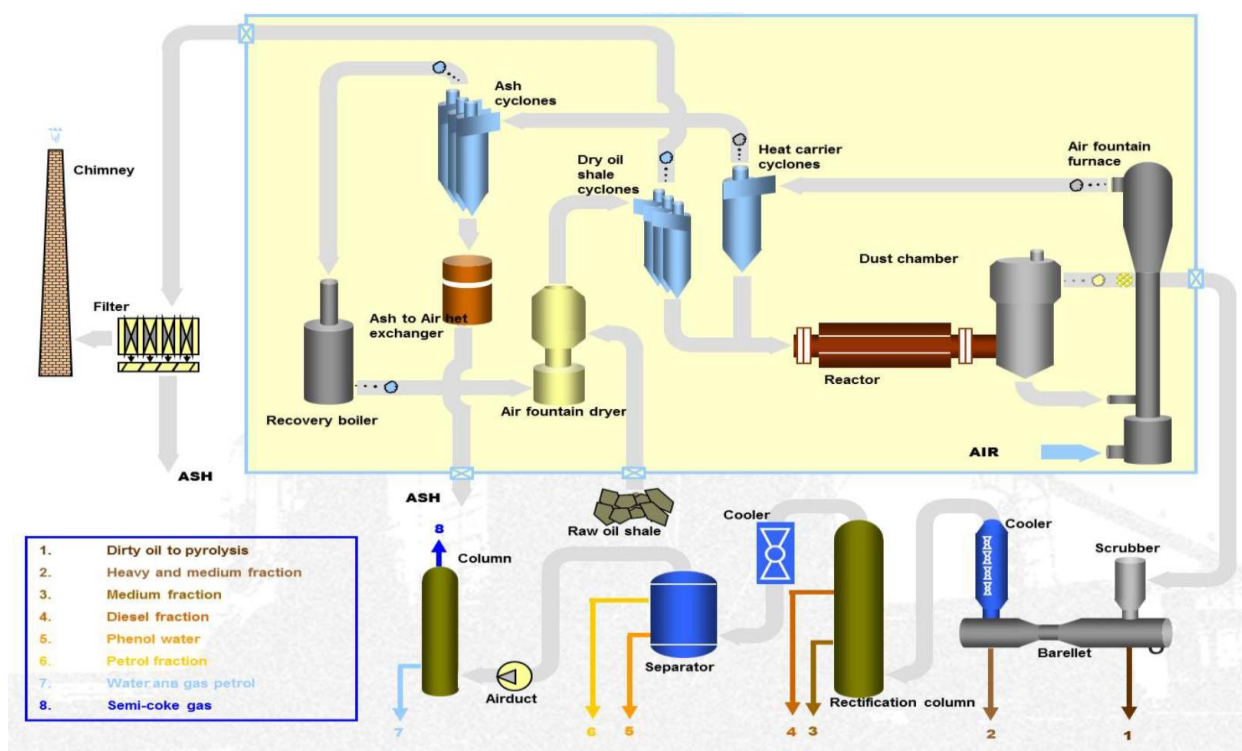


Рисунок 1-принципиальная схема переработки низкосортного топлива в УТТ

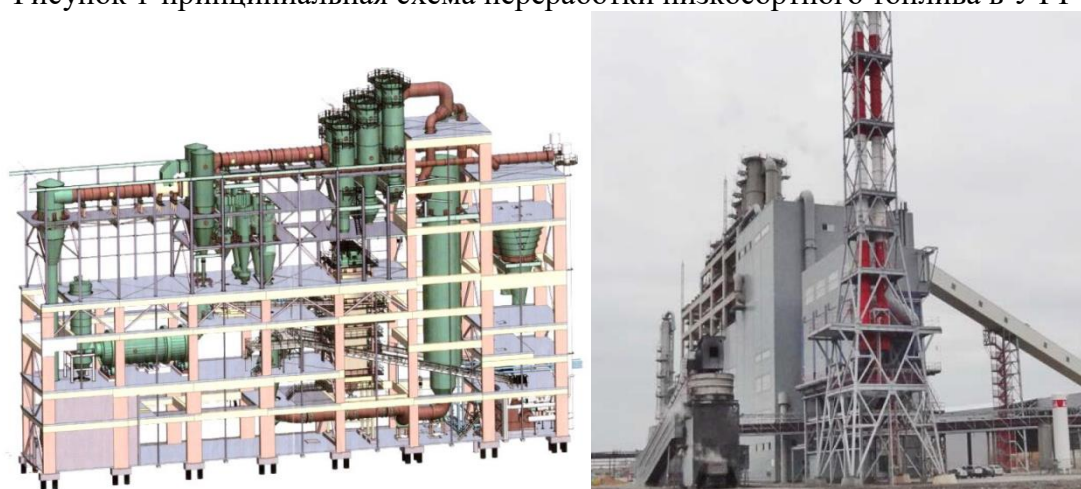


Рисунок 2-компоновка и общий вид установки УТТ

ПЕРЕРАБОТКА УГЛЯ. Пример демонстрирует исследования образца угля из Казахстана с плавкой золы и производством ферросплавов [1-3].

Влажность $W_a = 6,03\%$, Зольность $A_d = 8,31\%$, Элементный состав % масс. на сухое состояние - C - 69,14 - 68,86; H - 6,36 - 5,86; N - 1,86 - 1,74; S - 0,4.

Выход продуктов полукоксования по Фишеру, в % мас. на сухой уголь составил: полукокс – 72,6; смола - 10,1; вода пирогенетическая - 7,7; газ - 9,6.

Смола полукоксования имеет элементный состав, % мас.: C 78,75 - 79,07; H 8,84 - 8,35; N 0,97 - 1,11; S -1,16.

Элементный состав полукоксового газа: C 73,46%; H 18,62%; N 0,44%; S 0,3% ; O 7,18%.

Полукокс из реторты имеет следующие характеристики:

– зольность $A_d = 11,03\%$ масс; выход летучих $V_d = 13,44\%$ мас; элементный состав: C- 74,52%; H- 3,89%; N-2,47%; S- 0,35%; O- 7,74%.

Полученный коксозольный остаток после удаления летучих при 850°C в течение 7 минут (кокс) имеет:

- Зольность 12,35% мас;
- элементный состав: C- 77,23%; H-1,14%; N- 2,43%; S-0,19%; O- 6,66%.

Зола легко отделяется от кокса в магнитном и электрическом полях.

Зола угля имеет состав: $SiO_2 - 53\%$; $Fe_2O_3 - 11\%$; $Al_2O_3 - 27\%$, CaO - 2,5 %, MgO - 1,3 %, $SO_3 - 1,2\%$, $TiO_2 - 1\%$, $P_2O_5 - 0,65\%$, $Na_2O - 0,65\%$, $K_2O - 1,9\%$.

Охлажденный до 90°C коксозольный остаток (КЗО) выводится в систему разделения КЗО на зольный и коксовый концентраты.

Зольный концентрат смешивается с марганцевой рудой и подается в индукционные тигельные плавильные печи, где получают ферросплав и шлак. Ферросплав охлаждается, дробится и складывается.

Коксовый концентрат брикетуется и складывается для отгрузки потребителям. В качестве связующего используется окисленная тяжелая фракция смолы.

Экономические параметры проекта переработки 1 млн. т в год такого угля приведены в таблице ниже:

	Количество ед/сут	Цена, \$/ единицу	Сумма, \$/ сут	Годовые показатели, \$
Инвестиции, в т.ч.:		123 820 164		
Установка УТТ		70 000 000		
Электростанция ЭС		50 321 239		
Сепараторы, брикетирование		1 166 308		
Индукционные печи		2 332 617		

Затраты, в т.ч.:			95 778	28 733 504
Добыча	3 336	10	33 360	10 008 000
Переработка	3 336	7	23 352	7 005 600
Сепарация КЗО, плавка, брикет-ие	1 255	10	12 554	3 766 087
Покупка марганцевой руды, т	161	164,37	26 513	7 953 817
Амортизация			22 616	6 784 667
Выручка, в т.ч.:			502 488	150 746 417
Масло, т	240	455	109 166	32 749 809
Электричество, kW-h	2 542 459	0,025	63 561	19 068 441
Ферросплав, т	215	1 048	225 097	67 529 205
Кокс, т	1 047	100	104 663	31 398 962
Прибыль			406 710	122 012 913
Прибыль к налогообложению			384 094	115 228 246
Прибыль после налогообложения			307 275	92 182 597
Поток наличности			329 891	98 967 263
Окупаемость, дней			375	
Окупаемость, лет			1,25	1,25
Рентабельность инвестиций, %/год	80%			
Доход с 1 т угля, долл/т		115		

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Наличие отработанной и эффективной технологии переработки позволяет вовлекать низкосортные ископаемые природных и техногенных месторождений в торговый баланс промышленности с высоким социально-экономическим эффектом.

1 Патент RU 2 320 699 C1 Способ и установка термической переработки высокозольных и низкокалорийных твердых топлив // Опубликовано 27.03.2008 Бюл. № 9.

2 Патент RU 2 334 777 C1 Способ и установка для термической переработки мелкозернистого топлива // Опубликовано 27.09.2008 Бюл. № 27.

3 Патент RU 2 340 650 C1 Способ и установка для термической переработки высокозольного твердого топлива // Опубликовано 10.12.2008 Бюл. № 34.