

УДК 621.311

О.В. Маслеева, Т.А. Агальцова, Н.И. Эрдили

**ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ И ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА  
ТРАДИЦИОННЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ И БИОЭНЕРГЕТИКИ**

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексева

Приводятся результаты экономического и экологического исследования жизненного цикла традиционных источников энергии мини-ТЭЦ с газопоршневыми и дизельными двигателями и возобновляемыми источниками в виде мини-ТЭЦ, использующих в виде топлива биогаз. Получены данные по валовым выбросам вредных веществ в атмосферу и объем сокращения отходов. Выполнен экономический анализ оценки жизненного цикла, рассчитана себестоимость электрической энергии, вырабатываемой источниками мини ТЭЦ. Рассчитанные затраты жизненного цикла можно использовать для технико-экономического обоснования проекта с целью рационального использования затрат при выборе источника электроэнергии.

*Ключевые слова:* традиционные источники энергии, биогаз, жизненный цикл, экономическая эффективность, экологическая эффективность.

Согласно энергетической стратегии России на период до 2030 года, необходимо максимально эффективно использовать природные энергетические ресурсы и потенциал энергетического сектора для устойчивого роста экономики, повышения качества жизни населения страны и содействия укреплению ее внешнеэкономических позиций. Одним из главных стратегических ориентиров долгосрочной государственной энергетической политики является экологическая безопасность энергетики. Основной целью государственной энергетической политики в сфере обеспечения экологической безопасности энергетики является последовательное ограничение нагрузки топливно-энергетического комплекса на окружающую среду и климат путем снижения выбросов (сбросов) загрязняющих веществ в окружающую среду, а также эмиссии парниковых газов, сокращения образования отходов производства и потребления [1].

Для реализации экологической безопасности функционирования энергетического сектора будут применяться следующие меры государственной энергетической политики: стимулирование внедрения экологически чистых энергоэффективных и ресурсосберегающих технологий; формирование стандартов, предусматривающих ужесточение контроля за соблюдением экологических требований и развитие системы экологического аудита. Также для реализации экологической политики предлагается расширение использования мини-ТЭЦ и возобновляемых источников энергии [2]. Мини-ТЭЦ представляют собой теплосиловые установки, служащие для совместного производства электрической и тепловой энергии в агрегатах единичной мощностью до 25 МВт, независимо от вида оборудования.

В настоящее время широкое применение в зарубежной и отечественной теплоэнергетике нашли следующие установки: газотурбинные установки, газопоршневые и дизельные агрегаты, с утилизацией тепловой энергии. Модуль мини-ТЭЦ включает двигатель, генератор электроэнергии, теплообменник для утилизации тепла от воды при охлаждении двигателя, масла и выхлопных газов [3].

Основными достоинствами мини-ТЭЦ являются:

- малые потери при транспортировке тепловой и электрической энергии;
- автономность функционирования;
- повышение надежности теплоснабжения;
- более низкая себестоимость тепловой и электрической энергии;
- экологическая безопасность.



**Рис. 1. Мини-ТЭЦ с газопоршневыми двигателями**

Целесообразность выбора двигателя для привода электрогенератора мини-ТЭЦ определяется целым рядом факторов, основными из которых являются технические, экономические и экологические. При этом при решении вопроса строительства мини-ТЭЦ в жилых районах экологический критерий может оказаться решающим. Для негазифицированных районов в качестве источника электроэнергии возможно применение мини-ТЭЦ с дизельными двигателями (при использовании дизельного топлива).

Альтернативой традиционной энергетике служат возобновляемые источники энергии, в частности биоэнергетика. Согласно статистическим данным, поголовье скота составляет 20 млн голов крупного рогатого скота, 20 млн голов свиней и 25 млн голов овец и коз, которые производят порядка 770 млн т отходов, которые могли бы послужить сырьем для получения биогаза в электроэнергетике. В настоящее время отходы приносят огромный ущерб из-за загрязнения почвы и водоемов.

Биотопливо может производиться из различных органических материалов [4]: навоз сельскохозяйственных животных, птичий помет, отходы пищевой промышленности, бытовые отходы, а также из специально выращенных культур (кукуруза). Биогазовая мини-ТЭЦ состоит из [5] установки для получения биогаза из навоза и непосредственно энергоустановки, где производится сжигание биогаза и получение тепло-электроэнергии (рис. 2).



**Рис. 2. Биогазовая мини-ТЭЦ**

Достоинствами производства биотоплива являются:

- биотопливо относится к возобновляемым природным ресурсам;
- при сжигании 1 м<sup>3</sup> биогаза можно получить 2,4 кВт·ч электроэнергии;

- при производстве биотоплива получают также биоудобрения (в России большая часть почв относится к низкоурожайным, и необходимо постоянное внесение удобрений);
- экономия затрат на очистных сооружениях;
- снижение уровня вредных выбросов и парниковых газов в атмосферу.

Целью исследования является экологическая и экономическая оценка жизненного цикла мини-ТЭЦ с газопоршневыми двигателями, работающими на природном газе и биогазе, и дизельными двигателями. Метод ОЖЦ помогает выявить возможности улучшения экологических показателей продукции на различных этапах жизненного цикла. Полный жизненный цикл включает в себя все последовательные этапы, начиная от добычи природных ресурсов, производства продукции, ее эксплуатация и утилизация после окончания срока службы [6].

В работе рассмотрены следующие этапы: проектные работы, доставка оборудования, установка и монтаж, эксплуатация и утилизация.

### Экологическая оценка

Пути вредного воздействия мини-ТЭЦ на окружающую природную среду следующие: продукты сгорания топлива и масла, шум и вибрация, тепловое загрязнение, отходы, отчуждение территории [7]. Для этапа эксплуатации всех мини-ТЭЦ после экологического анализа возможных видов воздействия на окружающую природную среду были выбраны для анализа следующие составляющие: выброс вредных веществ в атмосферный воздух и отчуждение территории для строительства станции.

В качестве источника энергии, использующего в виде топлива биогаз, рассматривались газопоршневые установки компании *Caterpillar*, специально предназначенные для сжигания биогаза [8, 9]. Технические характеристики газопоршневых установок *Caterpillar* приведены в табл. 1.

Таблица 1

Технические характеристики мини-ТЭЦ с газопоршневыми двигателями

Параметр	Вид ЭУ	
	БЭУ	ГПУ
Марка двигателя	Caterpillar G3406 (DM8660)	Caterpillar G3406 (DM5447)
Установка для получения биогаза	БИОЭН-1	-
Топливо	биогаз	природный газ
Электрическая мощность установки, кВт	103	125
Температура выхлопных газов, °С	578	593
Расход топлива: биогаза, нм <sup>3</sup> /ч	52,5	39
Температура выхлопных газов	578	593
Объем выхлопных газов, нм <sup>3</sup> /мин	7,1	7
Уровни токсичности выхлопных газов		
NOx при содержании O <sub>2</sub> 5%, мг/нм <sup>3</sup>	7613	3700
CO при содержании O <sub>2</sub> 5%, мг/нм <sup>3</sup>	1788	2000
HC (всего) при содержании O <sub>2</sub> 5%, мг/нм <sup>3</sup>	1022	722

На мини-ТЭЦ применяются газопоршневые установки фирмы *Caterpillar*, использующие в качестве топлива природный газ. Технические характеристики газопоршневых установок *Caterpillar* приведены в табл. 1. В паспортных данных [10] завод изготовитель указывает уровни токсичности выхлопных газов (оксидов азота, оксида углерода и углеводороды) при работе на номинальном режиме. В соответствии с техническими характеристиками газопоршневых установок *Caterpillar* были рассчитаны валовые выбросы вредных веществ (т/год). Результаты расчета валовых выбросов приведены в табл. 4.

В работе проведены исследования мини-ТЭЦ с дизельными двигателями Д266.4 Минского моторного завода, паспортные данные которых указаны в табл. 2. Согласно «Методике расчета выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от стационарных дизельных установок», был выполнен расчет валовых выбросов (т/год) для следующих вредных веществ, поступающих в атмосферу с отработавшими газами стационарных дизельных установок: оксида углерода ( $CO$ ), оксидов азота ( $NO_2$  и  $NO$ ), углеводородов ( $CH$ ), сажи ( $C$ ), диоксида серы ( $SO_2$ ). Выбросы загрязняющего вещества за год стационарных дизельных установок определялся исходя из нормативных величин удельных выбросов и расхода топлива. Результаты расчета приведены в табл. 3.

Таблица 2

## Паспортные данные дизельных двигателей

Модель установки – Минский моторный завод	Д266.4
Электрическая мощность установки, кВт	115
Расход топлива, кг/ч	27,3

Таблица 3

## Результаты расчета валовых выбросов загрязняющих веществ энергоустановок

мини-ТЭЦ	Валовые выбросы загрязняющих веществ, т/год					
	$CO$	$NO_2$	$NO$	$CH$	$C$	$SO_2$
Биотопливо	2,956	10,069	1,636	1,690	—	—
Газ	3,260	4,825	0,784	1,177	—	—
Дизель	6,220	9,570	2,870	0,480	1,200	0,120

Исходя из валовых выбросов вредных веществ на мини-ТЭЦ и тарифов платы за загрязнение атмосферного воздуха, были рассчитаны экологические платежи за год (табл. 4).

Таблица 4

## Тарифы и плата за выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух для предприятий

№ п.п.	Виды загрязняющих веществ	Ставки платы, руб./т в 2018 г.	Плата, руб./год		
			биотопливо	газ	дизель
1.	Азота диоксид	138,8	1398	670	1328
2.	Азота оксид	93,5	153	73	268
3.	$CH$ углеводороды	10,8	18,3	12,7	5,2
4.	$CO$	1,6	4,7	5,2	10,0
5.	Сажа	93,5	—	—	112
6.	$SO_2$	45,4	—	—	5,4
Всего		—	1574	761	1729

Мини-ТЭЦ, использующие биогаз в виде топлива, позволяют сократить количество образующихся органических отходов. Исходными данными для расчета образования отходов (табл. 5) являются поголовье животных и суточное выделение экскрементов от крупного рогатого скота. При получении биогаза из отходов животноводства сократится плата за размещение отходов (табл. 6).

Таблица 5

## Образование отходов на животноводческой ферме

Параметр	Величина
Поголовье животных, голов	700
Суточное выделение экскрементов от одного животного, кг/сутки	35
Выделение экскрементов от всех животных, т/год	8520

Таблица 6

## Тарифы и плата за размещение отходов

Выделение экскрементов от всех животных, т/год	Нормативы платы за размещение отходов V класса опасности, руб./т	Плата, руб./год
8520	17,3	147396

## Экономический анализ

Целью экономического анализа является оценка жизненного цикла мини-ТЭЦ с газопоршневыми двигателями, работающими на природном газе и биогазе, и дизельными двигателями, включающая следующие этапы: проектные работы, доставка оборудования, установка и монтаж, эксплуатация и утилизация.

Газопоршневая мини-ТЭЦ получает природный газ от центральной сети по соответствующим тарифам. Мини-ТЭЦ с биогазом включает биогазовая установка БИОЭН-1 ООО «ГРИНТЕК», Москва, Нижний Новгород, емкостью 400 м<sup>3</sup> [4]. Стоимость ГПУ (газопоршневая установка) принята на основании [2]. Биоэнергетическая установка (БЭУ) предназначена для переработки навоза крупного рогатого скота и производства высокоэффективного органического удобрения, а также получения биогаза для производства тепловой и электрической энергии.

Суммарные капитальные вложения в биогазовую мини-ТЭЦ:

$$K = K_{\text{ОБ}} + K_{\text{ПР}} + K_{\text{СМ}} + K_{\text{ПН}} + K_{\text{ВН}}, \quad (1)$$

где  $K_{\text{ОБ}}$  – затраты на оборудование мини-ТЭЦ, руб.;

$K_{\text{ПР}}$  – стоимость проектных работ, которые составляют 5% от стоимости строительно-монтажных работ, руб.;

$K_{\text{СМ}}$  – стоимость строительно-монтажных работ, равны 15% от стоимости оборудования, руб.;

$K_{\text{ПН}}$  – стоимость пуско-наладочных работ, равны 3% от стоимости оборудования, руб.;

$K_{\text{ВН}}$  – стоимость присоединения к электрической сети и определяется по формуле:

$$K_{\text{ВН}} = k_{\text{ПРИС}} N_{\text{Э}}, \quad (2)$$

где  $N_{\text{Э}}$  – электрическая мощность мини-ТЭЦ, кВт;

$k_{\text{ПРИС}}$  – удельная плата за присоединение, руб./кВт.

Затраты по доставки включены в стоимость оборудования.

Стоимость строительно-монтажных работ составят 2 178 000 руб., следовательно, стоимость проектных работ будут 108 900 руб.

Стоимость пуско-наладочных работ – 435 600 руб.

Стоимость присоединения к электрической сети:

$$K_{\text{ВН}} = 550 \cdot 103 = 56 650 \text{ руб.}$$

Капитальные вложения:

$$K = 14 520 000 + 2 178 000 + 108 900 + 435 600 + 56 650 = 17 299 150 \text{ руб.}$$

Ежегодные затраты на эксплуатацию биогазовой установки:

- амортизация установки;
- заработная плата работника, обслуживающего установку;
- отчисления на социальные нужды.

Амортизационные отчисления учитывают возмещение основных фондов в процессе износа оборудования и определяются по формуле [17]

$$A_{\Gamma} = \frac{K \times H_{\text{а}}}{100 \%}, \quad (3)$$

где  $H_{\text{а}}$  – норма амортизации, %.

Норма амортизации может быть выражена формулой [17]:

$$N_a = \frac{1}{T} \times 100\%, \quad (4)$$

где  $T$  – срок службы установки, лет.

Нормативный срок службы установки составляет 12 лет, тогда норма амортизации:

$$N_a = (1 / 12) \times 100\% = 8,3\%.$$

Амортизационные отчисления:

$$A_{\Gamma} = \frac{17299150 \times 8,3\%}{100\%} = 1\,435\,830 \text{ руб.}$$

Заработная плата за месяц обслуживающего персонала составляет 25 000 руб., страховые взносы, которые составляют 30% от заработной платы будут 7 500 руб.

Ежегодные затраты на эксплуатацию биогазовой установки будут равны:

$$Z_{\text{Э}} = 1\,435\,830 + 12 \times 25\,000 + 12 \times 7\,500 = 1\,825\,830 \text{ руб.}$$

Годовые затраты, относимые на производство электроэнергии:

$$I_{\text{Э}} = \gamma_{\text{Э}} Z_{\text{Э}}, \text{ руб./год}, \quad (5)$$

где  $\gamma_{\text{Э}}$  – удельные затраты на топливо, руб./кВт·ч.

$$I_{\text{Э}} = 0,69 \times 1\,825\,830 = 1\,259\,823 \text{ руб.}$$

Себестоимость электрической энергии, вырабатываемой на биогазовой мини-ТЭЦ:

$$S_{\text{Э}} = \frac{I_{\text{Э}}}{W_{\text{год}}} \text{ руб./кВт·ч}, \quad (6)$$

где  $W_{\text{год}}$  – годовая выработка электроэнергии, кВт·ч.

$$S_{\text{Э}} = \frac{1\,259\,823}{902\,280} = 1,39 \text{ руб./кВт·ч.}$$

Для определения себестоимости электроэнергии от дизельной мини-ТЭЦ необходимо определить капитальные вложения по формуле:

$$K = K_{\text{ДУ}} + K_{\text{Д}} + K_{\text{М}} + K_{\text{ПН}} + K_{\text{З}} + K_{\text{ПР}}, \quad (7)$$

где  $K_{\text{ДУ}}$  – цена дизельной установки, руб.;

$K_{\text{Д}}$  – стоимость доставки, руб.;

$K_{\text{М}}$  – затраты на монтаж, руб.;

$K_{\text{ПН}}$  – затраты на пусконаладочные работы, руб.;

$K_{\text{З}}$  – стоимость заземления, руб.;

$K_{\text{ПР}}$  – прочие единовременные затраты, руб. [11].

Цена дизельной электростанции составляет 2 000 000 руб.

Выполнение проектных работ составляет 3% от цены установки, или 60 000 руб.

Стоимость доставки включены в цену дизельной установки.

Стоимость монтажных работ составляет 55 000 руб.

Пуско-наладочные работы. На этом этапе вся система проверяется на надежность и работоспособность, имитируются условия аварийного отключения от основной сети, производится окончательная наладка всех систем и составляет 81 000 руб.

Стоимость заземления – 16 000 руб.

Капитальные вложения составят:

$$K = 2\,000\,000 + 60\,000 + 55\,000 + 81\,000 + 16\,000 = 2\,212\,000 \text{ руб.}$$

Себестоимость 1 кВт·ч электроэнергии от ДЭС определяем по формуле:

$$S_{1 \text{ кВт} \cdot \text{ч}} = \frac{A_{\Gamma} + TP + Z_{\text{обсл}} + Z_{\text{ГСМ}}}{W_{\text{год}}}, \quad (8)$$

где  $A_{\Gamma}$  – амортизационные отчисления, руб./год;

$TP$  – расходы на текущий ремонт, руб./год;

$Z_{\text{обсл}}$  – расходы на обслуживание ДЭС, руб./год;

$Z_{\text{ГСМ}}$  – расходы на горюче-смазочные материалы, руб./год;

$W_{\text{год}}$  – годовая выработка электроэнергии, кВт·ч [11].

Нормативный срок службы установки составляет 12 лет, тогда норма амортизации по формуле (4):

$$N_a = (1 / 12) \times 100\% = 8,3\%.$$

Амортизационные отчисления определим, используя формулу (3)

$$A_{\Gamma} = \frac{2\,212\,000 \times 8,3\%}{100\%} = 183\,596 \text{ руб.}$$

Расходы на текущий ремонт определяются по формуле [11]

$$TR = K \times n_{\text{ТР}}, \quad (9)$$

где  $n_{\text{ТР}}$  – норма отчислений на текущий ремонт, которую принимаем в размере 30% от нормы амортизации и составит 2,5%.

$$TR = 2\,212\,000 \times 2,5\% = 55\,300 \text{ руб.}$$

Расходы на обслуживание ДЭС включают в себя заработную плату обслуживающему персоналу и стоимость обслуживающих работ, и определяются по формуле [11]:

$$Z_{\text{обсл}} = Z\Pi + K \times K_{\text{обсл}}, \quad (10)$$

где  $Z\Pi$  – затраты на оплату труда, руб.;

$K_{\text{обсл}}$  – коэффициент, учитывающий отчисления на обслуживание дизельной установки, который равен 0,012.

Затраты на оплату труда определяются по формуле [12]:

$$Z\Pi = TC \times F \times K_d \times CB, \quad (11)$$

где  $TC$  – тарифная ставка электромонтера обслуживающего дизельную установку, примем 350 руб./ч;

$F$  – фонд рабочего времени необходимого на обслуживание дизельной установки, примем 245 ч/год;

$K_d$  – коэффициент, учитывающий дополнительную оплату труда, равен 7,76%;

$CB$  – коэффициент, учитывающий отчисления на социальные нужды, равный 30%.

$$Z\Pi = 350 \times 245 \times 1,0776 \times 1,3 = 111\,475 \text{ руб.}$$

Следовательно, расходы на обслуживание дизельной установки составят:

$$Z_{\text{обсл}} = 111\,475 + 2\,212\,000 \times 0,012 = 138\,019 \text{ руб.}$$

Расходы на горюче-смазочные материалы определяются по формуле [11]:

$$Z_{\text{ГСМ}} = W_{\text{год}} \times q_{\text{ГСМ}} \times C_{\text{ГСМ}}, \quad (12)$$

где  $q_{\text{ГСМ}}$  – удельный расход топлива на 1кВт·ч выработанной электроэнергии, равен 237 г;

$C_{\text{ГСМ}}$  – стоимость одного литра топлива, равен 45 руб.

$$Z_{\text{ГСМ}} = 500 \times 237 \times 45 = 5\,332\,530 \text{ руб.}$$

Таким образом, себестоимость 1 кВт·ч электроэнергии от ДЭС составит:

$$S_{1\text{кВт} \cdot \text{ч}} = \frac{183\,596 + 55\,300 + 138\,019 + 5\,332\,530}{1007400} = 5,67 \text{ руб.}$$

Газопоршневая мини-ТЭЦ с газопоршневым двигателем работающим на газу. Для определения итоговой себестоимости вырабатываемой электроэнергии используется методика с включением основных групп затрат.

Цена установки составляет 5 000 000 руб. Выполнение проектных работ составляет 3% от цены установки, которые в сумме 150 000 руб. Стоимость доставки включены в цену установки. Стоимость монтажных и пуско-наладочных работ составляет 20% от цены – 1 000 000 руб.

Капитальные вложения составят:

$$K = 5\,000\,000 + 150\,000 + 1\,000\,000 = 6\,150\,000 \text{ руб.}$$

Расход газа для рассматриваемой электростанции *Caterpillar G3406* мощностью 125 кВт составляет 278,01 м<sup>3</sup>/час. Таким образом, затраты определяются по формуле:

Расход топлива заданной калорийности  $\times$  стоимость газа за  $1000 \text{ нм}^3 / 1000 \text{ нм}^3 /$   
 мощность =  $278,01 \times 3800 / 1000 / 125 = 8,45$  руб. на 1 кВт·ч.

В газопоршневой электростанции мощностью 125 кВт замену масла нужно проводить каждые 1250 моточасов. Объем масла на замену составляет 232 литра. Затраты на замену масла определяются по формуле:

$$\text{Объем меняемого масла} \times \text{стоимость одного литра} / \text{регулярность замены} / \text{мощность} = \\ = 232 \times 230 / 1250 / 125 = 0,34 \text{ руб. на 1 кВт}\cdot\text{ч.}$$

На газопоршневой электростанции существует необходимость пополнения масла, потраченного на угар в камере сгорания. Расчетное количество масла на угар составляет 0,2 грамма на каждый выработанный кВт·ч. Затраты на угар масла рассчитывается по формуле:

$$\text{Объем масла на угар} \times \text{стоимость одного литра} / 1000 \text{ грамм в одном литре} = \\ = 0,2 \times 230 / 1000 = 0,046 \text{ руб. на 1 кВт}\cdot\text{ч.}$$

Для электростанции мощностью 125 кВт стоимость всех запасных частей, необходимых на весь жизненный цикл, включая капитальный ремонт, составляет 1 410 000 руб. Стоимость запасных частей, относимая на себестоимость кВт·ч определяется по формуле:

$$\text{Стоимость запасных частей} / \text{ресурс до капитального ремонта, часов} / \text{мощность} = \\ = 1\,410\,000 / 64000 / 125 = 0,17 \text{ руб. на 1 кВт}\cdot\text{ч.}$$

Суммарные затраты на сервисное обслуживание, включая капитальный ремонт, составляют сумму в размере 980 000 руб. Сервисная составляющая в себестоимости электроэнергии будет определяться по формуле:

$$\text{Сумма затрат включая капитальный ремонт} / \text{срок до капитального ремонта} / \text{мощность} = \\ = 980\,000 / 64000 / 125 = 0,12 \text{ руб. на 1 кВт}\cdot\text{ч.}$$

Включение затрат на амортизационные отчисления подразумевает, что в процессе эксплуатации электростанций амортизируются средства, которые могут быть потрачены на полное обновление энергоблока после выработки его ресурса (3 капитальных ремонта, 240 000 моточасов).

Затраты определяются по формуле:

$$\text{Стоимость установки} / \text{полный ресурс} / \text{мощность} = \\ = 6\,150\,000 / 240000 / 125 = 0,20 \text{ руб. на 1 кВт}\cdot\text{ч.}$$

Таким образом, себестоимости вырабатываемой электроэнергии будет равна:

$$8,45 + 0,34 + 0,046 + 0,17 + 0,12 + 0,20 = 9,32 \text{ руб. на 1 кВт}\cdot\text{ч.}$$

При расчете расходной части по вариантам учтены плата за загрязнение атмосферного воздуха и почвы жидкими фракциями экскрементов. При расчете доходной части учитывалось, что будет продажа удобрений; ликвидация штрафов за загрязнение почвы жидкими фракциями экскрементов за счет их утилизации. После вывода из эксплуатации мини-ТЭЦ энергоустановки ее можно сдать в металлолом. Денежные средства, полученные за утилизацию материалов, из которых состоят электростанции, приведены в табл. 7. Средства, полученные за утилизацию электрооборудования, не суммировали с затратами жизненного цикла, поскольку эта сумма будет получена через 12 лет.

Таблица 7

Денежные средства, полученные за утилизацию материалов ЭУ

Материал	Масса, кг			Цена руб./кг	Получено за продажу, руб.		
	биогаз	газопоршневая	дизель		биогаз	газопоршневая	дизель
Сталь	13416	1514	1383	10	134160	15140	13830
Чугун	2856	2856	2608	10	28560	28560	26080
Медь	150	150	137	310	46500	46500	42470
Алюминий	408	408	373	72	29376	29376	26856
Всего, руб.	—	—	—	—	238596	119576	109236



Общие экономические показатели и себестоимость 1 кВт·ч электроэнергии приведены в табл. 8. Экономические составляющие жизненного цикла работы мини-ТЭЦ с различными двигателями показаны на рис. 3

Таблица 8

## Экономические показатели работы возобновляемых источников энергии

Показатели	Рубли		
	ДЭС	БЭУ	ГПУ
Полные затраты всего	7 921 445	19 124 980	8 540 000
Капитальные затраты, в том числе:	2 212 000	17 299 150	6 150 000
- проектные работы	60 000	108 900	150 000
- стоимость оборудования	2 000 000	14 520 000	5 000 000
- затраты на установку и монтаж	152 000	2 670 256	1 000 000
Эксплуатационные расходы	5 709 445	1 825 830	2 390 000
Себестоимость 1 кВт·ч электроэнергии	5,67	1,39	9,32
Утилизация ЭУ	238596	119576	109236

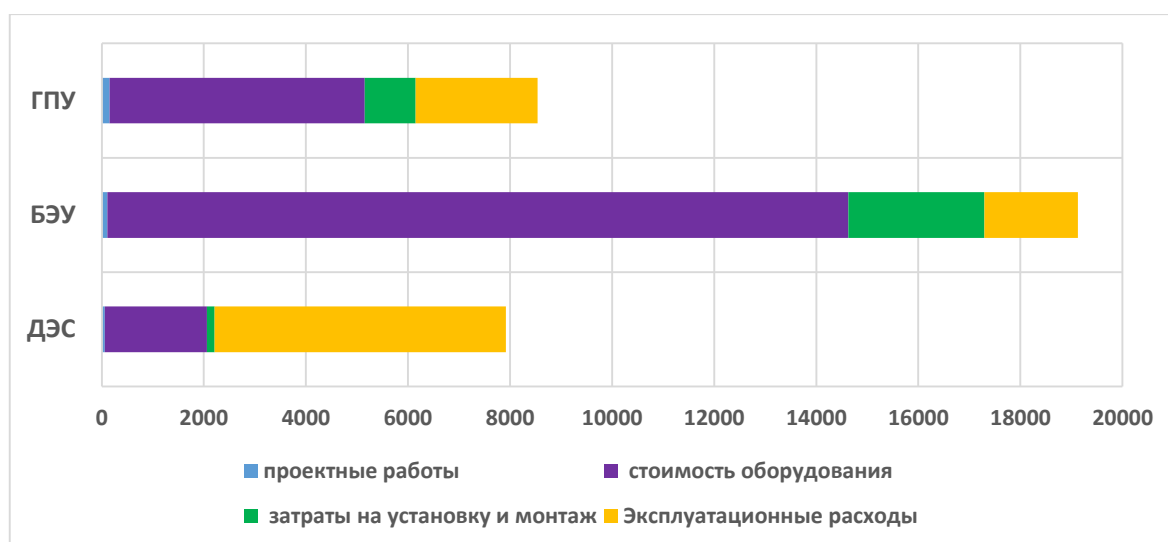


Рис. 3. Экономические составляющие жизненного цикла работы мини-ТЭЦ

## Выводы:

- основным путем экологического воздействия всех мини-ТЭЦ, сжигающих органические природное и возобновляемое топливо, является загрязнение атмосферного воздуха;
- состав и объем выбросов определяется видом двигателя и сжигаемым топливом;
- экономическая оценка жизненного цикла мини ТЭЦ с газопоршневыми двигателями, работающими на природном газе и биогазе, и дизельными двигателями, позволяет определить распределение затрат на всех этапах, включая проектные работы, доставку оборудования, установку и монтаж, эксплуатацию и утилизацию;
- основной вклад в полные затраты вносят стоимость оборудования и эксплуатационные затраты;
- себестоимость 1 кВт·ч электроэнергии при использовании биогазовой мини-ТЭЦ является самой низкой и составляет 1,39 руб. за счет отсутствия платы за топливо;
- себестоимость 1 кВт·ч электроэнергии у дизельной мини-ТЭЦ составляет 5,41 руб., что ниже, чем у газопоршневой мини-ТЭЦ 9,28 руб. за счет более низкой стоимости оборудования дизельной мини-ТЭЦ;

- рассчитанные затраты жизненного цикла возможно использовать для технико-экономического обоснования проекта с целью рационального использования затрат при выборе источника электроэнергии.

### Библиографический список

1. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 13 ноября 2009 г. № 1715-р «Об утверждении Энергетической стратегии России на период до 2030 года». – URL: <http://docs.cntd.ru/document/902187046> (дата обращения: 30.11.2018).
2. **Соснина, Е.Н.** Экологические проблемы возобновляемых источников энергии: монография / Е.Н. Соснина, О.В. Маслеева, Г.В. Пачурин, А.Ю. Кечкин, Н.Н. Головкин. – Н. Новгород: НГТУ, 2014. – 164 с.
3. **Соснина, Е.Н.** Экологическое воздействие мини-ТЭЦ с газопоршневыми и дизельными двигателями на окружающую среду / Е.Н. Соснина, О.В. Маслеева, Г.В. Пачурин, Д.А. Филатов // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 6. – С. 76-80.
4. **Мариненко, Е.Е.** Основы получения и использования биотоплива для решения вопросов энергосбережения и охраны окружающей среды в жилищно-коммунальном и сельском хозяйстве: учебное пособие / Е.Е. Мариненко. – Волгоград: ВолгГАСА, 2003. – 100 с.
5. **Никулин, Н.Ю.** Современные биогазовые технологии – перспективный метод решения экологических проблем агропромышленного комплекса / Н.Ю. Никулин // Главный агроном. – 2012. – № 9. – С. 67-69.
6. **Пачурин, Г.В.** Жизненный цикл альтернативных и традиционных источников энергии: монография / Г.В. Пачурин, О.В. Маслеева, Е.Н.Соснина. – LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, Germany, 2017. – 157 с.
7. **Пачурин, Г.В.** Экологическая оценка возобновляемых источников энергии: учебное пособие / Г.В. Пачурин, Е.Н. Соснина, О.В. Маслеева, Е.В. Крюков. – СПб.: Лань, 2017. – 236 с.
8. **Маслеева, О.В.** Оценка уровня загрязнения атмосферного воздуха при сжигании биогаза на когенерационных установках / О.В. Маслеева, Г.В. Пачурин, Е.Н. Соснина, А.В. Шалухо // Экология и промышленность России. – 2012. – № 12. – С. 48-50.
9. **Соснина, Е.Н.** Сравнительная экологическая оценка установок нетрадиционной энергетики / Е.Н. Соснина, О.В. Маслеева, Е.В. Крюков // Теплоэнергетика. – 2015. – № 8. – С. 3-10.
10. Каталог оборудования / Газопоршневые электростанции. – URL: <http://www.cogeneration.ru/equipment> (дата обращения: 19.12.2013).
11. **Бастрон, А.В.** Практикум по дисциплине «Гидроветроэнергетические установки». / А.В. Бастрон. – URL: [http://www.kgau.ru/fpk/bastron\\_energo/praktikum/index.html](http://www.kgau.ru/fpk/bastron_energo/praktikum/index.html) (дата обращения: 13.10.2018).
12. **Аленкова, И.В.** Экономика инновационно-ориентированного предприятия: учебное пособие / И.В. Аленкова, Т.А. Агальцова. – М.: КноРус, 2016. – 263 с.

*Дата поступления  
в редакцию: 24.09.2018*

O.V. Masleeva, T.A. Agaltsova, N.I. Erdili

## ECOLOGICAL AND ECONOMIC ASSESSMENT OF THE LIFE CYCLE OF TRADITIONAL ENERGY SOURCES AND BIOENERGY

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

**Purpose:** The article deals with the environmental safety of the use of mini-heat electric central (mini-HEC) to traditional fuels: natural gas and diesel fuel, and mini-HEC with renewable fuel: biogas. And economic feasibility their use is considered.

**Design/methodology/approach:** The authors have developed a methodology for the economic calculation of life cycle assessment of mini-HEC with gas and gas engines running on natural gas and biogas and diesel engines, which includes the following steps: design work, equipment delivery, installation and assembly, operation and disposal.

**Findings:** The main contribution to the total life cycle costs is the cost of equipment and operating costs. The lowest cost of electricity production is when using a biogas mini- HEC. It amounts to 1.39 ruble due to the absence of payment for fuel. The cost of electricity from a diesel mini- HEC is 5.41 ruble, which is lower than that of a gas-piston mini- HEC of 9.28 ruble. This is due to the higher cost of gas piston engine equipment.

**Research limitations/implications:** This study was conducted for a mini-HEC running on natural gas, diesel and biogas with a capacity of 100 kW.

**Originality/value:** The study first conducted a study of the ecological and economic comparison of traditional energy sources and bioenergy. Can be used to determine the cost-effectiveness of similar mini-HEC.

*Key words:* traditional energy sources, biogas, life cycle, economic efficiency, environmental efficiency.