

УДК 662.8.05

## ФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ БРИКЕТОВ, ПОЛУЧЕННЫХ ИЗ СЛАНЦЕВОЙ МЕЛОЧИ И ДРЕВЕСНЫХ ОПИЛОК

Назаренко Максим Юрьевич<sup>1</sup>,

max.nazarenko@mail.ru

Кондрашева Наталья Константиновна<sup>1</sup>,

natalia\_kondrasheva@mail.ru

Салтыкова Светлана Николаевна<sup>1</sup>

ssn\_58@mail.ru

Бажин Владимир Юрьевич<sup>1</sup>,

bazhin\_alfoil@mail.ru

<sup>1</sup> Национальный минерально-сырьевой университет «Горный»,  
Россия, г. Санкт-Петербург, 199106, 21-я линия В.О., 2.

**Актуальность работы** объясняется необходимостью переработки большого количества отходов сланцепереработки и деревообрабатывающей промышленности – сланцевой мелочи и древесных опилок, которые усложняют технологические схемы переработки данных материалов.

**Цель работы:** определение оптимальных условия для брикетирования сланцевой мелочи и изучение влагонасыщаемости топливных брикетов и гранул, полученных из древесных опилок.

**Методы исследований.** Используется современное лабораторное оборудование: гранулометрический классификатор ASControl, лабораторный гидравлический пресс ПГЛ-20, муфельная печь SNOL-8.2/1100. Определение прочностных характеристик полученных сланцевых брикетов проводилось согласно стандартной методике по ГОСТ 21289-75 «Брикеты угольные. Методы определения механической прочности». Брикет помещали между цилиндрическими вставками прессы так, чтобы вставки упирались в центры его параллельной поверхности, доводили брикет до разрушения. Поскольку в горючих сланцах содержится до 50 % минеральных примесей, что приводит к увеличению прочности брикетов, число сбрасываний было увеличено с 4 (по ГОСТ 21289-75) до количества, приводящего к полному разрушению брикетов. Термоустойчивость (не разрушаются при термической обработке) сланцевых брикетов определялась при температуре 800–1000 °С.

**Результаты.** Изучено влияние фракционного состава и давления брикетирования на прочностные характеристики сланцевых брикетов, а также определена зависимость влагонасыщаемости топливных брикетов из древесных опилок от способа их изготовления (сухого или горячего). Определены оптимальные условия для брикетирования сланцевой мелочи различной крупности. Для фракции менее 125 мкм: влажность материала 37 %, давление брикетирования 15 МПа. Брикет имеет механические характеристики: сопротивление удару – выдерживает 6 падений, сопротивление на сжатие –  $\sigma_{сж}=5$  кг/см<sup>2</sup>, термоустойчив при температуре 800–1000 °С. Для смеси фракций (1:1) 2 мм – 125 мкм и менее 125 мкм: влажность материала 23 %, давление брикетирования 15 МПа. Брикет имеет механические характеристики: сопротивление удару – выдерживает 4 падения, сопротивление на сжатие –  $\sigma_{сж}=3$  кг/см<sup>2</sup>, термоустойчив при температуре 800–1000 °С.

### Ключевые слова:

Горючие сланцы, древесные опилки, утилизация отходов, брикетирование, сланцевые брикеты, топливные брикеты, пеллеты, рациональное природопользование.

Постоянный рост энергопотребления, уменьшение известных запасов легкодоступной нефти, увеличение сернистости и обводненности нефти и, что самое важное, увеличение себестоимости добычи нефти вследствие преобладания труднодоступных запасов и большой выработанности действующих месторождений повышает интерес к нетрадиционным и низкосортным видам топлива, одними из которых являются горючие сланцы и древесный уголь [1, 2]. При добыче и переработке горючих сланцев, а также при переработке древесины образуется большое количество сланцевой мелочи и древесных опилок, использование которых усложняет технологические схемы переработки горючих сланцев и древесины, в результате чего сланцевая мелочь и опилки складываются на территории заводов в отвалы [3–5].

Производство топливных гранул и брикетов из древесных опилок является одним из оптимальных способов их утилизации. Крупнейшими производителями топливных гранул из древесных опилок в мире являются такие страны, как США (2000 тыс. тонн в год), Швеция (700 тыс. тонн в год), Дания (600 тыс. тонн в год), Австрия (120 тыс. тонн в год), Германия (100 тыс. тонн в год), Канада (100 тыс. тонн в год) [6–8].

Топливные брикеты, пеллеты и гранулы имеют ряд преимуществ: при сжигании топливных гранул выбрасывается в воздух такое же количество углекислого газа, какое впитало в себя дерево при росте – закрытый кругооборот углерода; исключен риск загрязнения окружающей среды из-за аварии при транспортировке; невысокая себестоимость готовой продукции [9, 10]. При транспортировке

на большие расстояния, а также при складировании готовых топливных пеллет, брикетов или гранул во влажных помещениях существует проблема разрушения готовой продукции в результате влагонасыщения и, соответственно, снижения теплоэнергетических и потребительских свойств.

Мировые запасы горючих сланцев в эквиваленте сланцевой смолы и газа существенно больше запасов нефти и природного газа. Россия имеет большие по объему месторождения горючих сланцев, по количеству которых ее опережают только США и Бразилия [3, 5, 11]. Технологии переработки горючих сланцев в электроэнергию и химическое сырье используют такие страны, как Бразилия, Эстония, Америка, Китай и т. д.

Многие исследователи [12–20] говорят об образовании большого количества сланцевой мелочи, для которой необходимо найти способы утилизации. В качестве такого способа можно рассматривать производство брикетов, что позволит увеличить эффективность использования материала, например отходов металлургии или низкосортного сырья. Поэтому цель данной работы, исходя из вышесказанного, – определение оптимальных условий для брикетирования сланцевой мелочи и изучение влагонасыщаемости топливных брикетов и гранул, полученных из древесных опилок. За оптимальные условия брикетирования сланцевой мелочи принимали условия, при которых сланцевые брикеты обладали наилучшими механическими характеристиками сопротивления удару и сжатию. Высокие механические свойства сланцевых брикетов облегчают их транспортировку и повышают эксплуатационные свойства. При проведении исследований решены следующие задачи:

- изучено влияние фракционного состава и давления брикетирования на прочностные характеристики (сопротивление удару и на сжатие) полученных сланцевых брикетов;
- изучено влияние фракционного состава и способа изготовления (сухого или горячего) на влагонасыщаемость топливных брикетов из древесных опилок.

#### Методы исследований

Объектом исследования служила сланцевая мелочь Прибалтийского бассейна (Ленинградского и Эстонского месторождений) и древесные опилки. Перед началом исследований сланцевая мелочь и древесные опилки классифицировались на фракции крупностью от 6 до 4 мм, от 4 до 2 мм, от 2 до 1 мм, от 1 до 0,5 мм, от 0,5 до 0,25 мм, от 0,2 до 0,125 мм и на фракцию менее 0,125 мм с использованием гранулометрического классификатора AS-Control-200.

Сланцевую мелочь и древесные опилки брикетировали на лабораторном гидравлическом прессе ПГЛ-20 при давлении 10 и 15 МПа с предварительным смачиванием материала или без смачивания (для сланцевой мелочи). Определение прочностных

характеристик полученных сланцевых брикетов проводилось согласно стандартной методике (ГОСТ 21289-75) «Брикеты угольные. Методы определения механической прочности». Брикет помещали между цилиндрическими вставками прессы так, чтобы вставки упирались в центры его параллельной поверхности, и доводили его до разрушения. Поскольку в горючих сланцах содержится до 50 % минеральных примесей, что приводит к увеличению прочности брикетов, число сбрасываний было увеличено с 4 (по ГОСТ 21289-75) до количества, приводящего к полному разрушению брикетов. Термоустойчивость сланцевых брикетов (не разрушаются при термической обработке) определялась при температуре 800–1000 °С в муфельной печи SNO-8.2/1100.

Брикетирование древесных опилок производилось с предварительным нагревом при 105 °С в течение 15 мин (горячее брикетирование) и без нагрева (холодное брикетирование) пресс-формы с опилками с добавлением или без добавления 0,05 мл масла на 5 г опилок. Изучалось влияние масла на понижение влагонасыщаемости и улучшение их механических характеристик. Вместо пихтового масла, использованного в данной работе, возможно применение любого другого, например вазелинового или скипидарного.

Определение влагонасыщаемости полученных топливных брикетов проводилось с использованием эксикатора, заполненного частично водой, в который брикеты помещались на 72 часа. По истечении времени рассчитывалось изменение массы брикетов.

#### Результаты экспериментов и обсуждение

В табл. 1 приведены результаты экспериментов по влиянию состава и давления брикетирования на прочностные характеристики брикетов. Использовались фракции сланцевой мелочи – от 2 мм до 125 мкм и менее 125 мкм, увеличение фракции при прессовании увеличивает износ деталей прессы и расход энергии на раздавливание.

По табл. 1 видно, что с увеличением влажности брикетизируемого материала фракцией менее 125 мкм с 11,6 до 37 % и при повышении давления брикетирования с 10 до 15 МПа улучшаются механические (прочностные) характеристики сланцевых брикетов.

По результатам эксперимента установлено, что оптимальным для брикетирования является горючий сланец фракции менее 125 мкм, с влажностью 37 %, давление при брикетировании – 15 МПа. Полученный брикет имеет следующие механические характеристики:

- сопротивление удару – выдерживает 6 падений;
- сопротивление на сжатие  $\sigma_{сж} = 5 \text{ кг/см}^2$ ;
- термоустойчив при температуре 800–1000 °С.

На рис. 1 показаны примеры разрушения брикетов, сформованных при различном давлении,

**Таблица 1.** Влияние состава и давления на прочностные характеристики

**Table 1.** The effect of composition and pressure on strength characteristics

Условия изготовления брикета Conditions of briquetting			Физические свойства Physical properties		
Состав брикета Briquette structure	Влажность материала, % Water content, %	Давление, МПа Pressure, MPa	Механическая прочность Mechanical strength		Термоустойчивость (при 800–1000 °С) Heat resistance (under 800–1000 °С)
			Сопротивление удару, кол. пад. Shock resistance, quantity of falls	Сопротивление сжатию, кг/см <sup>2</sup> Compression resistance, kg/cm <sup>2</sup>	
Фракция от 2 мм до 125 мкм / Fraction is from 2 mm to 125 mkm					
Горючий сланец Oil shale	11,6	10–15	1	0,5	Разрушился Briquette is broken
Горючий сланец и вода Oil shale and water	37		2		
Фракция менее 125 мкм / Fraction is less than 125 mkm					
Горючий сланец Oil shale	11,6	10	1	0,5	Разрушился Briquette is broken
		15	2	0,7	
Горючий сланец и вода Oil shale and water	37	10	5	4,0	Не разрушился Briquette is not broken
		15	6	5,0	

при определении сопротивления на удар. При этом необходимо отметить, что брикеты с крупностью фракций менее 125 мкм (влажность 37 %, давление 10–15 МПа, выдерживают до 6 падений) прочнее брикетов с крупностью фракций 125 мкм – 2 мм (влажность 11,6 %, давление 10–15 МПа). Последние разрушаются после первого сбрасывания. На прочность брикетов оказывает влияние влажность, крупность фракции и давление прессования. Кроме того, с уменьшением крупности фракции достигается более плотная упаковка, увеличивается суммарная поверхность частиц, а влажность и давление прессования увеличивают силы сцепления между зёрнами.

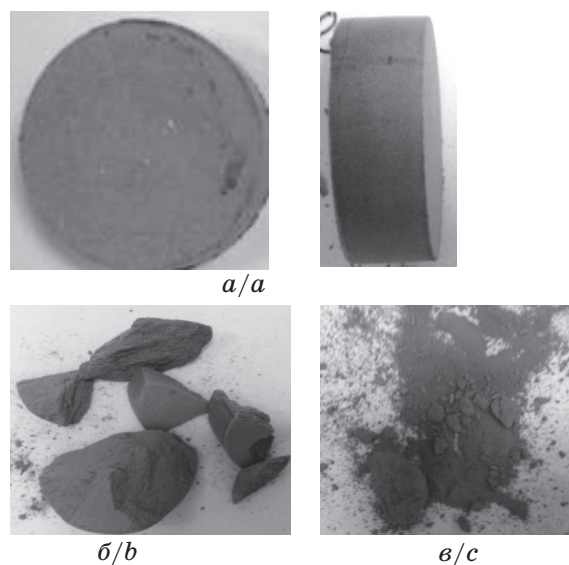
Для эффективного использования сланцевой мелочи различной крупности дополнительно были проведены исследования по брикетированию материала следующего фракционного состава: 50 % фракции 2 мм – 125 мкм и 50 % – менее 125 мкм. При увеличении размера фракции необходимо увеличение давления и времени брикетирования, поэтому при исследовании максимальная крупность фракции была от 2 мм до 125 мкм. Результаты эксперимента приведены в табл. 2.

При рациональном фракционном составе крупностью менее 125 мкм и 2 мм – 125 мкм (в соотношении 1:1) оптимальная влажность материала – 23 %. Полученный сланцевый брикет имеет следующие механические характеристики:

- сопротивление удару – выдерживает 4 падения;
- сопротивление на сжатие  $\sigma_{сж}$  = 3 кг/см<sup>2</sup>;
- термоустойчив при температуре 800–1000 °С.

Далее в работе представлены результаты изучения влагонасыщаемости полученных сланцевых

брикетов и брикетов из отходов деревообрабатывающей промышленности, полученных методом холодного и горячего брикетирования. Влияние фракционного состава древесных опилок, способа брикетирования (холодного/горячего) и добавки масла на влагонасыщаемость топливных брикетов представлены на рис. 2.



**Рис. 1.** Результаты механических испытаний полученных сланцевых брикетов при давлении: а) 15 МПа, фракция менее 125 мкм; б) 15 МПа, выдержал 6 сбрасываний; в) 10 МПа, выдержал 5 сбрасываний

**Fig. 1.** Results of mechanical tests of the obtained shale briquettes at pressure: a) 15 MPa, fraction is less than 125 mkm; b) 15 MPa (6 falls); c) 10 MPa (5 falls)

**Таблица 2.** Результаты исследований брикетирования (давление 15 МПа)

**Table 2.** The results of briquetting research (pressure is 15 MPa)

Условия изготовления брикета Conditions of briquetting		Физические свойства Physical properties		
Состав брикета Briquette structure	Влажность материала, % Water content, %	Механическая прочность Mechanical strength		Термоустойчивость (при 800–1000 °С) Heat resistance (under 800–1000 °С)
		Сопротивление удару, кол. пад. Shock resistance, quantity of falls	Сопротивление сжатию, кг/см <sup>2</sup> Compression resistance, kg/cm <sup>2</sup>	
Горючий сланец Oil shale	8	1	0,5	Разрушился Briquette is broken
	11,6	2	1,0	
Горючий сланец и вода Oil shale and water	23	4	3,0	Не разрушился Briquette is not broken
	37	2	1,0	
	40	2	1,0	

По полученным данным (рис. 2) видно, что топливные брикеты, изготовленные горячим брикетированием, обладают большей влагонасыщаемостью по сравнению с брикетами, изготовленными холодным брикетированием. При добавлении пихтового масла тенденция эта сохраняется. Это объясняется тем, что при горячем брикетировании (температура 105 °С) удаляется влага из опилок и впоследствии топливные брикеты вбирают влагу из окружающей среды в большей степени, чем брикеты при холодном брикетировании.

Наибольшая влагонасыщаемость при холодном брикетировании без добавления пихтового масла

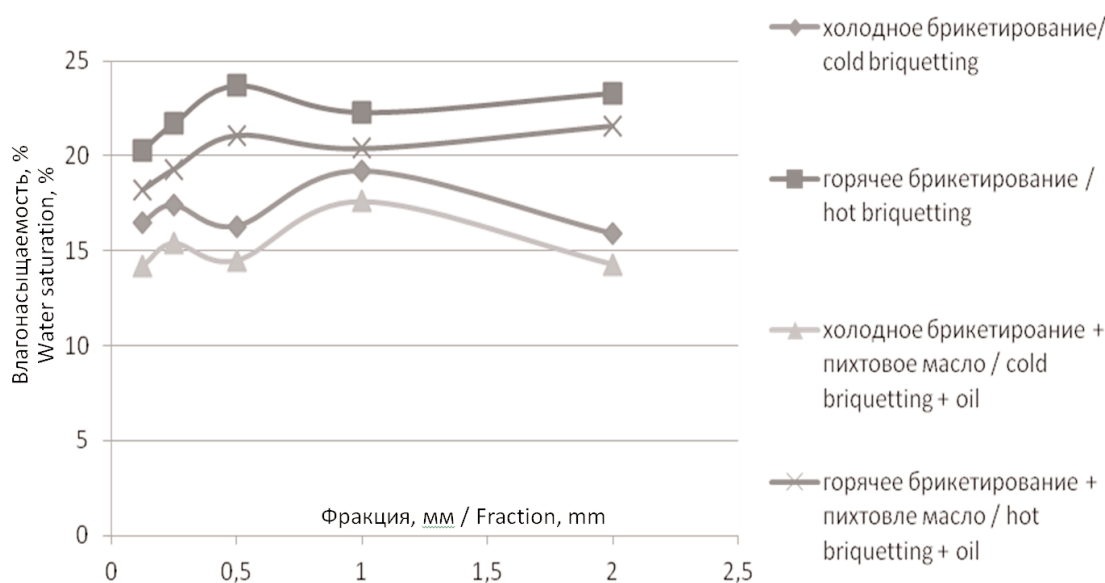
наблюдается у брикетов при использовании фракции 1 мм, а наименьшая – при 0,125–0,250 мм, при добавлении пихтового масла – максимальная у брикетов при использовании фракции 1 мм, наименьшая – 0,125–0,250 мм. При горячем брикетировании без добавления пихтового масла максимальная влагонасыщаемость у брикетов при использовании фракции 0,5 мм, а наименьшая – 0,125–0,250 мм. При добавлении пихтового масла максимальная – 0,5 мм, наименьшая – 0,125–0,250 мм.

В табл. 3 представлены данные по изучению влагонасыщаемости полученных сланцевых брикетов.

**Таблица 3.** Результаты изучения влагонасыщаемости полученных брикетов

**Table 3.** The results of the study of the obtained briquettes water saturation

Условия изготовления брикета Conditions of briquetting			Влагонасыщаемость, % Water saturation, %
Состав брикета Briquette structure	Влажность материала, % Water content, %	Давление, МПа Pressure, MPa	
Фракция от 2 мм до 125 мкм / Fraction is from 2 mm to 125 mkm			
Горючий сланец Oil shale	11,6	10–15	12–15
Горючий сланец и вода Oil shale and water	37		2–3
Фракция менее 125 мкм / Fraction is less than 125 mkm			
Горючий сланец Oil shale	11,6	10	8–10
		15	7–9
Горючий сланец и вода Oil shale and water	37	10	2–3
		15	



**Рис. 2.** Влагонасыщаемость топливных гранул

**Fig. 2.** Water saturation of fuel pellets



### Заключение

По результатам экспериментальных исследований были определены:

- 1) оптимальные условия для брикетирования сланцевой мелочи:
  - фракция менее 125 мкм, влажность материала 37 %, давление брикетирования 15 МПа, брикет имеет механические характеристики: сопротивление удару – выдерживает 6 падений, сопротивление на сжатие –  $\sigma_{сж}=5$  кг/см<sup>2</sup>, термоустойчив при температуре 800–1000 °С;
  - фракция 2 мм – 125 мкм и менее 125 мкм (1:1), оптимальная влажность материала – 23 %, давление брикетирования 15 МПа, брикет имеет механические характеристики: сопротивление удару – выдерживает 4 падения, сопротивление на сжатие –  $\sigma_{сж}=3$  кг/см<sup>2</sup>, термоустойчив при температуре 800–1000 °С.
- 2) установлено:
  - сланцевая мелочь брикетируется без добавления связующих веществ, что снижает себестоимость готовой продукции;

- увеличение давления брикетирования (с 10 до 15 МПа) и влажности материала (с 11,6 до 37 %) улучшает прочностные характеристики брикетов;
- брикетирование сланцевой мелочи можно осуществлять без предварительной сушки материала, так как капиллярные силы адсорбированной жидкости обеспечивают необходимое сцепление поверхности частиц материала.

Топливные брикеты из древесных опилок, изготовленные горячим брикетированием, обладают большей влагонасыщаемостью, по сравнению с брикетами, изготовленными холодным брикетированием. Добавление масла, например пихтового, снижает влагонасыщаемость топливных брикетов, независимо от способа брикетирования, но практически не оказывает влияние на вид кривой влагонасыщаемости. Наибольшая влагонасыщаемость при холодном брикетировании наблюдается у брикетов при использовании фракции 1 мм, а при горячем брикетировании максимальная влагонасыщаемость при использовании фракции 0,5 мм.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Грушевенко Е. Сланцевая нефть в США: к чему приведет снижение цен // Forbes. URL: <http://www.forbes.ru/mneniya-column/komkurentsia/278477-slantsevaya-neft-v-ssha-k-chemu-privedet-snizhenie-tsen> (дата обращения: 25.12.2015).
2. Composition and properties of oil shale ash concrete / R. Leimbi-Merike, H. Tiina, L. Eneli, K. Rein // Oil shale. – 2014. – V. 31. – № 2. – P. 147–160.
3. Юдович Я.Э. Горючие сланцы Республики Коми. Проблемы освоения // Сыктывкар: Геопринт, 2013. – 90 с.
4. Обзор методов и конструкций по утилизации древесных отходов для создания машины по производству пеллет / В.А. Костырченко, Т.М. Мадьяров, М.А. Слезов, А.П. Васильев // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 11–1. – С. 66–70.
5. Антонина З. Химические технологии. – Иыхви, 2012. – 376 с.
6. Кошкалов Е.С., Савицкий С.К. Пеллеты – современный альтернативный источник энергии // Решение. – 2015. – № 2. – С. 224–226.
7. Рудаков Ю.А. Древесные пеллеты как альтернатива углеводородным источникам // Инновации и инвестиции. – 2013. – № 6. – С. 180–182.
8. Руденко С.А., Репин О.М. Исследование российского рынка древесных пеллет: сырьевой аспект // Вестник НГУЭУ. – 2014. – № 1. – С. 262–271.
9. Гомонай М.В. Производство топливных брикетов. Древесное сырье, оборудование, технологии, режимы работы: монография. – М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2006. – 68 с.
10. Сафонов А.О., Зотова Е.В. Анализ методик оценки физико-механических и тепловых характеристик древесных пеллет // Лесотехнический журнал. – 2014. – № 5 (13). – С. 113–126.
11. Минерально-сырьевые ресурсы России и мировой опыт природопользования / Т.С. Смирнова, Л.М. Вахилова, Ш.Н.У. Мирабидинов, С.А. Молотов // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2013. – № 7. – С. 7–17.
12. Изучение физико-химических свойств горючих сланцев / М.Ю. Назаренко, В.Ю. Бажин, С.Н. Салтыкова, Г.В. Коновалов // Кокс и Химия. – 2014. – № 3. – С. 44–49.
13. Рудина М.Г., Серебрянникова Н.Д. Справочник сланцепереработчика. – Л.: Химия, 1988. – 256 с.
14. Зюба О.А., Глушенко О.Н. Обзор современных термических методов переработки горючих сланцев и экологические аспекты их применения // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2012. – Т. 7. – № 4. URL: [http://www.ngtp.ru/rub/9/52\\_2012.pdf](http://www.ngtp.ru/rub/9/52_2012.pdf) (дата обращения: 20.01.2016).
15. Geochemistry of rare earth and other trace elements in Chinese oil shale / Q. Wang, J. Bai, J. Ge, Y.Z. Wie, S. Li // Oil shale. – 2014. – V. 31. – № 3. – P. 266–277.
16. Стрижакова Ю.А., Усова Т.В., Третьяков В.Ф. Горючие сланцы – потенциальный источник сырья для топливно-энергетической и химической промышленности // Вестник МИТХТ. Химия и технология органических веществ. – 2006. – № 4. – С. 76–85.
17. Kinetics of isothermal and non-isothermal pyrolysis of oil shale / Y. Xie, H. Xue, H. Wang, Z. Lie, C. Rang // Oil shale. – 2011. – V. 28. – № 3. – P. 415–424.
18. Raado L-M., Rein K., Hain T. Oil shale ash based stone formation – hydration, hardening dynamics and phase transformations // Oil shale. – 2014. – V. 31. – № 1. – P. 91–101.
19. Palayangoda S.S., Nguen Q.P. Thermal behavior of raw oil shale and its components // Oil shale. – 2015. – V. 32. – № 2. – P. 160–171.
20. Study on thermal conversion of Huadian oil shale under N<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub> atmospheres / F.F. Xie, Z. Wang, W.G. Lin, W.L. Song // Oil shale. – 2010. – V. 27. – № 4. – P. 309–320.

Поступила 21.01.2016 г.

#### **Информация об авторах**

**Назаренко М.Ю.**, аспирант кафедры химических технологий и переработки энергоносителей факультета переработки минерального сырья Национального минерально-сырьевого университета «Горный».

**Кондрашева Н.К.**, доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой химических технологий и переработки энергоносителей факультета переработки минерального сырья Национального минерально-сырьевого университета «Горный».

**Салтыкова С.Н.**, кандидат технических наук, доцент кафедры химических технологий и переработки энергоносителей факультета переработки минерального сырья Национального минерально-сырьевого университета «Горный».

**Бажин В.Ю.**, доктор технических наук, профессор, декан, заведующий кафедрой автоматизации технологических процессов и производств энергоносителей факультета переработки минерального сырья Национального минерально-сырьевого университета «Горный».

UDC 662.8.05

## PHYSICAL CHARACTERISTICS OF BRIQUETTES PRODUCED FROM SHALE FINES AND SAWDUST

**Maxim Yu. Nazarenko<sup>1</sup>,**

max.nazarenko@mail.ru

**Natalia K. Kondrasheva<sup>1</sup>,**

natalia\_kondrasheva@mail.ru

**Svetlana N. Saltykova<sup>1</sup>,**

ssn\_58@mail.ru

**Vladimir Yu. Bazhin<sup>1</sup>,**

bazhin\_alfoil@mail.ru

<sup>1</sup> National mineral resources university (University of mines),  
2, 21 line of Vasilyevsky Island, Saint-Petersburg, 199106, Russia.

*The relevance of the research is caused by the necessity of treatment of great amount of waste of oil shale processing and wood industries – shale fines and sawdust, which complicates the technological scheme of processing these materials.*

**The main aim of the study** is to determine the optimal conditions for briquetting oil shale fines and to study water saturation of fuel briquettes and pellets produced from wood sawdust.

**The methods used in the study.** The authors have used modern laboratory equipment (granulometric classificatory ASControl, laboratory hydraulic press PVL-20, muffle furnace SNOL-8.2/1100). Determining the strength characteristics of the obtained briquettes of oil shale was carried out according to standard methods by the GOST 21289-75 «Coal briquettes. Methods for determination of mechanical strength». The briquette was placed between the cylindrical inserts of the press in the way that the insert rests on the centers of its parallel surface and brings the preform to fracture. As the oil shale contains up to 50 % of mineral impurities, the authors decided to increase the number of drops from 4 (according to the State Standard 21289-75) up to a maximum amount. Oil shale briquette thermal stability (they are not broken at thermal treatment) was determined at 800–1000 °C.

**The results.** The author studied the influence of fractional composition and pressure of briquetting on strength characteristics (shock and compression resistance) of the obtained oil shale briquettes and determined the dependence of water saturation of briquettes made of wood sawdust on the method of their production (dry or not). The authors determined the optimal conditions for briquetting oil shale fines of different composition and grain size of the material: fraction is less than 125 mkm, water content is 37 %, pressure is 15 MPa; the obtained briquette has mechanical characteristics: shock resistance is 6 quantity of falls, compression resistance is 5 kg/cm<sup>2</sup>, thermal stability is at 800–1000 °C; fraction is less than 125 mkm and from 2 mm to 125 mkm (1:1), water content is 23 %, pressure is 15 MPa, the obtained briquette has mechanical characteristics (shock resistance is 4 quantity of falls, compression resistance is 3 kg/cm<sup>2</sup>), thermal stability is at 800–1000 °C.

### Key words:

Oil shale, sawdust, waste reclamation, briquetting, oil shale briquettes, fuel briquettes, pellets, rational use of natural resources.

### REFERENCES

1. Glushenko E. Slanshevay neft v SSHA: k chemu privedet snizhenie zen [Oil shale in the USA: What is this going to lead to?]. *Forbes*. Available at: <http://www.forbes.ru/mneniya-column/komkurentsia/278477-slantsevaya-neft-v-ssha-k-chemu-privedet-snizhenie-tsen> (accessed 25 December 2015).
2. Leimbi-Merike R., Tiina H., Eneli L., Rein K. Composition and properties of oil shale ash concrete. *Oil shale*, 2014, vol. 31, no. 2, pp. 147–160.
3. Yudovich Ya.E. *Goruchie slantsy Respubliki Komi. Problemy osvoeniy* [Oil shale of the Komi Republic. Problems of development]. Syktyvkar, Geoprint Publ., 2013. 90 p.
4. Kostyrchenko V.A., Madyarov T.M., Slezov M.A., Vasilev A.P. Review of methods and structures for wood waste disposal to develop a machine for producing pellets. *Fundamentalnye issledovaniya*, 2015, no. 11–1, pp. 66–70. In Rus.
5. Antonina Z. *Khimicheskie tekhnologii* [Chemical technology]. Jõhvi, 2012. 376 p.
6. Koshkalov E.S., Savitsky S.K. Pellety – sovremenny alternativny istochnik energii [Pellets is a modern alternative source of energy]. *Reshenie*, 2015, no. 2, pp. 224–226.
7. Rudakov Yu.A. Wood pellets as an alternative to hydrocarbon sources. *Innovatsii i investitsii*, 2013, no. 6, pp. 180–182. In Rus.
8. Rudenko S.A., Repina O.M. Study of the Russian market of wood pellets: raw aspect. *Vestnik NGUEU*, 2014, no. 1, pp. 262–271.
9. Gomonay M.V. *Proizvodstvo toplivnykh briketov. Drevsnoe syre, oborudovanie, tekhnologii, rezhimy raboty: monografiya* [Production of fuel briquettes. Wood raw materials, equipment, technologies, modes of work: monograph]. Moscow, GOU VPO MGUL Press, 2006. 68 p.
10. Safronov A.O., Zotova E.V. Analysis of methods for assessing physical-mechanical and thermal characteristics of wood pellets. *Lesohimicheskii zhurnal*, 2014, no. 5 (13), pp. 113–126. In Rus.
11. Smirnova T.S., Vakhidova L.M., Mirabidinov Sh.N.U., Molotov S.A. Mineral resources of Russia and the world experience of nature management. *PNRPU Mechanics Bulletin. Geology. Oil and gas engineering and mining*, 2013, no. 7, pp. 7–17. In Rus.
12. Nazarenko M.Yu., Bazhin V. Yu., Saltikova S.N., Kononov G.V. Physicochemical properties of fuel shale. *Coke and Chemistry*, 2014, vol. 57, no. 3, pp. 129–133. In Rus.
13. Rudina M.G., Serebrannikova N.D. *Spravochnik slantsepererabotchika* [Handbook of shale converter]. Leningrad, Khimiya, 1998. 256 p.
14. Zuba O.A., Gluschenko O.N. Review of modern thermal methods of oil shale processing and ecological aspects of their application. *Neftegazovay geologiya. Teoria i praktika*, 2012, vol. 7, no. 4.

- Available at: [http://www.ngtp.ru/rub/9/52\\_2012.pdf](http://www.ngtp.ru/rub/9/52_2012.pdf) (accessed 20 January 2016). In Rus.
15. Wang Q., Bai J., Ge J., Wie Y.Z., Li S. Geochemistry of rare earth and other trace elements in Chinese oil shale. *Oil shale*, 2014, vol. 31, no. 3, pp. 266–277.
  16. Strizhakova Yu.A., Usova T.V., Tretiykov V.F. Oil shale is a potential source of raw material for energy and chemical industry. *Vestnik MITHT. Chemistry and technology of organic substances*, 2006, no. 4, pp. 76–85. In Rus.
  17. Xie Y., Xue H., Wang H., Lie Z., Rang C. Kinetics of isothermal and non-isothermal pyrolysis of oil shale. *Oil shale*, 2011, vol. 28, no. 3, pp. 415–424.
  18. Raado L-M., Rein K., Hain T. Oil shale ash based stone formation – hydration, hardening dynamics and phase transformations. *Oil shale*, 2014, vol. 31, no. 1, pp. 91–101.
  19. Palayangoda S.S., Nguen Q.P. Thermal behavior of raw oil shale and its component. *Oil shale*, 2015, vol. 32, no. 2, pp. 160–171.
  20. Xie F.F., Wang Z., Lin W.G., Song W.L. Study on thermal conversion of Huadian oil shale under N<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub> atmospheres. *Oil shale*, 2010, vol. 27, no. 4, pp. 309–320.

*Received: 21 January 2016.*

#### **Information about the authors**

**Maxim Yu. Nazarenko**, graduate student, National Mineral Resources University (University of mines).

**Natalia K. Kondrasheva**, Dr.Sc., professor, Head of the Department, National Mineral Resources University (University of mines).

**Svetlana N. Saltykova**, Cand.Sc., assistant professor, National Mineral Resources University (University of mines).

**Vladimir Yu. Bazhin**, Dr.Sc., professor, Dean, Head of Department, National Mineral Resources University (University of mines).