

# ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ СИНТЕТИЧЕСКОЙ НЕФТИ ИЗ ГОРЮЧИХ СЛАНЦЕВ С ЦЕЛЮ ИХ ОПТИМИЗАЦИИ

**В.В. Хасхачих, Я.А. Бирюков**

*Энергетический институт им. Г.М. Кржижановского,  
Россия, Москва, [v.khaskhachikh@gmail.com](mailto:v.khaskhachikh@gmail.com), [yaroslav\\_biryukov@list.ru](mailto:yaroslav_biryukov@list.ru)*

*Аннотация.* Описана новая методика проведения лабораторных исследований процесса пиролиза горючего сланца; получены новые экспериментальные данные по зависимости выхода продуктов пиролиза горючего сланца от температуры процесса, при более высоких скоростях нагрева; а также рассмотрены возможные причины снижения эффективности термической переработки горючего сланца в производственном процессе.

*Ключевые слова:* горючий сланец, термическая переработка, пиролиз, установка с твёрдым теплоносителем, синтетическая нефть, тепло-массообмен, скорость нагрева.

## INVESTIGATION OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF SYNOIL PRODUCTION PROCESS FROM OIL-SHALE FOR ITS OPTIMIZATION

**V.V. Khaskhachikh, Ya.A. Biryukov**

*G.M.Krzhizhanovsky Power Engineering Institute,  
Russia, Moscow, [v.khaskhachikh@gmail.com](mailto:v.khaskhachikh@gmail.com), [yaroslav\\_biryukov@list.ru](mailto:yaroslav_biryukov@list.ru)*

*Summary.* New methodology for laboratory testing of oil-shale pyrolysis processing was described; new experimental data on dependence of oil-shale pyrolysis from temperature of the process, under higher heating rates were found; also potential reasons of efficiency loss of oil-shale thermal processing in production process were analyzed.

*Key words.* oil-shale, thermal processing, pyrolysis, solid heat carrier units, synoil, heat and mass transfer, heating rates.

Продолжается работа по исследованию процесса пиролиза горючих сланцев с целью определения оптимальных технологических параметров работы УТТ (установки с твёрдым теплоносителем), позволяющих получить максимум выхода жидких продуктов пиролиза (синтетической нефти).

В качестве основного аппарата в УТТ используется смеситель барабанного типа, в котором в результате тепло-массообменных процессов в бескислородной среде между горючим сланцем и твердым теплоносителем (собственной золой), осуществляется термическое разложение органической части горючего сланца с образованием парогазовой смеси и коксозольного остатка.

Основным технологическим параметром данной установки является температура процесса пиролиза, т.е. конечная температура нагрева горючего сланца. Этот параметр задается на основе лабораторных исследований, проводимых для конкретного вида сырья.

Лабораторные исследования пиролиза твёрдых топлив традиционно проводятся с использованием герметичной металлической реторты, нагреваемой через стенку от внешнего источника тепла. Классическим примером такого устройства является реторта Фишера (Рис. 1). В реторте Фишера производится термическое разложение пробы исследуемого топлива (приблизительно 50 г) на 90% состоящей из фракции до 1 мм, при равномерном прогреве всей её массы. Равномерность прогрева достигается за счет небольших размеров реторты и хорошей теплопроводности материала, из которого она изготовлена. Температура процесса определяется по показаниям термомпары, размещенного на внешней стороне стенки реторты.

По мнению авторов, такое определение температурного режима переработки горючего сланца для производственного процесса УТТ не является корректным. Процессы нагрева топлива в реторте Фишера и в реальном производственном процессе

существенно отличаются как по способу передачи тепла, так и по скорости нагрева топлива. В реторте Фишера скорость нагрева пробы горючего сланца составляет не более 10-15 оС / мин, а в реальном процессе может достигать 500 °С / мин и более.

По литературным данным, в частности, по теории З.Ф. Чуханова, каждой скорости нагрева соответствует свой температурный режим, а увеличение этой скорости приводит к смещению температурного режима в сторону более высоких температур и увеличению выхода смолы.

Однако, на данный момент выход жидких продуктов пиролиза в производственном процессе УТТ не более 12-13 % на сухую массу горючего сланца, что в свою очередь составляет не более 55-60 % от результатов, получаемых в лабораторных условиях.

Такое существенное снижение выхода жидких продуктов, следовательно, и снижение эффективности всей установки может быть вызвано неправильным применением данных, полученных в реторте Фишера, для производственного процесса УТТ.

Для проверки этого предположения был разработан и изготовлен лабораторный стенд «Реторта с перемешивающим устройством» (РПУ) по термической переработке горючего сланца с целью приближенного моделирования производственного процесса УТТ в лабораторных условиях.

Данный стенд представляет собой герметичную камеру, в которой происходит нагрев твердого теплоносителя. При достижении заданной температуры в реторту подается сырье (горючий сланец) и с помощью вертикального перемешивающего устройства осуществляется равномерное смешение холодного горючего сланца и разогретого твердого теплоносителя. В результате тепло-массообменных процессов происходит термическое разложение органической части сланца.

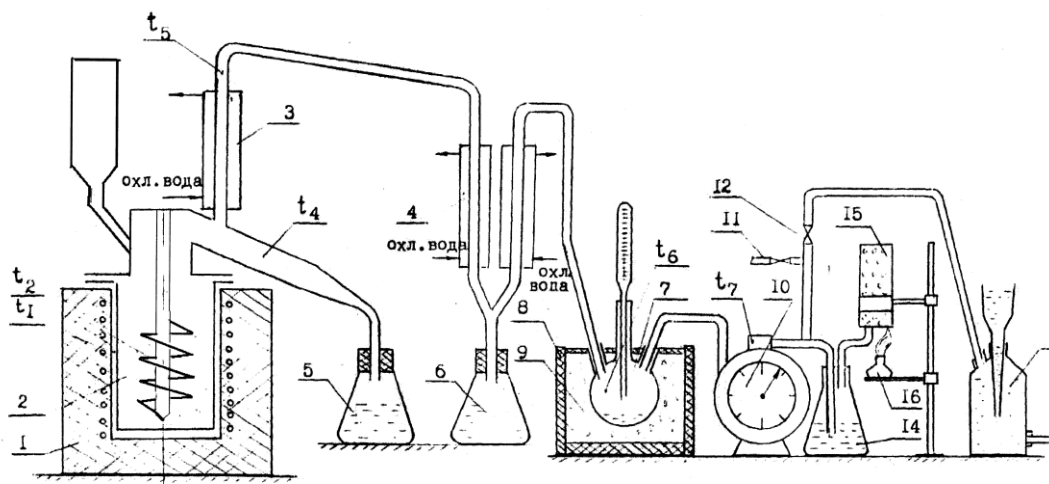
При данных условиях процесс термического разложения сланца определялся следующими параметрами: начальными температурами горючего сланца и теплоносителя, соотношением данных материалов, размерами их частиц и конечной температурой смеси твёрдого теплоносителя и полукокса, образовавшегося из горючего сланца. Принципиальная схема лабораторного стенда РПУ представлена на рис. 1.

Основным элементом установки является обогреваемая электрическим током реторта 2 емкостью около двух литров, изготовленная из стали 12Х18Н10Т. Реторта размещена внутри цилиндрической электропечи 1 мощностью ~ 2 кВт.

Принципиальное отличие от реторты Фишера заключается в способе передачи тепла. Он осуществляется не с помощью нагрева материала через стенку, а с помощью передачи тепла от нагретого материала – теплоносителя. В качестве теплоносителя используется инертный сыпучий материал (кварцевый песок) фракции 0,2 - 0,5 мм.

При нагреве теплоносителем топлива из него начинает выделяться парогазовая смесь. Верхняя часть реторты представляет собой пылеосадительную камеру емкостью ~ 0,3 л, соединенную с конденсатором тяжелой смолы 3, снабженным приемником тяжелой смолы 5. Пройдя конденсатор 3, парогазовая смесь поступает в конденсатор 4 средне-легкой смолы, соединенный со сборником этой смолы 6. Теплообменные поверхности конденсатора охлаждаются водопроводной водой. Окончательная конденсация парогазовой смеси осуществляется в конденсаторе 7, представляющем собой колбу-ловушку, погруженную в охлаждающую смесь льда и солей. Конденсатор 7 размещен в термостате, в котором поддерживается отрицательная температура. Из конденсатора 7 неконденсируемая часть парогазовой смеси (газ пиролиза) посту-

пает в расходомер газа 10, а после него – в горелочное устройство, где сжигается. Продукты сгорания удаляются в атмосферу. Для отбора средней за опыт пробы газа пиролиза на анализ служит газометр 13, соединённый тройником с горелкой -15. Вся установка размещена в вытяжном шкафу.



1-электродпечь; 2-реторта; 3-конденсатор тяжелой смолы; 4-конденсатор средне-легкой смолы; 5-приемник тяжелой смолы; 6-приемник средне-легкой смолы; 7-конденсатор бензиновых фракций; 8-термостат; 9-охлаждающий агент; 10-расходомер газа; 13-газометр; 14-гидрозатвор; 15-горелочное устройство; 16-дежурная горелка. Измеряемые параметры; t1-температура печи; t2-температура в реторте; P1-давление в реторте.

Рис. 1 – Принципиальная схема лабораторного стенда РПУ

Опыт проводится следующим образом: после сбора всей системы и проверки её на герметичность задаются параметры опыта: размер частиц горючего сланца, температура твёрдого теплоносителя и соотношение горючего сланца и твёрдого теплоносителя. В РПУ помещается порция твёрдого теплоносителя, где она, перемешиваясь, равномерно нагревается до необходимой температуры от электродпечи. После чего через специальный загрузочный бункер с помощью шлюзовой камеры производится засыпка порции холодного горючего сланца и одновременно выключение электродпечи. В реакторе происходит передача тепла от теплоносителя к сланцу без внешних источников. Примерно через 1 минуту температура стабилизируется и происходит равномерное остывание смеси твёрдого теплоносителя и полукокса, образовавшегося из горючего сланца.

Во время опыта регистрировались температура в разных точках реторты, давление и расход газа на выходе. Температура теплоносителя в каждом опыте задавалась и поддерживалась с помощью автоматического управления многоканальным измерителем-регулятором ТМ 5103. Давление измерялось электронным манометром, расход газа – расходомером.

Определение углеводородного состава газа из газометра производилось хроматографическим методом после удаления из газа кислых компонентов.

Собранный в приемных емкостях 5, 6 и 7 конденсат состоит из отдельных фракций смолы и подсмольной воды. Разделение воды и смолы осуществляется в делительной воронке. Количество пирогенетической воды определялось по разности суммы воды в смоле, слитой подсмольной воды и воды, внесённой с топливом.

После окончания опыта производилось определение количества полученных продуктов: газа, смолы, пирогенетической воды и полукокса. Система конденсации

разбиралась, приёмники смолы взвешивались с точностью до 0,01 грамма для определения массы жидких продуктов. Смесь твёрдого теплоносителя и полукокса выгружалась после остывания реторты и взвешивалась с точностью до 2,0 грамм. Масса газа пиролиза определялась по его плотности после хроматографического анализа состава газа.

Также по окончании опыта производился анализ полученных данных. Пример диаграммы одного из опытов приведен на рис.2.

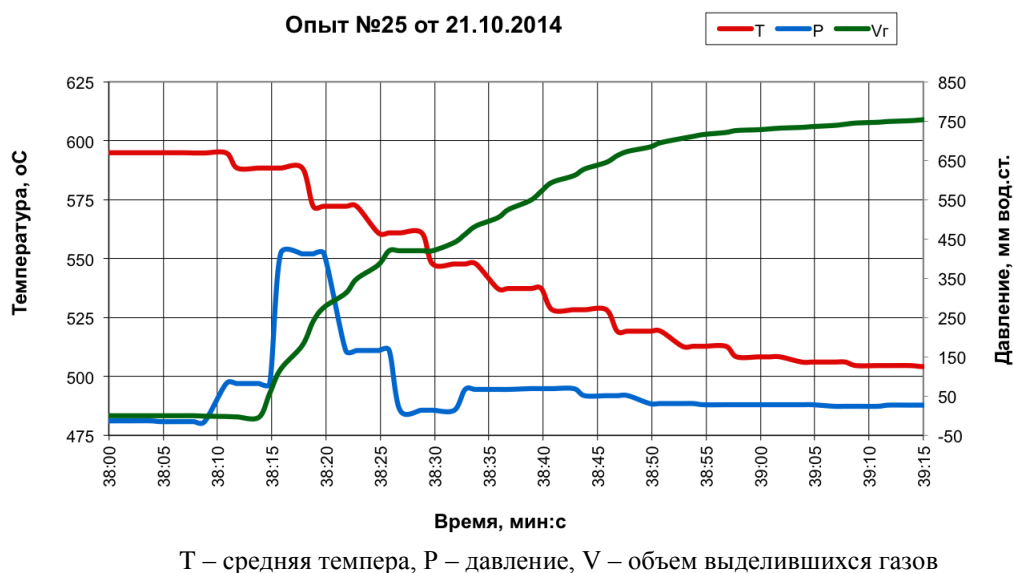


Рис. 2 – Диаграмма опыта №25

При анализе диаграммы можно выделить три участка с разным поведением материала:

- первый – участок нагрева: когда после включения печи, твердый теплоноситель нагревался и вышел на заданную температуру;
- второй – участок смешения: в этот момент через шлюзовую камеру в реактор подавался горючий сланец, который в результате тепло-массообменных процессов нагревался и пиролизировался (с образованием полукокса и парогазовой смеси), что в свою очередь приводило к охлаждению твёрдого теплоносителя;
- третий участок – общего охлаждения: когда смесь образовавшегося полукокса и твердый теплоноситель имели одинаковую температуру и охлаждались вследствие внешних теплопотерь.

В результате исследований процесса пиролиза горючего сланца по новой методике были получены данные по выходу продуктов пиролиза горючего сланца, учитывающие более высокую скорость нагрева. Зависимость выхода продуктов пиролиза горючего сланца от температуры представлена на рис. 3.

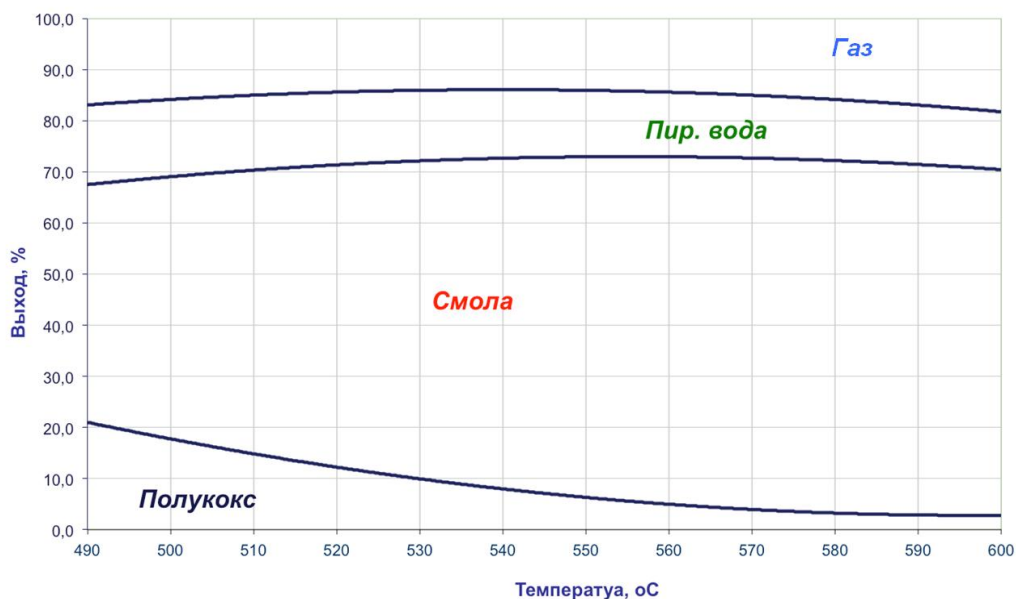


Рис. 3 – Зависимость выхода продуктов от температуры опыта

В результате проведенной работы авторы пришли к следующим выводам:

1. Разработана и апробирована новая методика проведения опытов по пиролизу горючих сланцев в реторте с перемешивающим устройством (РПУ).
2. Экспериментально показано, что при термической переработке горючего сланца каждой скорости нагрева соответствует свое значение температуры, при котором достигается предельно высокий выход жидких продуктов, причём с повышением скорости нагрева эта температура увеличивается.
3. Полученные результаты подтверждают возможность получения аналогичного и даже более высокого на 10-15% выхода смолы по сравнению с ретортой Фишера.
4. Основное влияние на выход смолы оказывает конечная температура процесса, однако в результате экспериментальной работы было установлено существенное влияние на выход смолы размера частиц топлива и температуры теплоносителя, которые в свою очередь определяют скорость нагрева топлива.
5. Необходимо проведения дальнейших исследований с целью получения зависимости влияния выхода продуктов пиролиза учитывающую конечную температуру нагрева и скорость нагрева.

#### Библиографический список

1. Хасхачих, В.В. Экспериментальное исследование тепло-массообменных процессов переработки горючего сланца в установке с твердым теплоносителем (УТТ) / В.В. Хасхачих // Состояние и перспективы развития электро - и теплотехнологии. XVIII Бенардосовские чтения: материалы международной научно -технической конференции. II том. Теплоэнергетика. Иваново. 27-29 мая 2015. С. 220-223.
2. Хасхачих, В.В. Экспериментальное исследование процесса смешения полифракционных сыпучих материалов в смесителе барабанного типа / В.В. Хасхачих // Тезисы докладов XIII Всероссийской школы-конференции с международным участием «Актуальные вопросы теплофизики и физической гидрогазодинамики». Новосибирск. 20-23 ноября 2014 г. С.169-170.
3. Чуханов З. Ф. Вопросы теории термической переработки топлив // Известия АН СССР. Отд. техн. наук. 1954. № 8. С. 7-22.
4. Галынкер И.С., Губергриц М.Я., Тягунов Б.И. и др., под редакцией Губергрица М.Я. / Термическая переработка сланца-кукерсита/ Таллин: "ВАЛГУС" , 1966. 355 с.