

УДК 502.3: 621.311.23

ЭМИССИЯ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ ПРИ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОЦЕНКЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

Маслеева О.В., Пачурин Г.В., Крюков Е.В.

*ФГБОУ ВПО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева»,
Нижний Новгород, e-mail: pachuringv@mail.ru*

Снижение углеродоёмкости экономики России, создание условий для перехода на низкоуглеродный или энергоэффективный путь развития отраслей приведет к сокращению объема выбросов парниковых газов. Одним из вариантов решения этой проблемы является применение возобновимых источников энергии, у которых отсутствует эмиссия парниковых газов в процессе эксплуатации. Метод «оценки жизненного цикла» позволяет провести комплексную экологическую оценку, в том числе выбросы парниковых газов. Были выполнены исследования выбросов парниковых газов в процессе жизненного цикла возобновляемых энергоустановок – ветровой, солнечной, мини-ГЭС, биогазовой, на твердооксидных топливных элементах и, для сравнения, традиционной газопоршневой энергоустановки. Выявлено, что основной вклад в выбросы парниковых газов вносит процесс сжигания топлива на газопоршневых энергоустановках, который в 800 раз выше, чем при производстве энергоустановок. Минимальные удельные выбросы парниковых газов имеют мини-ГЭС. Поэтому применение нетрадиционных источников энергии позволит уменьшить объем парниковых газов.

Ключевые слова: энергоэффективность, углеродоёмкость экономики, возобновляемые источники энергии, парниковые газы, экологическая оценка, жизненный цикл, газопоршневая энергоустановка, нетрадиционные источники энергии

GREENHOUSE GAS EMISSIONS IN THE ENVIRONMENTAL ASSESSMENT OF RENEWABLE ENERGY SOURCES

Masleeva O.V., Pachurin G.V., Kryukov E.V.

*Nizhny Novgorod State Technical University R.E. Alekseev,
Nizhny Novgorod, e-mail: pachuringv@mail.ru*

Reduced ugleledoemkosti the Russian economy, the creation of conditions for the transition to low-carbon or energy-efficient way of development of industries will reduce greenhouse gas emissions. One solution to this problem is the use of renewable energy sources, which do not have emission of greenhouse gases during operation. The method of «life cycle assessment» allows you to carry out a comprehensive environmental assessment, including greenhouse gas emissions. Studies were performed in greenhouse gas emissions during the life cycle of renewable power plants – wind, solar, mini-hydro, biogas, on solid oxide fuel cells and, for comparison, conventional gas piston power plant. It was revealed that the main contribution to greenhouse gas emissions makes the process of combustion in the gas turbine power plants, which is 800 times higher than in the production of power plants. Minimum specific emissions of greenhouse gases have a mini-hydro. Therefore, the use of alternative energy sources will reduce the amount of greenhouse gases.

Keywords: energy efficiency, carbon intensity of the economy, renewable energy, greenhouse gases, environmental assessment, life cycle, gas-piston power plant, alternative energy sources

В апреле 2015 г. Председатель Правительства РФ Дмитрий Медведев утвердил Концепцию формирования системы мониторинга, отчетности и проверки объема выбросов парниковых газов в РФ [2]. Данное распоряжение направлено на снижение углеродоёмкости российской экономики, в том числе на создание условий для перехода на низкоуглеродный (энергоэффективный) путь развития отраслей национальной экономики на период до 2020 года и с перспективой до 2030 года.

В целях реализации мероприятий по обеспечению к 2020 г. сокращения объема выбросов парниковых газов до уровня не более 75% объема указанных выбросов в 1990 г. распоряжением Минприроды от 16.04.2015 № 15-р введены «Методические рекомендации по проведению доброволь-

ной инвентаризации ПГ объема выбросов парниковых газов в субъектах Российской Федерации» [5]. Методические рекомендации включают оценки выбросов парниковых газов для секторов «Энергетика», «Промышленные процессы и использование продукции», «Сельское хозяйство» и «Отходы».

Одним из путей снижения эмиссии парниковых газов является более широкое применение альтернативных источников энергии, таких как ветровые, солнечные энергоустановки, мини-ГЭС [4, 9].

Для сравнения альтернативных и традиционных источников энергии по воздействию на окружающую среду возможно применение метода оценки жизненного цикла (ОЖЦ). ОЖЦ распространяется на экологические аспекты и потенциальные

воздействия на окружающую среду на всех этапах жизненного цикла продукции от добычи сырья, производства и использования до переработки по окончании срока службы, повторного использования и заключительной утилизации [3, 8, 10].

Схема жизненного цикла представлена на рис. 1.

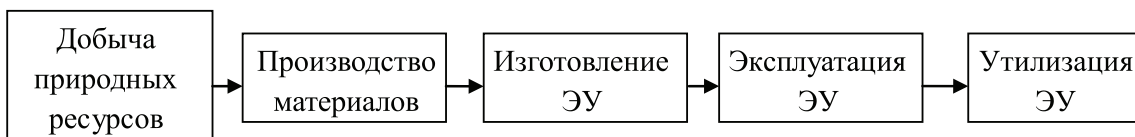


Рис. 1. Схема жизненного цикла ЭУ

Входные данные могут включать в себя данные об использовании минеральных ресурсов и поставке энергии.

Категории воздействия на окружающую среду при ОЖЦ могут быть следующие: химическое загрязнение атмосферы, гидросферы и литосферы, физическое загрязнение.

Комплексная экологическая оценка жизненного цикла включает в себя рассмотрение потребления природных ресурсов, потребления электроэнергии и уровень загрязнения окружающей среды. Одной из составляющих оценки загрязнения окружающей природной среды является эмиссия парниковых газов на всех этапах жизненного цикла возобновляемых источников энергии. При оценке учитывается эмиссия парниковых газов: углекислого газа (CO_2), оксидов азота (NO_x), метана (CH_4), фторидов (CF_4 , C_2F_6) [1]. Расчет эмиссии парниковых газов был выполнен в соответствии с методикой [5]. Для расчета эмиссии парниковых газов, образующихся при сжигании топлива для энергетических целей, используется сектор «Энергетика». При расчете учтены следующие парниковые газы: углекислый газ, закись азота и метан.

Выбросы двуокиси углерода при стационарном сжигании топлива являются результатом высвобождения углерода из топлива в ходе его сгорания и зависят от содержания углерода в топливе. Расчет эмиссии CO_2 для каждого вида топлива производится по формуле

$$E = M \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot 44/12, \quad (1)$$

где E – годовой выброс CO_2 (т/год); M – фактическое потребление топлива за год (т/год); K_1 – теплотворное значение топлива, для природного газа $K_1 = 0,03371 \cdot 10^{12}$ Дж/т, для биогаза $K_1 = 0,022 \cdot 10^{12}$ Дж/т; K_2 – коэффициент эмиссии углерода, для природного газа и биогаза $K_2 = 14,96$ т/ 10^{12} Дж; K_3 – коэффициент окисления углерода в топливе (для учета неполного сгорания топлива),

для природного газа и биогаза $K_3 = 0,995$; $44/12$ – коэффициент пересчета углерода в углекислый газ.

Расчет эмиссии метана и закиси азота для каждого вида топлива производится по формуле

$$E_i = M \cdot K_1 \cdot K_4, \quad (2)$$

где E_i – годовой выброс парникового газа (т/год); M – фактическое потребление топлива за год (т/год); K_1 – теплотворное значение топлива (Дж/т); K_4 – коэффициенты эмиссии парниковых газов, для CH_4 $K_4 = 5$ кг/ 10^{12} Дж и для N_2O $K_4 = 0,1$ кг/ 10^{12} Дж.

Для сектора «Производственные процессы» расчет выбросов парниковых газов выполняется по формуле

$$E_i = M_i \cdot K_i,$$

где E_i – годовой выброс в атмосферу i -го газа (т/год); M_i – данные о деятельности (количественная характеристика деятельности, приводящей к выбросу за определенный период, обычно за год) (т/год); K_i – коэффициент выброса (удельный выброс i -го парникового газа на тонну продукции).

При расчете эмиссии парниковых газов учитывается потенциал глобального потепления для каждого вещества. Потенциал глобального потепления оценивает радиационное (разогревающее) воздействие молекулы парникового газа относительно двуокиси углерода, осредненное за выбранный период времени после эмиссии. Потенциалы глобального потепления для парниковых газов приведены в табл. 1.

Таблица 1
Потенциалы глобального потепления (ПГП) для парниковых газов

Газ	Химическая формула	ПГП-100
Двуокись углерода	CO_2	1
Метан	CH_4	21
Закись азота	N_2O	310
ПФУ		
• Перфторметан	CF_4	6500
• Перфторэтан	C_2F_6	9200

В нефтегазовой отрасли учету подлежат все выбросы, образующиеся при разведке (бурение и опробование скважин), добыче (включая обслуживание действующих скважин), первичной переработке/подготовке, транспортировке, хранении, переработке, распределении и использовании нефти и природного газа, а также перегонке нефти и распределении нефтепродуктов. Выбросы определяются как произведение соответствующих данных о деятельности на коэффициент выбросов (формула (2)). Коэффициенты выбросов представлены в табл. 2.

Источниками выбросов в черной металлургии являются: предприятия по производству агломерата и окатышей, по производству чугуна и стали; вторичные предприятия по производству стали из стального лома; по производству доменного кокса, по производству ферросплавов. Выбросы парниковых газов в металлургии состоят из выбросов от использования топлива в качестве исходного сырья и выбросов от промышленных процессов (углерод используется в качестве восстанавливающего агента при производстве металлов). Оценка выбросов выполняется по формуле (2). Коэффициенты выбросов представлены в табл. 2.

Основными источниками выбросов парниковых газов в цветной металлургии яв-

ляется производство первичного алюминия и производство свинца.

Основной объем выбросов парниковых газов в алюминиевой промышленности связан с производством первичного алюминия электролитическим способом. Источники выбросов включают:

- выбросы CO_2 в результате реакции углерода электродов с оксидом алюминия в процессе электролиза с образованием металлического алюминия;

- выбросы перфторуглеродов в результате анодных эффектов, возникающих при нарушении нормального процесса электролиза и вызываемого взаимодействием анодов с расплавом криолита;

- косвенные выбросы при выработке электроэнергии, потребляемой при производстве первичного алюминия.

Производство первичного свинца включает в себя этапы подготовки и обогащения руды, агломерации, плавления и очистки продукции. Процесс плавки свинца представляет собой реакцию восстановления оксида свинца с образованием выбросов CO_2 .

При производстве стекла в процессе плавки основным источником выделившегося CO_2 является исходное сырье, которое состоит из известняка (CaCO_3), доломита $\text{Ca, Mg} (\text{CO}_3)_2$ и кальцинированной соды (Na_2CO_3).

Таблица 2

Удельные выбросы парниковых газов для различных материалов и этапов жизненного цикла

Материал	Этап	Удельные выбросы парниковых газов, т/т продукции				
		CO_2	NO_x	CH_4	CF_4	C_2F_6
Сталь	Производство	1,06		0,00003		
	Утилизация	0,08				
Чугун	Производство	1,35				
	Утилизация	0,08				
Медь	Производство	1				
Свинец	Производство	0,52				
	Утилизация	0,2				
Алюминий	Производство	1,8			0,0004	0,00004
Стекло	Производство	0,21				
	Утилизация	0,21				
Кремний	Производство	4,3		0,0012		
Пластмасса	Добыча нефти			0,000066		
	Производство	1,73		0,003		
Цирконий	Производство	4,3		0,0012		
Никель	Производство	6				
Марганец	Производство	1,6				
Газ	Добыча			0,0004		
	Транспортировка			0,00042		
	Эксплуатация	1,84	0,00000337	0,000169		
Биогаз	Эксплуатация	2,46	0,0000202	0,000337		

Эмиссия парниковых газов при добыче полезных ископаемых определяется выбросами применяемого транспорта и в данном расчете не учитывалась, поскольку имеет значительно меньшее значение.

Удельные выбросы парниковых газов [6, 7] для различных материалов и этапов жизненного цикла приведены в табл. 2.

В данной работе был проведен анализ выбросов парниковых газов в процессе жиз-

ненного цикла возобновляемых источников энергии и газопоршневой ЭУ, технические характеристики которых приведены в табл. 3.

Исходными данными для расчета выбросов парниковых газов являются массы материалов, составляющих энергоустановок, и объемы отходов, образующихся при металлообработке и производстве этих материалов. Расчет вели по формулам (1) и (2) с учетом коэффициентов удельных выбросов.

Таблица 3

Технические характеристики рассматриваемых ЭУ

Тип энергоустановки	Марка	Характеристика	Масса 1 шт., кг
Ветровая ЭУ	«Муссон»	Мощность 30 кВт	3180
	Аккумулятор Volta ST-200	Напряжение 12 В (13 шт.)	60
Солнечная ЭУ	Saana 250 LM3 MBW	Суммарная мощность 30 кВт (120 модулей по 0,25 кВт)	21,1
	Аккумулятор Volta ST-200	Напряжение 12 В (13 шт.)	60
Мини-ГЭС	ИНСЭТ Пр 30	Мощность 30 кВт	$2 \cdot 10^3$
Биогазовая ЭУ	БИОЭН-1		$12 \cdot 10^3$
	Caterpillar DM8660	Мощность 103 кВт	4830
Газопоршневая электростанция на природном газе	Caterpillar G3406	Мощность 125 кВт Расход газа 371 тыс. м ³ /год	4928
ЭУ на ТОТЭ	–	Мощность 2 кВт	322

Таблица 4

Выбросы парниковых газов в процессе жизненного цикла ЭУ, т

Тип ЭУ	Этап жизненного цикла	CO ₂	NO _x	CH ₄	CF ₄	C ₂ F ₆
ВЭУ	Добыча	–	–	$6,97 \cdot 10^{-5}$	–	–
	Производство	4,81	–	$5,35 \cdot 10^{-4}$	–	–
	Утилизация	0,35	–	–	–	–
	Всего	5,15	–	$6,05 \cdot 10^{-4}$	–	–
СЭУ	Добыча	–	–	$2,62 \cdot 10^{-6}$	–	–
	Производство	11,10	–	$7,52 \cdot 10^{-4}$	$1,42 \cdot 10^{-4}$	$1,42 \cdot 10^{-5}$
	Утилизация	0,58	–	–	–	–
	Всего	11,68	–	$7,52 \cdot 10^{-4}$	$1,42 \cdot 10^{-4}$	$1,42 \cdot 10^{-5}$
Мини-ГЭС	Производство	2,73	–	$7,59 \cdot 10^{-5}$	–	–
	Утилизация	0,16	–	–	–	–
	Всего	2,89	–	$7,59 \cdot 10^{-5}$	–	–
Биогазовая ЭУ	Производство	24,46	–	$5,19 \cdot 10^{-4}$	$2,11 \cdot 10^{-4}$	$2,11 \cdot 10^{-5}$
	Эксплуатация	$9,72 \cdot 10^3$	0,08	1,33	–	–
	Утилизация	1,30	–	–	–	–
	Всего	$9,75 \cdot 10^3$	0,08	1,33	$2,11 \cdot 10^{-4}$	$2,11 \cdot 10^{-5}$
Газопоршневая ЭУ	Добыча	–	–	1,96	–	–
	Производство	8,18	–	$5,86 \cdot 10^{-5}$	$2,10 \cdot 10^{-4}$	$2,10 \cdot 10^{-5}$
	Эксплуатация	$8,19 \cdot 10^3$	0,01	0,75	–	–
	Утилизация	0,35	–	–	–	–
	Всего	$8,2 \cdot 10^3$	0,01	2,72	$2,10 \cdot 10^{-4}$	$2,10 \cdot 10^{-5}$
ЭУ на ТОТЭ	Добыча	–	–	0,05	–	–
	Производство	1,19	–	$1,28 \cdot 10^{-5}$	–	–
	Утилизация	0,01	–	–	–	–
	Всего	1,21	–	0,05	–	–

Таблица 5

Эквивалентные суммарные выбросы парниковых газов в процессе жизненного цикла ЭУ, т

Тип ЭУ	Эквивалентные суммарные выбросы парниковых газов, т	Эквивалентные суммарные выбросы парниковых газов, т/кВт	Эквивалентные суммарные выбросы парниковых газов в процессе эксплуатации ЭУ, т
ВЭУ	5,19	0,173	
СЭУ	12,76	0,425	
Мини-ГЭС	2,89	0,096	
Биогазовая ЭУ	27,33	0,273	9777
Газопоршневая ЭУ	10,10	0,081	8274
ЭУ на ТОТЭ	1,20	0,401	

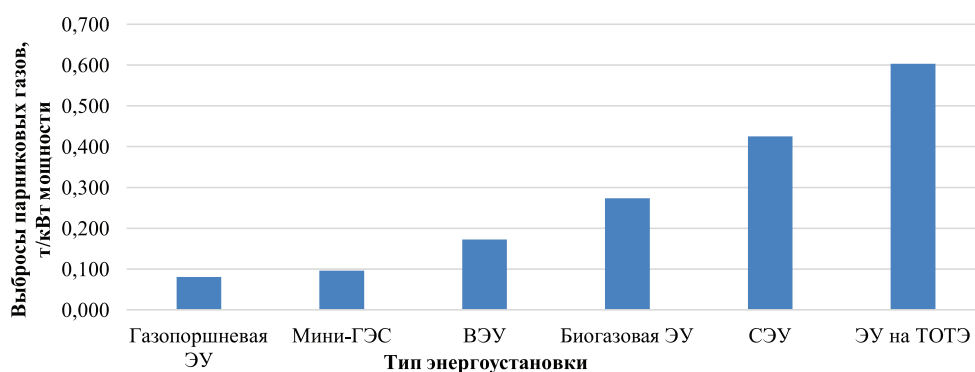


Рис. 2. Удельные выбросы парниковых газов ЭУ, т/кВт мощности

Результаты проведенного исследования эквивалентных суммарных выбросов для всех видов энергоустановок представлены в табл. 4, 5.

В процессе эксплуатации биогазовых, газопоршневых ЭУ происходят значительные выбросы парниковых газов за счет сжигания топлива, которые при эксплуатации остальных ЭУ отсутствуют.

На рис. 2 представлены суммарные выбросы парниковых газов (т/кВт мощности) на всех этапах жизненного цикла без учета процесса эксплуатации ЭУ.

Выводы

Результаты исследования показали, что: – основной вклад в выбросы парниковых газов при ОЖЦ вносит процесс сжигания топлива на биогазовых и газопоршневых энергоустановках, который практически в 350–800 раз выше, чем при производстве энергоустановок,

– максимальные выбросы парниковых газов с учетом процесса эксплуатации ЭУ соответствуют жизненному циклу биогазовых и газопоршневых энергоустановок,

– минимальные удельные выбросы парниковых газов без учета процесса эксплуатации имеют газопоршневые ЭУ и мини-

ГЭС, максимальные – ЭУ на ТОТЭ, за счет высокой эмиссии парниковых газов при производстве составляющих материалов,

– сокращение выбросов парниковых газов жизненного цикла энергоустановок возможно двумя путями: за счет сокращения выбросов при сжигании топлива, что в ближайшем будущем маловероятно, и применение нетрадиционных источников энергии.

Список литературы

1. Голубев Г.Н. Основы геоэкологии: учебник. – 2-е изд., стер. – М.: КНОРУС, 2013. – 352 с.
2. Концепция формирования системы мониторинга, отчетности и проверки объема выбросов парниковых газов в Российской Федерации (утв. распоряжением Правительства РФ от 22.04.2015 N 716-р).
3. Маслеева О.В., Пачурин Г.В. Комплексная экологическая оценка жизненного цикла малой распределенной и возобновляемой энергетики // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2014. – № 8 – С. 81–86.
4. Маслеева О.В., Воеводин А.Г., Пачурин Г.В. Тепловое воздействие альтернативных источников на окружающую среду // Современные наукоемкие технологии. – 2015. – № 3. – С. 51–54.
5. Методические рекомендации по проведению добровольной инвентаризации объема выбросов парниковых газов в субъектах Российской Федерации (утв. распоряжением Минприроды России от 16.04.2015 № 15-р).

6. Национальный доклад о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом за 1990–2010 гг. Часть 1. – М.: Росгидромет, Институт Глобального климата и экологии Росгидромета и РАН, 2012. – 386 с.

7. Руководящие принципы национальных инвентаризаций парниковых газов МГИЭК / под ред. С. Иглестона. Т. 2: Энергетика. – Хаяма (Япония): ИГЕС, 2006. – 321 с.

8. 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.

9. Соснина Е.Н., Маслеева О.В., Пачурин Г.В., Кечкин А.Ю., Головкин Н.Н. Экологические проблемы возобновляемых источников энергии: монография / Е.Н. Соснина [и др.]; под общей ред. Г.В. Пачурина; Нижегород. гос. техн. ун-т им. Р.Е. Алексева. – Нижний Новгород, 2014. – 164 с.

10. Соснина Е.Н., Маслеева О.В., Крюков Е.В. Сравнительная экологическая оценка установок нетрадиционной энергетики // Теплоэнергетика. – 2015. – № 8. – С. 3–10.

References

1. Golubev G.N. Osnovy geojekologii: uchebник. 2-e izd., ster. M.: KNORUS, 2013. 352 p.

2. Konceptija formirovanija sistemy monitoringa, otchetnosti i proverki obema vybrosov parnikovyh gazov v Rossijskoj Federacii (utv. rasporjazheniem Pravitelstva RF ot 22.04.2015 N 716-r).

3. Masleeva O.V., Pachurin G.V. Kompleksnaja jekologicheskaja ocenka zhiznennogo cikla maloj raspredelennoj i vobnovljaemoj jenergetiki // Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamentalnyh issledovanij. 2014. no. 8 pp. 81–86.

4. Masleeva O.V., Voevodin A.G., Pachurin G.V. Teplovoe vozdejstvie alternativnyh istochnikov na okruzhajushuju sredu // Sovremennye naukoemkie tehnologii. 2015. no. 3. pp. 51–54.

5. Metodicheskie rekomendacii po provedeniju dobrovolnoj inventarizacii obema vybrosov parnikovyh gazov v subektah Rossijskoj Federacii (utv. rasporjazheniem Minprirody Rossii ot 16.04.2015 no. 15-r).

6. Nacionalnyj doklad o kadastre antropogennyh vybrosov iz istochnikov i absorbcii poglotiteljami parnikovyh gazov, ne reguliruemyh Monrealskim protokolom za 1990–2010 gg. Chast 1. M.: Rosgidromet, Institut Globalnogo klimata i jekologii Rosgidrometa i RAN, 2012. 386 p.

7. Rukovodjashhie principy nacionalnyh inventarizacij parnikovyh gazov MGIJeK / pod red. S. Iglestona. T. 2: Jenergetika. Hajama (Japonija): IGES, 2006. 321 p.

8. Sosnina E.N., Masleeva O.V., Pachurin G.V., Krjukov E.V. Jekologicheskaja ocenka processa proizvodstva vobnovljaemyh istochnikov jenerгии // Sovremennye problemy nauki i obrazovanija. 2013. no. 6. pp. 174–180.

9. Sosnina E.N., Masleeva O.V., Pachurin G.V., Kechkin A.Ju., Golovkin N.N. Jekologicheskie problemy vobnovljaemyh istochnikov jenerгии: monografija / E.N. Sosnina [i dr.]; pod obshhej red. G.V. Pachurina; Nizhegorod. gos. tehn. un-t im. R.E. Alekseeva. Nizhnij Novgorod, 2014. 164 p.

10. Sosnina E.N., Masleeva O.V., Krjukov E.V. Sravnitel'naja jekologicheskaja ocenka ustanovok netradicionnoj jenergetiki // Teplojenergetika. 2015. no. 8. pp. 3–10.

Рецензенты:

Кузьмин Н.А., д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Автомобильный транспорт», Институт транспортных систем, Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексева, г. Нижний Новгород;

Лоскутов А.Б., д.т.н., профессор, директор Научно-технологического парка, Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексева, г. Нижний Новгород.