

## ИЗМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ ГОРЮЧИХ СЛАНЦЕВ ПОД ВЛИЯНИЕМ ПЛАЗМЫ ЭЛЕКТРОТЕПЛОвого ПРОБОЯ

Бухаркин А.А., Коряшов И.А., Мартемьянов С.М.

Научный руководитель: Лопатин В.В., д.ф.-м.н., профессор

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: amplexor@ya.ru

Использование твердых топлив в качестве энергетического сырья влечет за собой неблагоприятные экологические последствия в связи с утилизацией большого количества шлака, строительством шахт и карьеров, итогом чего становятся высокие затраты на освоение. Однако вследствие своих огромных запасов и распространенности твердые топлива весьма перспективны для переработки. Получение жидких и газообразных энергоносителей из твердого энергетического сырья позволит снизить негативное экологическое влияние и расходы на разработку. Особенно выгодно в этом свете выглядят горючие сланцы, распространенность и запасы которых велики. Добыча сланцев традиционными способами практически не ведется по причине их высокой зольности и как следствие нерентабельности. К тому же соотношение органической и минеральной компонент и физико-химические свойства горючих сланцев существенно отличаются от месторождения к месторождению. Поэтому для эффективной переработки сланцев необходимо их всестороннее исследование. В основе существующих способов конверсии твердых ископаемых топлив в жидкие и газообразные энергоносители лежат два явления: пиролиз [1,2,3] и топомхимическое преобразование [4,5].

Последнее осуществляется подачей дутья и частичным окислением органической компоненты твердых топлив. В результате происходит потеря части энергии, а так же увеличивается содержание балластного газа в конечном продукте. Таким образом, пиролизом можно получать более энергоемкие продукты. Основная задача, которую необходимо решить для реализации пиролитической конверсии – нагрев твердого сырья до температуры термодеструкции. Один из наиболее эффективных и высокотехнологичных способов нагрева – джоулево тепло непосредственно в объеме твердых топлив, но в связи с их высоким электрическим сопротивлением ( $10^9 \div 10^{10}$  Ом·см) [6] протекание тока через породу невозможно.

Согласно исследованиям Агроскина А.А. [6] при нагревании некоторых видов твердых топлив до  $900^\circ\text{C}$  происходит обогащение исходного материала углеродом, в связи с чем сопротивление породы падает на  $7 \div 8$  порядков до  $10^2 \div 10^3$  Ом·см и остается практически неизменным после охлаждения.

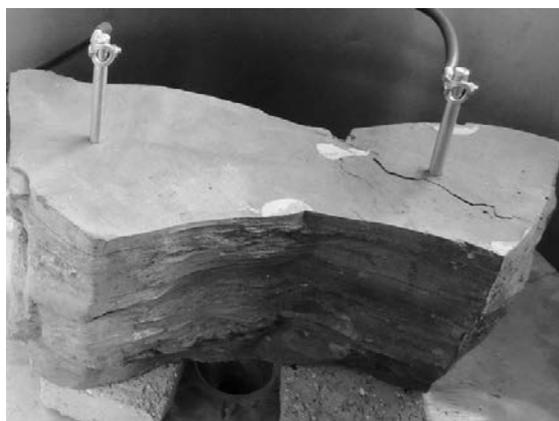
В результате экспериментов по нагреву горючих сланцев и бурых углей электромагнитным воздействием были

обнаружены электроразрядные явления в этих видах топлив, позволяющие существенно снизить электрическое сопротивление материала без использования внешних нагревателей. Под действием невысокой ( $\sim 10^2$  В/см) напряженности в породе инициируются частичные разряды (ЧР), представляющие собой локальные разряды по поверхности, электрической пробой инородных включений и микро- и макроскопических пор [7, 8]. При длительном существовании ЧР в сланцах и углях происходит триинг, т.е. рост древовидных разрядных структур, называемых дендритами [7, 8, 9]. Результатом триинга является заверченный разряд в межэлектродном промежутке и образование плазменного канала. Под действием плазмы ЧР при триинге и пробоя наблюдается карбонизация, то есть насыщение породы углеродом. В результате пиролитического разложения керогена (органической составляющей породы), состоящего преимущественно из [10] углерода, водорода и кислорода, происходят многократные химические превращения, часть углерода не реагирует и его концентрация увеличивается. Это приводит к появлению области низкого сопротивления вокруг дендритов и разрядного канала (рис. 1б). Таким образом, в момент пробоя сопротивление межэлектродного промежутка резко снижается на  $7 \div 10$  порядков. После карбонизации некоторого объема породы дальнейшая термодеструкция происходит за счет джоулева тепла создаваемого протекающим в этом объеме током.

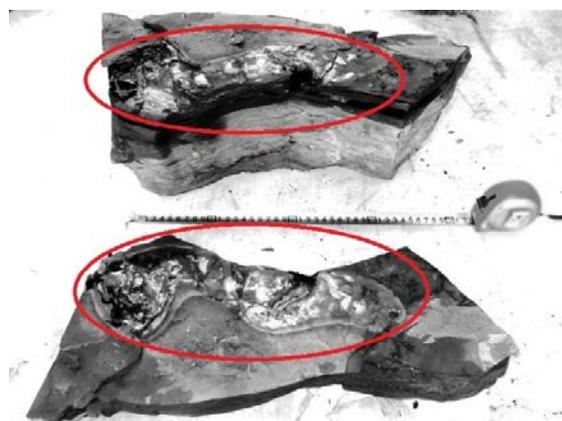
Для инициации электроразрядных явлений использовался высоковольтный источник напряжения до 10 кВ. Электромагнитное поле вводилось в образец посредством стальных стержневых электродов диаметром 10 мм (рис. 1а). После образования дендритами в межэлектродном промежутке устойчивого проводящего канала в образец вводился ток  $\sim 40$  А и поддерживалась постоянная мощность  $\sim 1$  кВт.

С целью определения удельного сопротивления карбонизированного объема из трех образцов горючих сланцев Худаньского месторождения (КНР, провинция Цзилинь), подвергшихся воздействию плазмы, были отделены обуглившиеся фрагменты породы близкой к кубической формы с характерным размером  $\sim 20$  мм. Для измерения каждый фрагмент зажимался между двух медных пластинчатых электродов, с целью снижения влияния контактного сопротивления использовалась токопроводящая графитовая

смазка. По результатам измерений, проведенных на трех образцах, удельное сопротивление карбонизированного объема составило  $10 \div 100 \text{ Ом} \cdot \text{см}$ .



а



б

Рисунок 1. а – фрагмент породы горючих сланцев перед экспериментом, б – фрагмент породы горючих сланцев после воздействия плазмы, линией выделен карбонизированный объем.

Таким образом, ЧР возникают в горючих сланцах при невысокой напряженности. Под действием ЧР при триинге и завершения разряда происходит термодеструкция керогена и наблюдается карбонизация. Карбонизированный объем имеет весьма низкое электрическое сопротивление и может быть использован в качестве резистивного нагревателя интегрированного в объем породы. Этот эффект можно использовать для подземной пиролизной конверсии сланцевых пластов в горючий газ и синтетическую нефть, в том числе непосредственно на месте залегания

#### Литература

1. Пат. 2259384 Российская Федерация, МПК 7 С10В1/04, С10J3/20, С10J3/48.

Установка для производства высококалорийного пиролизного газа и угля из углеродсодержащих материалов / Стребков Д. С. и др.; заявитель и патентообладатель ГНУ ВИЭСХ. – № 2003133966/15; заявл. 25.11.03; опубл. 27.08.05.

2. Пат. 2349745 Российская Федерация, МПК Е21В43/24 (2006.01). Способ обработки подземного пласта для конверсии органического вещества в извлекаемые углеводороды / Саймингтон В. А. и др.; заявитель и патентообладатель Эксонмобил Апстрим Рисерч Компани. – № 2006101868/03; заявл. 14.04.04; опубл. 20.03.09.
3. Field testing of electrofrac process elements at ExxonMobil's colony mine / W.A. Symington, J.S. Burns, A.M. El-Rabaa et al. // 29th Oil Shale Symposium. – 2009.
4. Пат. 2495912 Российская Федерация, МПК С10J3/48 (2006.01). Реактор газификации и способ газификации в потоке / Коволль Й. и др.; заявитель и патентообладатель УДЕ ГМБХ. – № 2010115329/05; заявл. 18.09.08; опубл. 20.10.13.
5. Пат. 2066748 Российская Федерация, МПК 6 Е21В43/295. Способ нагнетательно-отсосной подземной газификации угольного пласта / Крейнин Е. В., Блиндерман М. С.; заявитель и патентообладатель Инд. ЧП - НТЦ "Полигаз". – № 93014894/03; заявл. 11.03.93; опубл. 20.09.96.
6. Агроскин А.А., Петренко И.Г. Определение электросопротивления углей и сланцев при нагревании //Заводская лаборатория. -1948. № 7. С.807-812.
7. Кучинский, Г.С. Частичные разряды в высоковольтных конструкциях / Г.С. Кучинский. – Л.: Энергия. Ленингр. отделение, 1979. – 224 с., ил.
8. Dissado, L.A. Electrical degradation and breakdown in polymers / L.A. Dissado, J.C. Fothergill. - London: Peter Peregrinus Ltd., – 1992. – p. 601.
9. Носков, М.Д. Формирование лапласовских структур в неравновесных условиях / М.Д. Носков. – г. Северск: Изд. СГТИ, - 2005. – 218 с.
10. Стрижакова, Ю.А. Горючие сланцы. Генезис, составы, ресурсы. / Ю.А. Стрижакова. – М.: Недра, 2008. – 190 с.