

**АНАЛИЗ ПРИМЕНИМОСТИ ГОРЮЧИХ СЛАНЦЕВ ДМИТРИЕВСКОГО И  
КОЦЕБИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЙ ДЛЯ ВНУТРИПЛАСТОВОЙ КОНВЕРСИИ**

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

Научный руководитель: к.т.н. С.М. Мартемьянов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

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

E-mail: [martemyanov@tpu.ru](mailto:martemyanov@tpu.ru)

**APPLICABILITY OF OIL SHALE OF DMITRIEVSKY AND KOTSEBINSKY DEPOSITS FOR IN  
SITU CONVERSION**

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

Scientific Supervisor: Dr. S.M. Martemyanov

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

E-mail: [martemyanov@tpu.ru](mailto:martemyanov@tpu.ru)

***Abstract.** Oil shale is not almost mined now. The main reason of this is in uncompetitiveness of its mining compared with coal, oil, natural gas. However, the innovative approaches to mining could probably change the situation. The paper aims to analysis of the applicability of oil shale Dmitrievsky (Kuzbass, Russia) and Kotsebinsky (Saratov region, Russia) deposits for the mining using a method of in situ pyrolytic conversion.*

Внутрипластовая пиролизическая конверсия видится перспективным способом разработки месторождений горючих сланцев благодаря высокому потенциалу снижения издержек. Этот способ не требует извлечения породы на поверхность и заключается в нагреве пласта до 400-600°C в бескислородной атмосфере. При этом образуется смесь жидких и газообразных продуктов, которые могут применяться в качестве топливного или химико-технологического сырья [1].

В настоящей работе рассмотрена применимость внутрипластовой конверсии для горючих сланцев двух месторождений – Дмитриевского (Кузбасс) и Коцебинского (Саратовская область), поскольку они незначительно удалены от городов, а глубина их залегания небольшая.

Технически задача внутрипластовой конверсии горючих сланцев сводится к нагреву подземного пласта до температуры термодеструкции породы. По мнению авторов, для нагрева подземного пласта горючих сланцев наиболее пригоден электрофизический способ, заключающийся в пропускании электрического тока [2]. Этот способ требует наличия двух скважин, пробуренных с поверхности земли до пласта и расположенных на некотором расстоянии друг от друга. В скважинах размещаются электроды, подключенные кабелями к наземному источнику электроэнергии с регулируемым током. Нагревать подземный пласт при этом предполагается пропусканием тока через пласт за счет джоулева тепла, выделяемого на омическом сопротивлении участка протекания тока. Предварительно между скважинами формируется канал электротеплового пробоя с целью снижения сопротивления межэлектродного участка.

По данным термогравиметрического анализа наилучший температурный режим для конверсии горючих сланцев составляет 400-500°C [4]. Оценка эффективности технологии проводилась составлением энергетического баланса конверсии и определением энергетической эффективности – отношения полученной энергии к затраченной. Баланс сначала был оценен теоретически, чтобы определить максимально достижимое значение. Затем была проведена экспериментальная проверка полученных данных.

Затраты энергии уйдут на нагрев породы и химические реакции конверсии. Требуемое количество энергии отражает такая удельная величина, как эффективная теплоемкость. Разумеется, она будет зависеть от температуры, однако среднее ее значение, согласно справочным источникам, составляет 1 000-1 200 Дж/кг·°C [5, 6]. Таким образом, на конверсию одного килограмма горючих сланцев при его нагреве от 20°C до 600°C потребуется энергия 696 кДж. Получаемая в результате конверсии энергия может быть подсчитана как теплотворная способность газа и сланцевой смолы. Выход этих компонентов и их соотношение зависят от условий нагрева. На основании экспериментальных данных и результатов термогравиметрического анализа установлено, что с 1 кг горючих сланцев зольностью ~70%, таких как Коцебинские и Дмитриевские, можно получить ~140 г сланцевой смолы и столько же газа. Молярная масса газа получаемого газа составляет ~15 г/моль, отсюда получаем плотность при нормальном давлении 700 г/м<sup>3</sup>, т.е. объем 140 г газа равен 0,2 м<sup>3</sup>. Удельная теплота сгорания такого газа составляет ~13 000 кДж/м<sup>3</sup>. Таким образом, полученный объем газа будет иметь теплотворную способность 2 600 кДж.

Удельная теплота сгорания сланцевой смолы составляет ~30 000 кДж/кг. Для полученных 140 г смолы теплотворная способность составит 4 200 кДж. Получаем суммарную теплотворную способность продуктов конверсии 6 800 кДж, что превышает энергозатраты в 9,7 раза. Поскольку нагрев производится электрической энергией, целесообразно уменьшить полученный энергетический эффект в КПД генерации электроэнергии. Если считать, что полученное топливо может быть преобразовано в электричество с КПД = 35%, то энергетический эффект конверсии будет составлять ~3,4.

Экспериментальная проверка применимости горючих сланцев для внутрислоистой конверсии проводилась на лабораторной установке в уменьшенном масштабе в условиях, имитирующих внутрислоистые. Образец с электродами размещался в герметичной камере лабораторной установки. К электродам подводилась электроэнергия от внешнего источника. Затраты электроэнергии подсчитывались с помощью электросчетчика. Объем получаемого газа измерялся с помощью газового расходомера, а состав газа определялся газовым хроматографом. Точное количество полученной сланцевой смолы определить затруднительно, поскольку аэрозольные частицы смолы оседают тонким слоем на стенках камеры. Масса образовавшейся смолы определялась как потеря массы образца за вычетом массы полученного газа. Удельная теплота сгорания смолы определялась в бомбовом калориметре.

Эксперименты проводились на образцах массой около 20 кг с габаритами 350×200×150 мм. Расстояние между электродами составляло 300 мм. Основные результаты проведенных экспериментов сведены в таблицу 1.

Таблица 1

Результаты лабораторного нагрева горючих сланцев

Параметр	Дмитриевские сланцы	Коцебинские сланцы
Время нагрева, ч	19	18
Средняя мощность, кВт	0,585	0,593
Затраченная энергия, кВт·ч / кДж	11,1 / 39 960	10,7 / 38 520
Объем полученного газа, м <sup>3</sup>	5,5	6,3
Теплотворная способность полученного газа, кДж	71 490	81 470
Масса полученной смолы, кг	1,82	1,51
Удельная теплота сгорания смолы, кДж/кг	31 200	29 700
Теплотворная способность полученной смолы, кДж	56 780	44 850
Энергетическая эффективность	3,21	3,28

Таким образом, в лабораторных экспериментах энергетический эффект конверсии составил 3,2-3,3 вместо расчетного значения 9,7. Такое различие может быть обусловлено следующим. В реальных условиях нагрев породы происходит неравномерно, что приводит к перегреву одних участков и недогреву других, что снижает эффективность конверсии. Энергетические параметры конверсии горючих сланцев двух месторождений получились весьма близкими, что связано с похожим составом и количеством их органической массы, а также близостью теплотехнических характеристик.

Полученные результаты показали, что положительный энергетический эффект конверсии может быть достигнут. Таким образом, можно сделать вывод, что при правильно выбранном масштабе внутрислоистовая конверсия горючих сланцев Дмитриевского и Коцебинского месторождений может быть рентабельной.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. US Patent No. 3384569A. Oil shale retorting / Peet Nick P. Priority date 21.02.1966; Published 21.05.1968
2. Lopatin V.V., Martemyanov S.M., Bukharkin A.A., Koryashov I.A. Underground pyrolytic conversion of oil shale // Proceedings of the 8th international forum on strategic technology 2013 (IFOST2013), Ulaanbaatar - Vol. 1, - P.547-549
3. Pankaj T., Milind D. Compositional and kinetic analysis of oil shale pyrolysis using TGA-MS // Fuel. – 2012. – Vol.94. – pp.333-341
4. Gilliam T. M., Morgan I.L. Shale: Measurement of Thermal Properties. – Oak Ridge: U.S. Government Printing Office. – 1987. – 139 p.
5. Eppelbaum L., Kutsov I., Pilchin A. Applied Geothermics. – Berlin: Springer, 2014. - 751 p.
6. Martemyanov S.M., Bukharkin A.A., Koryashov I.A., Kvashnina O.S. Simulation of Conditions of Solid Fossil Fuels Formation for Underground Conversion Investigation // Key Engineering Materials. – 2016. – vol.685. - pp 158-161