

ИЗМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ ГОРЮЧИХ СЛАНЦЕВ ПОД ВЛИЯНИЕМ ПЛАЗМЫ ЭЛЕКТРОТЕПЛОВОГО ПРОБОЯ

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

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

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: amplexor@ya.ru

OIL SHALE CONDUCTIVITY VARIATION UNDER ELECTROTHERMAL BREAKDOWN PLASMA AFFECT

A.A. Bukharkin, I.A. Koryashov, S.M. Martemyanov

Scientific Supervisor: Prof., Dr. V.V. Lopatin

Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: amplexor@ya.ru

Partial discharges with following treeing were discovered in oil shale. These phenomena are cause of breakdown like in dielectrics, but with some features. Shale conductivity increases due to carbonization under discharge plasma affect. Carbonized volume electrical resistance is decreased on 7÷8 degrees to 10÷100 Ω·cm. This effect can be used for pyrolytic conversion of oil shale in fuel gas and synthetic oil by electrophysical heating including in-situ processing.

Использование твердых топлив в качестве энергетического сырья влечет за собой неблагоприятные экологические последствия в связи с утилизацией большого количество 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] и топохимическое преобразование [3, 4].

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) [5] протекание тока через породу невозможно.

Согласно исследованиям Агроскина А.А. [5] при нагревании некоторых видов твердых топлив до 900°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, электрический пробой инородных включений и микро- и макроскопических пор [6, 7]. При длительном существовании ЧР в сланцах и углях происходит триинг, т.е. рост древовидных разрядных структур, называемых дендритами [6, 7, 8]. 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 [9] 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.

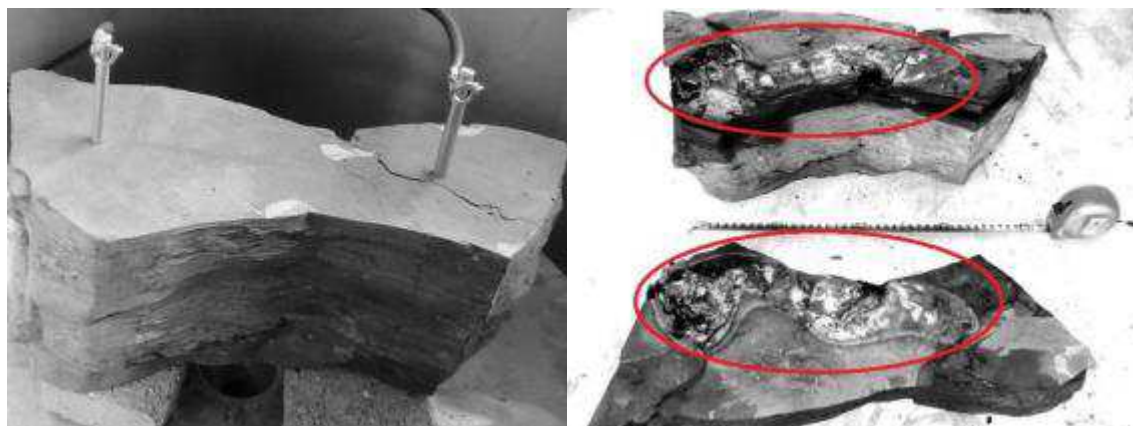


Рис. 1. а) фрагмент породы горючих сланцев перед экспериментом, б) фрагмент породы горючих сланцев после воздействия плазмы, линией выделен карбонизированный объем

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 ~ 40 А и поддерживалась постоянная мощность ~ 1 кВт.

С целью определения удельного сопротивления карбонизированного объема из трех образцов горючих сланцев Хуаданьского месторождения (КНР, провинция Цзилинь), подвергшихся воздействию плазмы, были отделены обуглившиеся фрагменты породы близкой к кубической формы с характерным размером ~ 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 $10 \div 100 \text{ Ом} \cdot \text{см}$.

Таким образом, ЧР возникают в горючих сланцах при невысокой напряженности. Под действием ЧР при триинге и завершеного 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 пиролитической конверсии сланцевых пластов в горючий газ и синтетическую нефть, в том числе непосредственно на месте залегания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пат. 2259384 Российская Федерация, МПК 7 C10B1/04, C10J3/20, C10J3/48. 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 E21B43/24 (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. Пат. 2495912 Российская Федерация, МПК C10J3/48 (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.
4. Пат. 2066748 Российская Федерация, МПК 6 E21B43/295. 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.
5. Агроскин А.А., Петренко И.Г. Определение электросопротивления углей и сланцев при нагревании // Заводская лаборатория. – 1948. – № 7. – С. 807–812.
6. Кучинский, Г.С. Частичные разряды в высоковольтных конструкциях / Г.С. Кучинский. – Л.: Энергия. Ле-нингр. отд-ние, 1979. – 224 с., ил.
7. Dissado, L.A. Electrical degradation and breakdown in polymers / L.A. Dissado, J.C. Fothergill. - London: Peter Peregrinus Ltd., – 1992. – P. 601.
8. Носков, М.Д. Формирование лапласовских структур в неравновесных условиях / М.Д. Носков. – г. Северск: Изд. СГТИ. – 2005. – 218 с.
9. Стрижакова, Ю.А. Горючие сланцы. Генезис, составы, ресурсы. / Ю.А. Стрижакова. – М.: Недра, 2008. – 190 с.