

## ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГОРЮЧИХ СЛАНЦЕВ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ЭНЕРГИИ В ТЕПЛОВЫХ ДВИГАТЕЛЯХ

Докт. техн. наук, проф. НЕСЕНЧУК А. П.<sup>1)</sup>, магистр техн. наук БЕГЛЯК А. В.<sup>1)</sup>,  
канд. техн. наук РЫЖОВА Т. В.<sup>2)</sup>, студ. БЕГЛЯК В. В.<sup>1)</sup>,  
магистрант ИВАНЧИКОВ Е. О.<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Белорусский национальный технический университет,

<sup>2)</sup>ОАО «Минский автомобильный завод»

E-mail: pte@bntu.by

## PROSPECTS OF KEROGEN SHALE USAGE FOR ENERGY PRODUCTION IN HEAT ENGINES

NESENCHUK A. P.<sup>1)</sup>, BEGLIAK A. V.<sup>1)</sup>, RYZHOVA T. V.<sup>2)</sup>,  
BEGLIAK V. V.<sup>1)</sup>, IVANCHIKOV E. O.<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Belarusian National Technical University,

<sup>2)</sup>JSC "Minsk Automobile Plant"

Рассматриваются тенденции использования горючих сланцев в мире. Произведен анализ стоимости электрической энергии для стран Европейского союза. Рассмотрены критерии, влияющие на стоимость электрической энергии.

**Ключевые слова:** горючие сланцы, органическое вещество кероген, электрическая энергия.

Ил. 4. Табл. 2. Библиогр.: 7 назв.

The paper considers tendencies in usage of kerogen shales in the world. An analysis of electrical power cost in the countries of the European Union has been carried out in the paper. The paper studies criteria that influence on electrical power cost.

**Keywords:** kerogen shales, organic substance kerogen, electrical power.

Fig. 4. Tab. 2. Ref.: 7 titles.

Горючие сланцы представляют собой твердое низкокалорийное горючее полезное ископаемое. Основные отличия горючих сланцев из различных месторождений заключаются в содержании органического вещества керогена, наиболее близкого по своему составу и свойствам к нефти. В зависимости от содержания керогена происходит классификация сланцев на разные группы по качеству. Обычно содержание керогена в сланцах составляет 10–30 %, в сланцах Беларуси – около 10 %. Однако оно может достигать до 50–70 %.

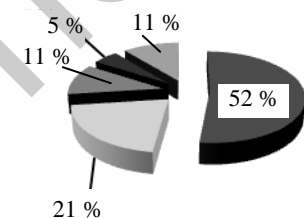


Рис. 1. Распределение мировых запасов горючих сланцев:

США – 52 %; Бразилия – 21 %;

Россия – 11%; КНР – 5 %;

другие – 11 %

Разведанные мировые запасы горючих сланцев составляют 650–930 трлн т, данные по их распределению приведены на рис. 1 [1]. Основные запасы сосредоточены в США, Бразилии, России и Китае.

Существуют различные способы применения горючих сланцев [1]:

- термическая переработка в условиях полукоксования (450–550 °С) для получе-

ния смолы (10–30 %), газового бензина (1,0–1,5 %), пирогенетической воды и горючих газов с высокой теплотой сгорания. Смола полукоксования (сланцевое масло) кукуерситов содержит 20–25 % фенолов (преимущественно высококипящих), а также парафиновые, алифатические, нафтеновые и ароматические углеводороды. Может рассматриваться как компонент бензина, повышающий октановое число (октановое число сланцевого масла – более 100). Сланцевое масло обычно дешевле прямогонного бензина;

- высокотемпературное коксование (950–1000 °С) – производится топливный газ (350–400 м<sup>3</sup>/т) с теплотой сгорания 15,9–17,6 МДж/кг, газовый бензин (порядка 10 кг/т) и смола (около 50 кг/т), вяжущие строительные материалы, сырье для получения битумов, масел, фенолов, бензола, толуола, ксилолов, нафтолов, ихтиола и др.;

- сжигание в тепловых двигателях (прямое сжигание твердого топлива или газификация с последующим сжиганием в газообразном состоянии) – как для производства тепловой и электрической энергии, так и в качестве источника для получения сланцевого масла (аналога нефти) с последующей переработкой в нефтепродукты – бензин, мазут и т. д.

Залежи горючих сланцев имеются в Беларуси в Припятском сланцевом бассейне. Общие прогнозные запасы – порядка 8,3 млрд т, реальные промышленные – около 3,6 млрд т. Основное количество запасов сосредоточено в Туровском (2,7 млрд т) и Любанском (0,9 млрд т) месторождениях. Свойства и состав имеющихся горючих сланцев приведены в табл. 1 [2].

Таблица 1

Состав и свойства горючих сланцев технологической пробы

Показатель	Значение пробы	
	Туровское месторождение	Любанское месторождение
Влажность $W^a$ , %	3,90	2,40
Зольность $A^d$ , %	79,60	72,50
Выход летучих веществ $V^d$ , %	16,60	17,20
Содержание диоксида углерода карбонатов $CO_2^d$ , %	2,30	11,00
Условная органическая масса $OB_{усл}$ , % на сухое вещество	18,10	16,5
Элементный состав, % на сухое вещество:		
углерод	10,10	8,30
в том числе органический	9,50	
водород	3,70	2,20
азот	0,30	0,24
сера общая	2,70	1,90
кислород	3,60	3,80
Теплота сгорания $Q_n^p$ , МДж/кг	5,75	6,73
Выход продуктов полукоксования, % на сухое вещество:		
смола	9,50	11,50
пирогенетическая вода	1,80	0,30
зольный остаток	84,40	82,08
газ	4,40	5,40

Однако в настоящий момент в мире существует только одна страна, в которой около 95 % электрической энергии производится из горючих сланцев, – Эстония. Характеристики крупнейших электростанций Эстонии приведены в табл. 2. Обращает на себя внимание тот факт, что около 90 %

установленных электрических мощностей в качестве топлива используют именно горючий сланец.

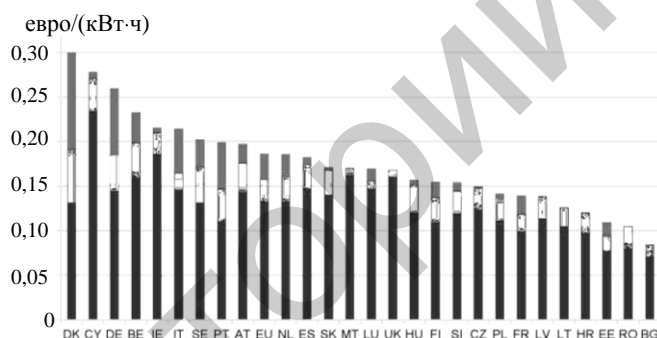
Таблица 2

Крупнейшие электростанции Эстонии

Название электростанции	Тип используемого топлива	Электрическая/тепловая мощность, МВт	Год ввода
Эстонская электростанция	Горючий сланец	1615 МВт <sub>э</sub> /84 МВт <sub>т</sub>	1963–1973
Балтийская электростанция	Горючий сланец	765 МВт <sub>э</sub> /400 МВт <sub>т</sub> (160 МВт – водогрейные котлы)	1959–1966
Новый блок Эстонской электростанции	Горючий сланец	300 МВт <sub>э</sub>	2015
Ирусская ТЭЦ	Природный газ	190 МВт <sub>э</sub> /765 МВт <sub>т</sub> (367 МВт – водогрейная котельная)	1980
Новый блок Ирусской ТЭЦ	Мусор	17 МВт <sub>э</sub> /50 МВт <sub>т</sub>	2013

Интересен для изучения факт, каким образом использование данного топлива влияет на стоимость произведенной электрической энергии. Данные по стоимости электрической энергии для промышленных и бытовых потребителей стран Европейского союза по состоянию на первую половину 2012 г. приведены на рис. 2 [3].

а



б

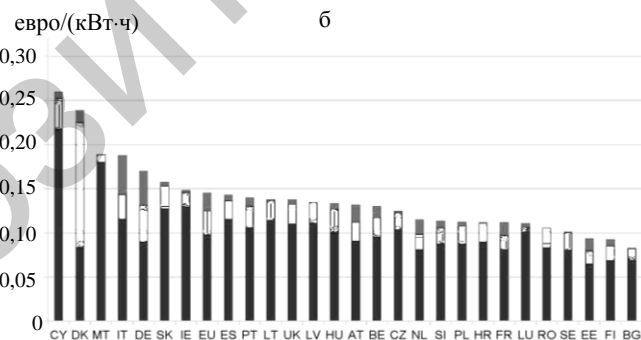


Рис. 2. Данные по стоимости электрической энергии в странах Европейского союза для бытового сектора (а) и промышленных потребителей (б) в первой половине 2012 г.:

■ – стоимость без налогов; □ – НДС; ▒ – другие налоги

Как видно из рис. 2, Эстония имеет одну из самых низких стоимостей электрической энергии в странах Европейского союза как для промышленных потребителей, так и для населения. Однако для получения более объективной картины рассмотрим другие важные факторы, которые будут существенно влиять на стоимость продукции: уровень теплофикационного

(когенерационного) производства, потери в электрических сетях, а также распределение потребления электрической энергии между промышленностью и населением.

Данные по количеству произведенной в Европейском союзе электрической энергии в режиме теплофикации (когенерации) в 2005–2009 гг. приведены на рис. 3 [4].

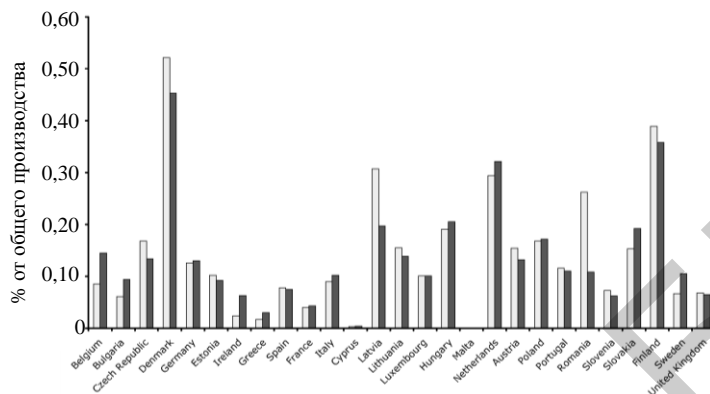


Рис. 3. Данные по теплофикационному производству электроэнергии в Европе:  
□ – 2005 г.; ■ – 2009 г.

Исходя из приведенных на рис. 3 данных, количество произведенной электрической энергии в режиме теплофикации (порядка 12 %) является средним показателем и не может сильно влиять на стоимость произведенной электрической энергии.

Наконец, рассмотрим влияние распределения потребления электрической энергии и потерь в электрических сетях. Указанные значения за 2009 г. приведены на рис. 4 [5].

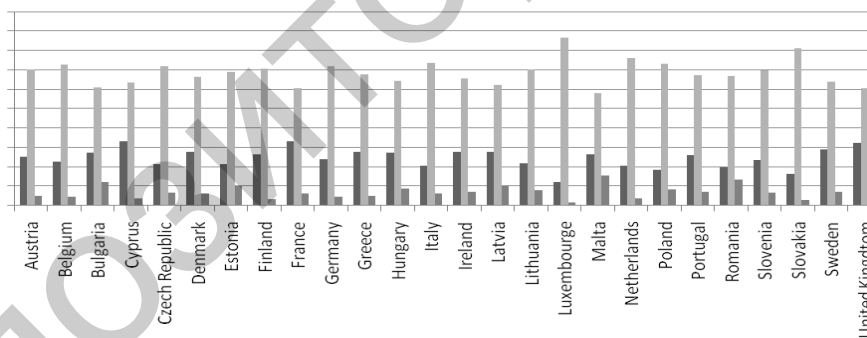


Рис. 4. Распределение по потребителям электрической энергии в странах Европейского союза в 2009 г.: ■ – бытовой сектор; □ – промышленно-коммерческий сектор; ▒ – потери

Как видно из рис. 4, уровень потерь в энергосистеме является одним из самых высоких в ЕС, а распределение по потреблению бытовым и промышленно-коммерческим секторами – среднее по ЕС.

Таким образом, можно сделать предварительный вывод, что в сложившихся условиях определяющее влияние в странах ЕС на стоимость электрической энергии для потребителей оказывает топливная составляющая себестоимости. Кроме того, применение горючих сланцев выгодно не толь-

ко с экономической, но и с технической точки зрения, так как КПД использования данного топлива может быть выше, чем природного газа [6, 7].

## ВЫВОДЫ

1. В Республике Беларусь существует серьезная возможность диверсификации поставок энергоносителей за счет собственного ресурса – горючих сланцев.

2. Использование горючих сланцев при производстве электрической энергии на примере Эстонии позволяет получать данный продукт с высокой экономической эффективностью.

3. Техническая и экономическая эффективность использования собственных горючих сланцев по методу аналогий может существенно превосходить эффективность использования импортируемого природного газа.

4. Требуется более детальное рассмотрение факторов, влияющих на стоимость электрической энергии в странах Европейского союза, а также возможной стоимости добычи собственного горючего сланца в условиях Республики Беларусь.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Горючий сланец [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.rocksup.ru/roehhokeo-kirov67>

2. Качественные показатели горючих сланцев и бурых углей Беларуси и направления их использования / И. И. Лиштван [и др.] // Природопользование: Сб. науч. трудов. – 2012. – № 22.

3. European Commission “Energy challenges and policy. Commission contribution to the European Council of 22 May 2013”.

4. European Environment Agency “Combined heat and power (CHP) – Assessment”, April 2012.

5. Международное энергетическое агентство (МЭА) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.iea.org>

6. К оценке эффективности использования органических топлив в цикле паросиловых установок / А. П. Несенчук [и др.] // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). – 2013. – № 1. – С. 56–60.

7. Эффективность использования топлива в идеальном цикле ГТУ с изобарным подводом теплоты / А. П. Несенчук [и др.] // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). – 2013. – № 2. – С. 43–48.

## REFERENCES

1. Kerogen Shale [Electronic Resource]. – Access Mode: <http://www.rocksup.ru/roehhokeo-kirov67>

2. Qualitative Indices of Kerogen Shales and Lignite Coals of Belarus and Directions of Their Usage / I. I. Lishtvan [et al.] // Scientific Collection “Prirodopol'zovaniye” [Nature Management]. – 2012. – No 22.

3. European Commission “Energy Challenges and Policy. Commission Contribution to the European Council of 22 May 2013”.

4. European Environment Agency “Combined heat and power (CHP) – Assessment”, April 2012.

5. International Energy Agency (IEA) [Electronic Resource]. – Access Mode: <http://www.iea.org>

6. To Estimation of Efficient Usage of Organic Fuel in the Cycle of Steam Power Installations / A. P. Nesenchuk [et al.] // Energetika [Power Engineering] (Proceedings of Higher Education Institutions). – 2013. – No 1. – P. 56–60.

7. Fuel Application Efficiency in Ideal Cycle of Gas Turbine Plant with Isobaric Heat Supply / A. P. Nesenchuk [et al.] // Energetika [Power Engineering] (Proceedings of Higher Education Institutions). – 2013. – No 2. – P. 43–48.

Представлена кафедрой ПТЭ и ТТ

Поступила 23.07.2013