

УДК 621.311

О.В. Маслеева, Н.И. Эрдили

## ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

Нижегородский государственный технический университет  
им. Р.Е. Алексеева

Приведены результаты экономического исследования энергетической составляющей жизненного цикла возобновляемых источников энергии – ветровых и солнечных энергоустановок, мини-гидроэлектростанций (ГЭС). Получены данные по материальной составляющей каждого этапа жизненного цикла, на основе этих данных выполнен расчет расхода электроэнергии по каждому этапу. С учетом тарифов на электроэнергию региона, где расположены предприятия, рассчитана стоимость электрической энергии на производство и утилизацию возобновляемых источников энергии. Расчеты показали, что наиболее экономичными являются мини-ГЭС, а наиболее затратными – солнечные энергоустановки.

**Ключевые слова:** возобновляемые источники энергии, оценка жизненного цикла, энергетическая составляющая.

### 1. Введение

Растущее отрицательное воздействие традиционной энергетики на окружающую среду, постоянный рост энергопотребления и энергетических полезных ископаемых актуализируют развитие экологически более чистых видов производства энергии. Для реализации «низкоуглеродных» сценариев развития экономики предлагается постепенный отказ от традиционных путей развития энергетики, реализация широкомасштабных мероприятий по энергосбережению и повышению энергетической эффективности и развитие возобновляемых источников энергии (ВИЭ) [1].

В настоящее время мощность возобновляемой электроэнергетики в России составляет порядка 0,2 % всей установленной мощности, а годовая выработка электроэнергии на этих электростанциях достигает 0,4 % от общей выработки электроэнергии в стране.

Известно, что ВИЭ практически не загрязняют природную среду в процессе эксплуатации, однако экологической информации о процессе их производства и утилизации очень мало. Поэтому для реализации энергетической политики необходимо изучить техническую, экономическую и экологическую составляющие ВИЭ.

Одним из методов экологической оценки загрязнения окружающей среды является метод «оценки жизненного цикла» (ОЖЦ) [2]. Оценка жизненного цикла включает в себя: рассмотрение всего жизненного цикла объекта, начиная от добычи полезных ископаемых, далее производство материалов, изготовление источников энергии, их применения и утилизации после окончания срока службы.

На рис. 1 показаны: добыча железной руды (1), выплавка стали (2), производство солнечной энергоустановки (3), процесс ее эксплуатации (4), утилизация – переплавка после окончания эксплуатации (5).

## II. Исходные данные для оценки жизненного цикла

Жизненный цикл представляет собой совокупность единичных процессов, связанных между собой материальными и энергетическими потоками.

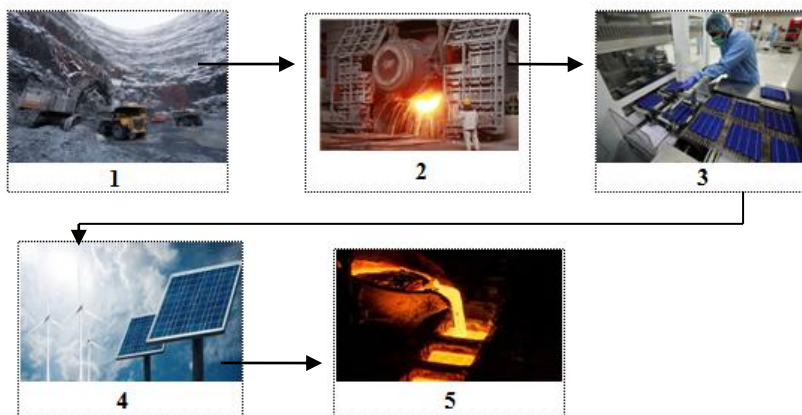


Рис. 1. Этапы жизненного цикла энергоустановок

Комплексная оценка включает в себя следующие составляющие:

- потребление природных ресурсов;
- потребление электроэнергии;
- уровень загрязнения окружающей среды.

Исходными данными для проведения ОЖЦ являются, во-первых, материальные и энергетические входные и выходные потоки по каждому этапу; во-вторых, виды и объемы загрязнений окружающей среды по каждому этапу.

В данной работе приведены результаты исследований энергетического потока жизненного цикла ВИЭ – ветровых (ВЭУ) и солнечных энергоустановок (СЭУ), мини-гидроэлектростанций (ГЭС). На рис. 2 показан единичный процесс производства мини-ГЭС. Входной поток показывает,

какие материальные и энергетические ресурсы необходимы для работы данного предприятия. К ним относятся поступающие материалы, воздух, вода, тепло-электроэнергия, земля. Выходным потоком является готовая продукция – мини-ГЭС. Процесс производства сопровождается загрязнением окружающей природной среды – выбросами вредных веществ в атмосферу, сточные воды и образующиеся отходы в почву. Кроме этого, происходит физическое загрязнение природы – воздействие шума, вибрации, различного вида излучений.

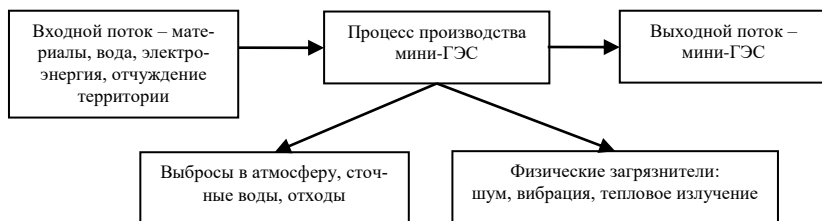


Рис. 2. Единичный процесс производства мини-ГЭС

Технические характеристики ветровых и солнечных ЭУ, мини-ГЭС представлены в табл. 1 [3-5].

Таблица 1.  
Технические характеристики ВИЭ

Вид ВИЭ	Марка ЭУ	Характеристики	Полная масса, кг
ВЭУ	«Муссон»	Мощность 30 кВт	3184
Мини-ГЭС	ИНСЭТ Пр 30	Мощность 30 кВт	2000
СЭУ	Saana 250 LM3 MBW	Мощность 0,25 кВт, 120 шт.	8536

Для определения массы материалов на каждом этапе жизненного цикла первоначально определили массу материалов, из которых состоят ВИЭ. Для сокращения объема анализируемой информации и исключения особенностей установок разных производителей рассматриваются материалы только основных элементов, масса которых составляет более 95 % от общей массы структурного элемента установки [6]. Данные были взяты их технической документации. Массы материалов указаны в табл. 2.

Таблица 2.  
Массы материалов, из которых состоят энергоустановки

Вид ВИЭ	Масса материалов энергоустановки, кг					
	Сталь	Медь	Алюминий	Стекло	Кремний	Пластмасса
ВЭУ	3056	38				100
СЭУ	6000		276	1920	340	
мини-ГЭС	1962	38				

Отходы образуются на каждом этапе жизненного цикла при добыче полезных ископаемых, в металлургии, машиностроении, нефтехимии и т.д. С учетом удельной массы образующихся отходов [7], была рассчитана масса материалов каждого этапа до необходимой массы природных ресурсов (табл. 3). Электроэнергия необходима на осуществления технологических процессов на всех этапах жизненного цикла. Исходя из ориентировочных норм удельного расхода электроэнергии для различных видов промышленности, которые были приняты в соответствии с [8], был рассчитан расход электроэнергии, который приведен в табл. 3.

### III. Расчет затрат на электроэнергию

Стоимость электроэнергии была определена с учетом тарифов регионов [9], в которых находятся места добычи природных ресурсов, металлургические и машиностроительные предприятия. Принято, что утилизация отходов будет проводиться в Нижегородской обл. Подробные результаты расчета затрат на электроэнергию по этапам жизненного цикла ВИЭ приведены в табл. 3. Суммарные результаты расчета затрат на электроэнергию приведены на рис. 3, 4.

Таблица 3.  
Результаты расчета расхода электроэнергии и затрат на электроэнергию по материалам и этапам жизненного цикла ВИЭ

Вид материала	Процесс	Масса, т	Расход электроэнергии, кВт*ч	Сумма, руб.
ВЭУ				
Сталь	Добыча	13,9	945	3478
	Металлургия	3,942	59	203
	Машиностроение	3,056	153	611
	Утилизация	3,056	458	1522

Продолжение табл. 3.

Вид материала	Процесс	Масса, т	Расход электроэнергии, кВт*ч	Сумма, руб.
Медь	Добыча	3,064	31	113
	Металлургия	0,049	20	73
	Машиностроение	0,038	2	8
	Утилизация	0,038	2	6
Пластмасса	Добыча	0,102	0,51	1
	Производство	0,10	38	102
	Машиностроение	0,10	5	18
СЭУ				
Сталь	Добыча	27,2	1850	6807
	Металлургия	7,74	116	398
	Машиностроение	6	300	1512
	Утилизация	6	900	2988
Алюминий	Добыча	7,121	142	527
	Металлургия	0,356	6408	23710
	Машиностроение	0,276	14	70
	Утилизация	0,276	28	92
Стекло	Добыча	4,992	24,96	89
	Производство	1,92	115,2	381
	Утилизация	1,92	115,2	382
Кремний	Добыча	0,874	4	4
	Производство	0,336	4049	4089
мини-ГЭС				
Сталь	Добыча	8,9	605	2227
	Металлургия	2,531	38	130
	Машиностроение	1,962	98	424
	Утилизация	1,962	294	977

Окончание табл. 3

Вид материала	Процесс	Масса, т	Расход электроэнергии, кВт*ч	Сумма, руб.
Медь	Добыча	3,064	31	113
	Металлургия	0,049	20	73
	Машиностроение	0,038	2	8
	Утилизация	0,038	2	6

Таблица 4.  
Результаты расчета расхода электроэнергии по этапам жизненного цикла ВИЭ

Вид ВИЭ	Расход электроэнергии, кВт*ч			
	Добыча	Производство	Утилизация	Всего
ВЭУ	976	276	460	1713
СЭУ	2021	11002	1043	14066
мини-ГЭС	636	158	296	1090

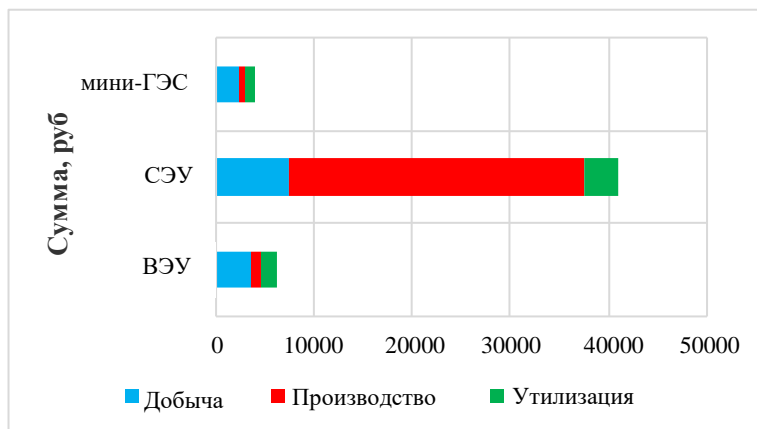


Рис. 3. Результаты расчета затрат на электроэнергию по этапам жизненного цикла ВИЭ

Стоимость оплаты электроэнергии складывалась с учетом каждого этапа жизненного цикла. Расход электроэнергии и, соответственно, ее оплата на порядок выше у СЭУ за счет использования алюминия для производства корпуса СЭУ, которое является самым энергоемким из производства всех металлов. Самым экономичным является жизненный цикл ВЭУ за счет меньшей массы установки.

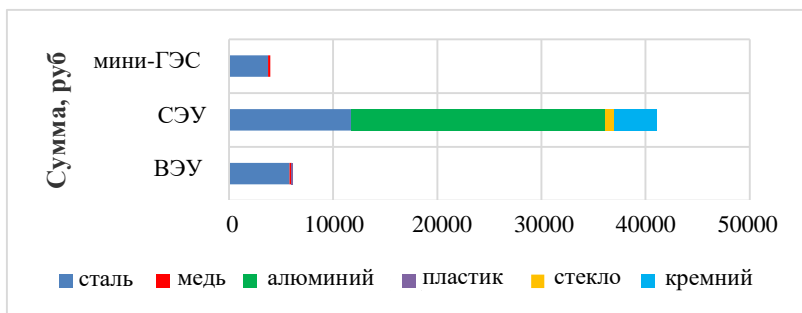


Рис. 4. Результаты расчета затрат на электроэнергию по материалам ВИЭ

Результаты расчета затрат на электроэнергию по материалам, используемым в производстве ВИЭ, показывают вклад каждого материала в жизненный цикл. Исходя из этого, можно определить наиболее энергозатратные материалы и наметить пути оптимизации. Наибольший расход электроэнергии требуется для производства алюминия, следующим идет производство кремния. Оба процесса имеют высокие удельные расходы на процесс производства.

#### IV. Выводы

По результатам проведенных исследований сделаны следующие выводы:

- расчет расхода и затрат на электроэнергию позволяет оценить наиболее энергоемкие составляющие жизненного цикла и также сравнивать различные источники энергии;
- к наиболее экономным по этим параметрам относятся мини-ГЭС, а наиболее затратными являются СЭУ;
- основная доля расхода электроэнергии у СЭУ приходится на этап производства за счет использования алюминия в конструкции корпуса СЭУ, процесс производства которого относится к наиболее энергоемким;
- анализ расхода электроэнергии позволяет наметить пути по снижению расхода электроэнергии в процессе жизненного цикла ВИЭ.

© Маслеева О.В., 2019

© Эрдили Н.И., 2019

### Библиографический список

- [1] Государственная программа РФ «Энергоэффективность и развитие энергетики», утверждена постановлением Правительства РФ от 15.04.2014 г. № 321. [Электронный ресурс]. URL: [http:// www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/70544238/](http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/70544238/) (дата обращения: 31.05.2019).
- [2] Соснина Е.Н., Маслеева О.В., Крюков Е.В. Сравнительная экологическая оценка установок нетрадиционной энергетики // Теплоэнергетика. 2015. № 8. С. 3-10.
- [3] Техническое описание ветрогенераторов семейства Муссон. [Электронный ресурс]. URL: [http://elvision.ru/catalog/visten/vgrt/vgmus/vgmus\\_59.html](http://elvision.ru/catalog/visten/vgrt/vgmus/vgmus_59.html) (дата обращения: 31.05.2019).
- [4] Гидроагрегат Пр30 с пропеллерной турбиной. [Электронный ресурс]. URL: [http://www.inset.ru/r\\_offers/Pr-30.htm](http://www.inset.ru/r_offers/Pr-30.htm) (дата обращения: 03.06.2019).
- [5] Монокристаллические модули Saana 245-260 LM3 MBW. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.multiwood.ru/pv/S245-260LM3MBW> (дата обращения: 04.06.2019).
- [6] Соснина Е.Н., Маслеева О.В., Пачурин Г.В., Крюков Е.В. Экологическая оценка процесса производства возобновляемых источников энергии // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 6. С.174-180.
- [7] Сборник удельных показателей образования отходов производства и потребления [Электронный ресурс]. URL: [http://www.recyclers.ru/uploads/library/specific\\_showing.pdf](http://www.recyclers.ru/uploads/library/specific_showing.pdf) (дата обращения: 23.05.2019).
- [8] Карапетян И.Г., Файбисович Д.Л., Шапиро И.М. Справочник по проектированию электрических сетей. 3-е изд. М.: НЦ ЭНАС, 2009. – 392 с.
- [9] Тарифы на электроэнергию по регионам России в 2018 году. [Электронный ресурс]. URL: [https://worknet-info.ru/read-blog/1142\\_таблица-тарифов-на-электроэнергию-по-регионам-россии-в-2018-году.html](https://worknet-info.ru/read-blog/1142_таблица-тарифов-на-электроэнергию-по-регионам-россии-в-2018-году.html) (дата обращения: 24.05.2019).

**O.V. Masleeva, N.I. Erdili**

## **ECONOMIC ANALYSIS OF ENERGY COMPONENT OF RENEWABLE ENERGY SOURCES LIFE CYCLE**

Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev  
Nizhny Novgorod, Russia

**Abstract.** The article presents the results of an economic study of the energy component of the life cycle of renewable energy sources – wind and solar power plants, mini-hydroelectric power stations. Data were obtained on the material component of each



stage of the life cycle, on the basis of which the calculation of the energy consumption for each stage was performed. Taking into account electricity tariffs in the region where the enterprises are located, the cost of electric energy for the production and utilization of renewable energy sources is calculated. Calculations have shown that mini-hydroelectric power plants are the most economical source of renewable energy, and solar power plants are more expensive.

**Keywords:** energy component, life cycle assessment, renewable energy sources.

### References

- [1] The state program of the Russian Federation «Energy Efficiency and Energy Development» was approved by the Decree of the Government of the Russian Federation, vol. 321, April 15, 2014. [Online]. Available at: URL: <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/70544238> [Accessed: May 31, 2019] (in Russian).
- [2] E.N. Sosnina, O.V. Masleeva and E.V. Kryukov, «Comparative environmental assessment of unconventional power installations», *Thermal Engineering*, vol. 62, no. 8, pp. 539-546, 2015.
- [3] Technical Description of the Monsoon Family Wind Generators [Online]. Available at: [http://elvision.ru/catalog/visten/vgrt/vgmus/vgmus\\_59.html](http://elvision.ru/catalog/visten/vgrt/vgmus/vgmus_59.html) [Accessed: May 31, 2019] (in Russian).
- [4] Pr30 hydraulic unit with propeller turbine [Online]. Available at: [http://www.inset.ru/r\\_offers/Pr-30.htm](http://www.inset.ru/r_offers/Pr-30.htm) [Accessed: June 3, 2019] (in Russian).
- [5] Monocrystalline modules Saana 245-260 LM3 MBW [Online]. Available at: <http://www.multiwood.ru/pv/S245-260LM3MBW> [Accessed: June 4, 2019] (in Russian).
- [6] E.N. Sosnina, O.V. Masleeva, G.V. Pachurin and E.V. Kryukov, «Environmental assessment of the production of renewable energy», *Modern Problems of Science and Education*, vol. 6, pp.174-180, 2013.
- [7] Collection of specific indicators of production and consumption waste generation/ [Online]. Available at: [http://www.recyclers.ru/uploads/library/specific\\_showing.pdf](http://www.recyclers.ru/uploads/library/specific_showing.pdf) [Accessed: May 23, 2019] (in Russian).
- [8] I.G. Karapetyan, D.L. Faybisovich and I.M. Shapiro, *Spravochnik po proyektirovaniyu elektricheskikh setey (Reference for the design of electrical networks)*, 3 ed. Moscow: NC ENAS, 2009 (in Russian).
- [9] Tariffs for electricity by region of Russia in 2018 [Online]. Available at: [https://worknet-info.ru/read-blog/1142\\_таблица-тарифов-на-электроэнергию-по-регионам-россии-в-2018-году.html](https://worknet-info.ru/read-blog/1142_таблица-тарифов-на-электроэнергию-по-регионам-россии-в-2018-году.html) [Accessed: May 24, 2019] (in Russian).