

УДК 502.3:621.311.23

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ И ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БИОТОПЛИВА

Маслеева О.В., Пачурин Г.В.

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

В работе дана экологическая оценка эмиссии парниковых газов при использовании биотоплива. Рассмотрены достоинства его производства из возобновляемого сырья, например растений, навоза или органических отходов: навоз, птичий помёт, зерновая и меласная послеспиртовая барда, пивная дробина, свекольный жом, фекальные осадки, отходы рыбного и забойного цеха (кровь, жир, кишки), трава, бытовые отходы, отходы молокозаводов, отходы от производства соков, крахмала и патоки, переработки картофеля и др. Выполнен расчет парниковых газов. Дана оценка вклада в парниковый эффект объектов биоэнергетики. Проведено сравнение эмиссии парниковых газов животноводческого комплекса для двух вариантов использования образующегося навоза: при сжигании биогаза, выделяющегося из навоза, при традиционных системах сбора, хранения и использования навоза животных. Показано, что применение установок по производству биогаза позволяет улучшить экологическую обстановку в районе, уменьшить эмиссию парниковых газов и сократить расход ископаемого топлива для производства электроэнергии.

Ключевые слова: парниковые газы, биотопливо, эмиссия парниковых газов, биоэнергетика, расход топлива, глобальное потепление, сжигание биогаза

ENVIRONMENTAL AND ECONOMIC FEASIBILITY OF BIOFUELS

Masleeva O.V., Pachurin G.V.

*FGBOU VPO «Nizhny Novgorod State Technical University. R.E. Alekseev», Nizhny Novgorod,
e-mail: PachurinGV@mail.ru*

In this work the environmental assessment of greenhouse gas emissions by using biofuels. The advantages of its production from renewable raw materials such as plants, animal manure or organicwaste: manure, poultry manure, grain and melasnaya distillery grains, brewer's grain, beet pulp, sewage sludge, fish waste and plantdownhole (blood, fat, intestine), grass, household waste, dairies, waste from the production of sugar, starch, molasses, potato processing, etc. The calculation of greenhouse gas emissions. The estimation of the contribution to the greenhouse effect bioenergyfacilities. A comparison of greenhouse gas emissionszhivonovodcheskogo complex for the two uses of manure produced:the burning of biogas emitted from the manure, the traditional systems of collection, storage and use of animal manure. It is shownthat the use of plants for the production of biogas can improve theecological situation in the region, to reduce greenhouse gas emissions and reduce consumption of fossil fuels to produce electricity.

Keywords: greenhouse gases, biofuels, greenhouse gas emissions, bioenergy, fuel consumption, global warming, the burning of biogas

Остроящая в настоящее время проблема энергосбережения при снижении загрязнения окружающей среды заставляет не только искать пути более рационального использования традиционных энергоресурсов, но и находить другие, желательные возобновляемые и недорогие источники энергии.

Успешное развитие экономики любой страны напрямую связано с ростом потребления энергии. Однако запасы ископаемого топлива, во-первых, не безграничны, а во-вторых, их сжигание приводит к загрязнению окружающей среды и к парниковому эффекту на нашей планете. Последний приводит к глобальному изменению климата на Земле, и результат этого влияния мы ощущаем уже сегодня. Аномальные и достаточно мощные землетрясения, необычайно теплые зимы, грандиозные наводнения и ураганы стали частыми гостями во многих странах мира, которые раньше о таких бедах знали лишь понаслышке.

Российский агрокомплекс ежегодно производит 773 млн т отходов, из которых мож-

но было бы получить 66 млрд кубометров биогаза, или около 110 млрд киловатт-часов электроэнергии [1]. Вместо этого ежегодный ущерб от отходов агропромышленного комплекса оценивается в 450 млрд руб., в частности, значительная доля ущерба приходится на загрязнение водных ресурсов.

Получение биогаза из органических отходов

Получение биогаза из органических отходов основано на свойстве последних выделять горючий газ в результате так называемого «метанового сбраживания» в анаэробных (без доступа воздуха) условиях [2, 3].

В свою очередь, «метановое сбраживание» происходит при разложении органических веществ в результате жизнедеятельности двух основных групп микроорганизмов. Одна группа микроорганизмов, обычно называемая кислотообразующими бактериями, или бродильными микроорганизмами, расщепляет сложные органические соеди-

нения (клетчатку, белки, жиры и др.) в более простые, при этом в сбраживаемой среде появляются первичные продукты брожения – летучие жирные кислоты, низшие спирты, водород, окись углерода, уксусная и муравьиная кислоты и др. Эти менее сложные органические вещества являются источником питания для второй группы бактерий – метанообразующих, которые превращают органические кислоты в требуемый метан, а также углекислый газ и др.

После окончания реакции, на выходе из реактора получают уже готовые к использованию минеральные удобрения.

Сырьё для получения биотоплива

В отличие от традиционных нефти или газа, биотопливо производится из возобновляемого биологического материала, например растений, навоза или отходов [4].

Перечень органических отходов, пригодных для производства биогаза: навоз, птичий помёт, зерновая и меласная после-спиртовая барда, пивная дробина, свекольный жом, фекальные осадки, отходы рыбного и забойного цеха (кровь, жир, кишки, каньга), трава, бытовые отходы, отходы молокозаводов – солёная и сладкая молочная сыворотка, отходы производства биодизеля – технический глицерин от производства биодизеля из рапса, отходы от производства соков – жом фруктовый, ягодный, овощной, виноградная выжимка, водоросли, отходы производства крахмала и патоки – мезга и сироп, отходы переработки картофеля, производства чипсов – очистки, шкурки, гнилые клубни, кофейная пульпа [5].

Биогазовые установки могут устанавливаться как очистные сооружения на фермах, птицефабриках, спиртовых заводах, сахарных заводах, мясокомбинатах. Биогазовая установка может заменить ветеринарно-санитарный завод, т.е. падаль может утилизироваться в биогаз вместо производства мяско-костной муки.

Кроме отходов биогаз можно производить из специально выращенных энергетических культур, например, из силосной кукурузы или силфия, а также водорослей. Выход газа может достигать до 300 м³ из 1 т. Выход биогаза для различных источников приведен в табл. 1.

Суточное выделение экскрементов от одного животного выбрано в соответствии с ОНТП 17-81 «Общесоюзные нормы технологического проектирования систем удаления, обработки, обеззараживания, хранения, подготовки и использования навоза и помета» и приведено в табл. 2. Химический состав биогаза представлен в табл. 3.

Таблица 1

Выход биогаза для различных источников

Источник биогаза	Выход, м ³ /т
Навоз крупного рогатого скота	54
Навоз свиной	62
Птичий помет клеточный	103
Свежая трава	200
Корнеплодные овощи	100

Таблица 2

Суточное выделение экскрементов от одного животного

Наименование животных	Масса навоза, кг/сутки
Крупный рогатый скот	35
Свиньи	5
Куры	0,15

Таблица 3

Химический состав биогаза

Химический состав биогаза	Химическая формула	Содержание, %
Метан	CH ₄	40–75
Углекислый газ	CO ₂	25–55
Водяной пар	H ₂ O	0–10
Азот	N ₂	< 5
Кислород	O ₂	< 2
Водород	H ₂	< 1
Сероводород	H ₂ S	< 1
Аммиак	NH ₃	< 1

Достоинства производства топлива из органических отходов

Биотопливо можно использовать в качестве сырья в когенерационных установках, которые представляют собой оборудование для комбинированного производства тепла и электроэнергии. Электроэнергию можно использовать для собственных нужд, фермы, мясокомбината или продавать в общую распределительную сеть. Тепло можно использовать для обогрева предприятия, технологических целей, получения пара, сушки семян, сушки дров, для содержания скота, для отопления теплиц. В себестоимости тепличных огурцов, помидоров, цветов 90% затрат – это тепло и удобрения.

При сжигании биогаза преимущественно образуются CO₂, O₂ и вода. Кроме того, еще образуются вредные газы, как то CO, NO и NO₂, SO₂, формальдегид и углеводороды.

Условия получения биогазов и наличие в их составе вредных и балластных примесей диктуют необходимость предварительной обработки биогаза перед использованием в тепловых установках.

Сероводород (H_2S) является важнейшей составляющей биогаза. Сероводород, смешивающийся в биогазе с водой, образует кислоту, вызывающую коррозию, что в первую очередь вызывает проблемы с арматурой, газовыми счетчиками, горелками и двигателями. Поэтому необходимо очищать биогаз от серы. Наиболее простым и экономичным способом очистки биогаза от сероводорода является сухая очистка в специальном фильтре. В качестве абсорбера применяется металлическая «губка», состоящая из смеси окиси железа и деревянной стружки. При использовании метода – адсорбции биогаз сначала проходит через специально обработанный активированный уголь, где H_2S окисляется до серы, которая сорбируется порами угля.

К достоинствам получения топлива из органических отходов можно отнести следующие факторы [6, 7]:

1. Биотопливо – возобновляемый ресурс, поэтому оно является долгосрочным и надежным источником энергии.

2. Получение биогаза – для выработки электро и теплоэнергии, а также в качестве топлива для двигателей внутреннего сгорания. Биогазовые установки могут частично или полностью заменить устаревшие региональные котельные и обеспечить электроэнергией и теплом близлежащие деревни, поселки, небольшие города. Сжигание 1 м^3 биогаза на современной когенерационной установке дает возможность получить $2,4\text{ кВт}\cdot\text{ч}$ электроэнергии и $2,8\text{ кВт}\cdot\text{ч}$ (при 60% метана в биогазе) тепловой энергии в виде горячей воды. Биоэнергетика может оказать существенную помощь в решении проблем энергосбережения.

3. Производство высококачественных биоудобрений с высоким содержанием азотной и фосфорной составляющей. Переброшенная масса – это готовые экологически чистые жидкие и твердые биоудобрения, лишенные нитритов, семян сорняков, патогенной микрофлоры, яиц гельминтов, специфических запахов. При использовании таких сбалансированных биоудобрений урожайность повышается на 10–20%. Биоудобрения можно продавать. Эти удобрения по качеству выше минеральных, а их себестоимость равна практически «0».

4. Экономия затрат на очистных сооружениях.

5. Выделение запаха сокращается до 80%.

6. Снижение уровня вредных выбросов в атмосферу.

7. Производство биогаза позволяет сократить выбросы парниковых газов.

8. Средний срок окупаемости проекта 1,5–2 года, так как не надо платить за газ, электроэнергию, теплую воду, удобрения. Высокая рентабельность отечественных биогазовых технологий обеспечивается одновременным производством высокоэффективных органических удобрений. По расчетам специалистов в российских условиях наиболее рентабельными являются установки средней и большой мощности.

Методика расчета парниковых газов

Разработкой методик инвентаризации выбросов парниковых газов в соответствии с РКИК и Киотским протоколом занимается Межправительственная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК). МГЭИК – специальный орган, учрежденный ЮНЕП и ВМО для проведения оценок результатов исследования изменения климата с целью представления этих оценок лицам, принимающим политические решения. «Пересмотренные Руководящие принципы национальных инвентаризаций парниковых газов МГЭИК», были приняты МГЭИК в 1996 г. на 12 сессии. Рабочие книги Пересмотренных Руководящих принципов МГЭИК включают пересмотренные методологии и типичные данные по сжиганию топлива, промышленным процессам, сельскохозяйственным почвам, изменению землепользования и лесному хозяйству, отходам.

Модуль «Энергетика»

Исходными данными для данного расчета являются величины расхода топлива, а именно: расход угля, расход топливного мазута, природного газа или других видов топлива.

Этапы расчета выбросов:

1. Определение фактического потребления топлива в натуральных единицах.

2. Перевод в тонны условного топлива, тут

3. Преобразование в общие энергетические единицы, ТДж.

4. Умножение на пересчетные коэффициенты для расчета содержания углерода.

5. Корректировка на неполное сгорание топлива (фракция окисленного углерода).

6. Пересчет окисленного углерода в выбросы CO_2 .

Аналогично выполняется расчет для выбросов метана и закиси азота.

При расчете необходимо учитывать потенциал глобального потепления для каждого вещества (табл. 4). Потенциал глобального потепления оценивает радиационное

(разогревающее) воздействие молекулы парникового газа относительно двуокиси углерода, осредненное за выбранный период времени после эмиссии.

Таблица 4
Потенциал глобального потепления для парниковых газов

Газ	Химическая формула	Период распада в атмосфере (в годах)	ППП-100
Двуокись углерода	CO ₂	Различный, преобладают компоненты со сроком распада около 100 лет	1
Метан	CH ₄	12	21
Закись азота	N ₂ O	120	310

Затем определяется суммарный выброс парниковых газов в CO₂-эквиваленте.

Модуль «Сельское хозяйство»

В Рабочей книги Пересмотренных Руководящих принципов МГЭИК рассматриваются эмиссии парниковых газов в том числе от сельскохозяйственного животноводства и птицеводства, которые включает эмиссии при внутренней (кишечной) ферментации у сельскохозяйственных животных и домашнего скота, а также сборе, хранении и использовании продуктов жизнедеятельности животных и птицы (навоз и птичий помет).

Методика расчета эмиссий метана (CH₄) и закиси азота (N₂O) включает расчет от двух источников:

- внутренней (кишечной) ферментации у сельскохозяйственных животных;
- навоза и птичьего помета, как продукта жизнедеятельности сельскохозяйственных животных и птицы в зависимости от методов его сбора, хранения и использования.

Метан образуется при внутренней ферментации в желудках травоядных животных как побочный продукт процесса пищеварения. Объем выделенного метана зависит от вида животного. Разложение продуктов жизнедеятельности животных и птиц (навоза и птичьего помета) в анаэробных условиях также сопровождается выделением метана.

Расчет эмиссии метана и закиси азота состоит из следующих шагов.

1. Определение фактических данных поголовья по каждому виду сельскохозяйственных животных и птицы.
2. Расчет значений эмиссии CH₄ при внутренней ферментации от каждой ка-

тегории сельскохозяйственных животных и птицы с учетом средних значений коэффициентов эмиссии метана (CH₄).

3. Расчет эмиссии метана при сборе, хранении и использовании навоза и птичьего помета.

4. Суммарные значения эмиссии CH₄ при внутренней ферментации и от навоза и помета.

5. Расчет эмиссии N₂O при сборе, хранении и использовании продуктов жизнедеятельности животных и птицы (навоза и птичьего помета) с учетом выделения азота при применении определенной системы сбора, хранения и использования навоза или помета.

6. Расчет эмиссии N₂O от всех систем сбора, хранения и использования навоза и помета с учетом коэффициентов эмиссии закиси азота для каждого типа системы сбора, хранения и использования навоза и помета животных.

Расчет парниковых газов

Навоз, образующийся в огромных количествах на крупных животноводческих комплексах, можно использовать, традиционно собирая и храня, но при этом происходит загрязнение почвы и водного бассейна, что сопровождается неприятным запахом, а также необходимы экологические платежи и даже штрафы.

Более разумным вариантом является установка комплекса по получению биогаза из навоза и последующее сжигание биогаза на мини-ТЭЦ для получения теплоэлектроэнергии для самого животноводческого комплекса и жилых домов, расположенных рядом.

Поэтому для оценки вклада в парниковый эффект объектов биоэнергетики был выполнен расчет двух вариантов:

1. Животноводческий комплекс, в котором применяются различные системы сбора, хранения и использования навоза животных.
2. Животноводческий комплекс, в котором установлены установки для получения биогаза и мини-ТЭЦ для получения электро-теплоэнергии из биогаза.

В расчете принято, что в животноводческом комплексе может содержаться 500, 1000, 2000, 3000, 4000 голов молочного скота.

Для первого варианта необходимо выполнить расчет следующих парниковых газов:

- метана (CH₄) для процесса внутренней ферментации у сельскохозяйственных животных и навоза, как продукта жизнедеятельности сельскохозяйственных животных и птицы в зависимости от методов его сбора, хранения и использования;
- закиси азота (N₂O) из навоза, как продукта жизнедеятельности сельскохозяй-

ственных животных в зависимости от методов его сбора, хранения и использования.

Результаты расчета в соответствии с модулем «Сельское хозяйство» для животно-

водческого комплекса, в котором применяются различные системы сбора, хранения и использования навоза животных, приведены в табл. 5 и на рисунке.

Таблица 5

Расчет эмиссии парниковых газов животноводческого комплекса

Поголовье животных, тыс. голов	Общая годовая эмиссия метана, т	Потенциал глобального потепления для CH ₄	Эмиссии CH ₄ в пересчете на CO ₂ экв, т CO ₂	Эмиссии N ₂ O, т	Потенциал глобального потепления для N ₂ O	Эмиссии N ₂ O в пересчете на CO ₂ экв, т CO ₂	Всего CO ₂ экв, т
0,5	202,5	21	4252,5	9,483·10 ⁻⁰⁴	310	0,3	4253
1	405	21	8505	1,897·10 ⁻⁰³	310	0,6	8506
2	810	21	17010	3,793·10 ⁻⁰³	310	1,2	17011
3	1215	21	25515	5,690·10 ⁻⁰³	310	1,8	25517
4	1620	21	34020	7,586·10 ⁻⁰³	310	2,4	34022

Для второго варианта необходимо выполнить расчет следующих парниковых газов:

- CO₂, N₂O, CH₄, которые образуются в процессе сжигания биотоплива.

- CO₂, который является составной частью биогаза и без превращений выбрасывается в атмосферу.

Расчет эмиссии парниковых газов, образующихся при сжигании биогаза, на мини-

ТЭЦ для получения электро-теплоэнергии был выполнен в соответствии с модулем «Энергетика» для животноводческого комплекса, в котором установлены установки для получения биогаза.

Исходные данные для расчета (табл. 6): поголовье животных, выделение экскрементов от всех животных за год, суммарный выход биогаза за год.

Таблица 6

Исходные данные для расчета эмиссии парниковых газов при сжигании биогаза на мини-ТЭЦ

Поголовье животных, голов	Суточное выделение экскрементов от одного животного, кг/сут	Выделение экскрементов от всех животных, т/год	Удельные нормы выхода биогаза, м ³ /т	Суммарный выход биогаза, м ³ /год	Содержание CO ₂ в биогазе, м ³ /год
500	35	6387,5	54	344925	68985
1000	35	12775	54	689850	137970
2000	35	25550	54	1379700	275940
3000	36	39420	54	2128680	425736
4000	35	51100	54	2759400	551880

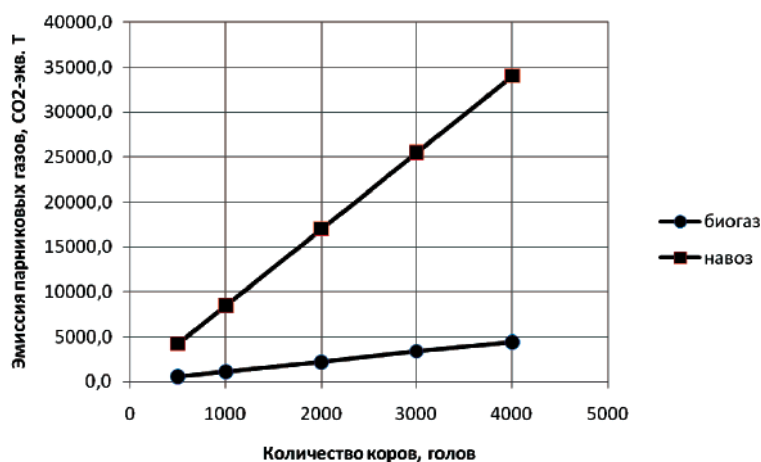
Таблица 7

Эмиссия парниковых газов при сжигании биогаза на мини-ТЭЦ

Расход биогаза, тыс. м ³ /год	Производство электроэнергии, тыс. кВт·ч/год	Эмиссия парниковых газов, т/год			Эмиссия парниковых газов в пересчете на CO ₂ экв, т CO ₂ /год			Эмиссия парниковых газов при сжигании биогаза в пересчете на CO ₂ экв, т CO ₂ /год	Эмиссия CO ₂ из биогаза, т	Всего CO ₂ экв, т
		CO ₂	N ₂ O	CH ₄	CO ₂	N ₂ O	CH ₄			
345	828	414,2	0,001	0,038	414,2	0,2	0,80	415	135,9	551
690	1656	828,3	0,002	0,076	828,3	0,5	1,59	830	271,8	1102
1380	3311	1656,7	0,003	0,152	1656,7	0,9	3,19	1661	543,6	2204
2129	4967	2556,0	0,005	0,234	2556,0	1,5	4,92	2562	838,7	3401
2759	6623	3313,3	0,067	0,364	3313,3	20,8	8,01	3342	1087,2	4429

Результаты расчета приведены в табл. 7. На рисунке представлены данные сравнения эмиссии парниковых газов животноводческого комплекса для двух вариантов

использования образующегося навоза: при сжигании биогаза, выделяющегося из навоза, при традиционных системах сбора, хранения и использования навоза животных.



Эмиссия парниковых газов животноводческого комплекса:
а – при сжигании биогаза из навоза;
б – при системе сбора, хранения и использования навоза животных

Выводы

Проведенные исследования показывают, что применение установок по производству биогаза является экологически и экономически целесообразным, так как позволяет улучшить экологическую обстановку в районе, уменьшить эмиссию парниковых газов и сократить расход ископаемого топлива для производства электроэнергии.

Список литературы

1. Российское Энергетическое Агентство Пресс-Дайджест «Биотопливо», Март 2011 г. (http://solex-un.ru/sites/solex-un/files/energo_files/biotoplivo_mart.pdf).
2. Благутина В.В. Биоресурсы // Химия и жизнь. – 2007. – №1. – С. 36–39.
3. Мариненко Е.Е. Основы получения и использования биотоплива для решения вопросов энергосбережения и охраны окружающей среды в жилищно-коммунальном и сельском хозяйстве: учебное пособие. – Волгоград: ВолгГАСА, 2003. – 100 с.
4. Стребков Д.С., Ковалев А.А. Биогазовые установки для обработки отходов животноводства // Техника и оборудование для села. – 2006. – №11. – С. 28–30.
5. Панцхава Е.С. Возможности и перспективы развития биоэнергетики // Новости теплоснабжения. – 2007. – №2(78).
6. Малофеев В.М. Биотехнология и охрана окружающей среды: учебное пособие. – М.: Издательство Арктос, 1998. – 188 с.
7. <http://www.eletracompany.com/node/87> – Альтернативная Энергетика.

References

1. The Russian Energy Agency News Digest, «Biofuels», March 2011 (http://solex-un.ru/sites/solex-un/files/energo_files/biotoplivo_mart.pdf).
2. Blagutin V. Bioresources // Chemistry and Life 2007. no. 1. pp. 36–39.
3. Marinenko EE Fundamentals of production and use of biofuels to address energy conservation and environmental protection in the housing and agriculture: the manual. Volgograd: VolgGASU, 2003. 100.
4. Strebkov DS, Kovalev AA Biogas plant for processing animal waste // Machinery and equipment for the village 2006. no. 11. pp. 28–30.
5. Pankshava NN Possibilities and prospects of development of bioenergy // News Heating 2007. no. 2 (78).
6. Malofeev VM Biotechnology and Environment: Study Guide. M.: Publishing Arktos, 1998. 188 p.
7. <http://www.eletracompany.com/node/87> – Alternative Energy.

Рецензенты:

Михаленко М.Г., д.т.н., профессор, декан ИФХФ, Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева (НГТУ), г. Нижний Новгород;

Лоскутов А.Б., д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Электроснабжение и электроэнергетика» (ЭСиЭ), Волжская государственная академия водного транспорта (ВГАВТ), г. Нижний Новгород.

Работа поступила в редакцию 09.04.2012.