

#### Список литературы

1. Природный рекуператор или бесплатный кондиционер для загородного дома. URL: [www.rimnt.ru](http://www.rimnt.ru) (дата обращения: 20.03.2017).
2. «Бесплатный» кондиционер для загородного дома. URL: [seller.livejournal.com](http://seller.livejournal.com) (дата обращения: 21.03.2017).
3. Грунтовой теплообменник как элемент вентиляционной системы дома. URL: <http://econet.ru/articles/87585> (дата обращения: 21.03.2017).

## **ПОЛУЧЕНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БИОГАЗА В КАЧЕСТВЕ РЕЗЕРВНОГО ТОПЛИВА В КОТЕЛЬНОЙ ФЕРМЕРСКОГО ХОЗЯЙСТВА**

***В. С. Филатова, В. В. Казанкова, Р. В. Муканов***  
*Астраханский государственный  
архитектурно-строительный университет*

Одним из эффективных возобновляемых источников энергии (ВИЭ) является биогаз, получаемый из различных органических отходов сельскохозяйственного производства в процессе анаэробного метаногенеза [1]. Физические и химические свойства биогаза зависят от содержания различных компонентов и их характеристики.

Основным компонентом биогаза является метан ( $\text{CH}_4$ ), содержание которого может достигать от 50 до 80 %, и диоксида углерода ( $\text{CO}_2$ ), содержание которого может достигать от 20 до 50 % соответственно. Следует отметить, что от 20 % до 50 % выделенного биогаза затрачивается на собственные нужды, т.е. на поддержание в метантенке требуемой для процесса анаэробного метаногенеза температуры. Для того, чтобы снизить эти затраты ставят подогреватель, либо применяют для подогрева другие ВИЭ [2].

Наиболее подходящим сырьем для получения биогаза является навоз домашних животных и птичий помет. Для получения биогаза могут быть использованы и другие сельскохозяйственные отходы, такие как солома, используемая для подстилки животным, трава, ботва и другое.

Наиболее эффективно применения биогазовых установок (БГУ) для автономных объектов, для которых биогаз может являться основным источником энергии для тепло- и электроснабжения. Концентрируя органическую массу в специальных резервуарах и поддерживая повышенную температуру, можно ускорить процесс развития специальных метанообразующих бактерий и получить большое количество метана (биогаза) в короткое время. Такая технология называется биоконверсией.

Биоконверсии можно подвергнуть отходы животноводства, растениеводства, бытовые сточные воды. При этом решаются важные задачи:

- создается дополнительный источник непрерывного получения энергии, достаточный для местного потребления;

- получают высококачественные удобрения, лишённые болезнетворных бактерий и микроорганизмов;
- улучшаются технические условия содержания скота;
- предохраняются от загрязнения и заражения окружающей среда;

В последнее время во многих сельскохозяйственных окраинах РФ стало появляться все больше и больше фермерских и хуторских хозяйств, все они, как правило, располагаются на значительном расстоянии от источников электроснабжения (ТЭЦ, котельные). Прокладка газовых сетей к ним в ряде случаев связаны с большими удельными капиталовложениями. В этом случае, наиболее целесообразно будет использование сжиженного газа и биогаза. Отпускные цены и затраты на транспортировку ТЭР (дизельного топлива, угля, мазута и т. п.) не всегда доступны сельским жителям, развивающим собственное небольшое хозяйство животноводческое и растениеводческое направления.

Поэтому вполне обоснованным представляется создание автономной системы газоснабжения фермерского хозяйства с применением ВИЭ. Учитывая размеры и вместимость фермы, предусматривается безотходная технология откорма молодняка КРС, обеспечивающая полную переработку отходов животноводства на биогаз и высококачественное удобрение. Таким образом, создается экологически чистое сельскохозяйственное производство. В целом по стране биологическая переработка сельскохозяйственного производства может внести существенный вклад в энергетический баланс страны.

Расчет параметров биогазовой установки проведем на основе стандартного фермерского хозяйства. Ферма включает в себя 2 коровника на 150 голов, 2 двухэтажных дома для работников и источник энергоснабжения (котельная), поставляющий тепло для нужд отопления и горячего водоснабжения коровников и домов.

В обычном режиме котельная работает на мазутном топливе. В период паводков или по иным причинам, когда заканчиваются запасы мазута, предполагается использовать в качестве ТЭР биогаз. Биогаз будет служить в качестве резервного топлива. Использование природного газа в данном районе нецелесообразно из-за большой стоимости прокладки газопровода через водную преграду.

Данная система снабжения биогазом фермерского хозяйства состоит из следующих основных элементов: системы трубопроводов, биореакторов, газгольдеров, резервуара сброженной массы и ветроэнергетической установки (ВЭУ).

Трубопроводы предназначены для соединения между собой различных конструктивных элементов системы и обеспечения нормального течения технологического процесса.

Газгольдер предназначен для сбора и хранения вырабатываемого генератором биогаза до его использования в котельной. Обычно применяют мокрый газгольдер, состоящий из подвижного металлического колокола и неподвижного основания (металлического или железобетонного). Для раз-

работки данного проектного решения по внедрению биоэнергетической установки в условиях фермерского хозяйства принимаем термофильный режим брожения, т.е. режим брожения, проходящий при температуре  $t = 55\text{ }^{\circ}\text{C}$ . При таком режиме процесс брожения происходит достаточно интенсивно, уже через 3–4 дня после начала сбраживания, что позволяет достичь максимального выхода биогаза.

Принимаем в установке 4 биореактора, загрузка которых будет производиться последовательно друг за другом с временным интервалом в одну неделю. Первая установка загружается в первые сутки, вторая на восьмые сутки, третья на пятнадцатые и четвертая на двадцать вторые сутки. Начиная с двадцать девятого суток процесс повторяется.

Такая схема позволяет увеличить выход биогаза и сделать его более равномерным.

Задача состоит в том, чтобы повысить значение выхода биогаза и величину замещения жидкого топлива в котельной за счет использования других ВИЭ. Для этого предполагается внедрение ВЭУ, дающей энергию для нагрева биореактора.

Исходные данные для расчета выработки биогаза в фермерском хозяйстве по разведению крупного рогатого скота приведены в табл. 1, а расчетные значения полученных при расчете нагрузок приведены в таблице 2.

Таблица 1

Исходные данные для расчета выработки биогаза  
в фермерском хозяйстве по разведению крупного рогатого скота

<i>№ п/п</i>	<i>Наименование параметра</i>	<i>Величина</i>	<i>Единицы измерения</i>
1	Типовые дома	2	шт.
1.1	Длина дома	20,0	м
1.2	Ширина дома	12,0	м
1.3	Высота этажа	3,0	м
1.4	Количество этажей	1	-
2	Число жителей	10	человек
3	Количество КРС	150	коров
4	Подача сухого сбраживаемого материала от одной коровы	3	кг/сут
5	Содержание метана в полученном биогазе	65	%
6	Плотность сухого материала с 1 коровы	50	кг/м <sup>3</sup>
7	Время сбраживания	28	сут

Таблица 2

Результаты расчетов потребляемого газа  
на отопление и горячее водоснабжение

<i>Месяц</i>	<i><math>Q_{от}, \text{ м}^3/\text{ч}</math></i>	<i><math>Q_{гв}, \text{ м}^3/\text{ч}</math></i>	<i><math>Q_{тсн}, \text{ м}^3/\text{ч}</math></i>
Ноябрь	3,94	1,99	5,93
Декабрь	5,01	2,06	7,07
Январь	5,41	2,51	7,92
Февраль	5,39	2,39	7,78
Март	4,33	2,07	6,40

Таким образом, потребление биогаза в отопительный период составляет от 8,89 до 11,88 м<sup>3</sup>/ч. В теплый период при температуре воды 15–25 °С расход биогаза на горячее водоснабжение составляет от 1,67 до 2,09 м<sup>3</sup>/ч (в среднем 1,88 м<sup>3</sup>/ч).

Выполним расчет основных параметров биореактора на основе известных методик [3]:

а) Масса сухого сбраживаемого материала от всех коров в сутки

$$m = n \times f = 150 \times 3 = 450 \text{ кг/сут} = 12600 \text{ кг/цикл}$$

б) Масса сухого сбраживаемого материала от всех коров в полного цикла продолжительностью  $\tau_{\text{ПЦ}} = 28$  сут.

$$M = m \times \tau_{\text{ПЦ}} = 450 \times 28 = 12600 \text{ кг/цикл}$$

в) Объем жидкой массы, заполняющей биореактор

$$V_f = m/\rho_M = 450/50 = 9 \text{ м}^3/\text{сут}$$

г) Суммарный объем 4-х биореакторов с учетом 10 % запаса на газовую прослойку

$$V_{\text{БР}} = V_f \times 1.1 = 9 \times 1.1 = 9.9 \text{ м}^3$$

д) Можно принять 4 биореактора объемом по 2,5 м<sup>3</sup> каждый.

е) Расчет выработки биогаза производится по формуле.

$$V_{\text{БГ}} = \alpha \times C_{\text{СОВ}} \times v_{\text{Б}} \times \rho \times V_{\text{БР}}$$

где:  $\alpha$  - коэффициент, заполнения биореактора,  $\alpha = 0,90 - 0,98$ ;

$C_{\text{СОВ}}$  – содержание сухого органического вещества (СОВ),

$C_{\text{СОВ}} = 5 - 10 \% = 0,05 - 0,1$ ;

$V_{\text{БГ}}$  - удельный выход биогаза, м<sup>3</sup>/кг СОВ;

$\rho$  - плотность жидкости в биореактора, кг/м<sup>3</sup>

$$V_{\text{БГ}} = 0,90 \times 0,10 \times 0,6 \times 1100 \times 9,9 = 588,1 \text{ м}^3$$

е) Объем товарного биогаза, используемого в системах теплоснабжения

$$V_{\text{БГ}}^{\text{T}} = \eta \times V_{\text{БГ}} = 0,8 \times 588,1 = 470,4 \text{ м}^3$$

ж) Объем биогаза, используемого на собственные нужды для подогрева биомассы в биореакторе с помощью газового водонагревателя

$$V_{\text{БГ}}^{\text{CH}} = (1 - \eta) \times V_{\text{БГ}} = (1 - 0,8) \times 588,1 = 117,6 \text{ м}^3$$

где  $\eta$  – коэффициент использования биогаза на собственные нужды  $\eta = 0,8$ .

з) Средний суточный выход товарного биогаза за период сбраживания  $\tau_{\text{С}}$  80 % биомассы

$$V_{\text{юбг}}^{\text{сут}} = V_{\text{бг}}^{\text{T}} \times 0,80 / \tau_{\text{С}}, \text{ м}^3/\text{сут.}$$

где:  $\tau_{\text{С}}$  – время сбраживания ( $\tau_{\text{С}} = 14$  суток).

$$V_{\text{БГ}}^{\text{сут}} = 470,4 \times 0,80 / 14 = 26,9 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

и) Средний часовой выход биогаза

$$V_{\text{бг}}^{\text{час}} = V_{\text{бг}}^{\text{сут}} / 24 = 26,9 / 24 = 1,12 \text{ м}^3/\text{ч.}$$

к) Суточная выработка тепла БГУ

$$Q_{\text{бг}}^{\text{сут}} = \eta_{\text{TГ}} V_{\text{бг}}^{\text{сут}} \text{ CH}_4 Q_{\text{PCH}_4}^{\text{H}}$$

где:  $\eta_{\text{TГ}}$  – КПД теплогенератора  $\eta_{\text{TГ}} = 0,8$ .

$\text{CH}_4$  – содержание метана в биогазе,  $\text{CH}_4 = 65 \% = 0,65$

$Q_{PCH_4}^H$  – низшая теплота сгорания метана, МДЖ/м<sup>3</sup>,  $Q_{PCH_4}^H = 35,76$  МДЖ/кг.

$$Q_{\text{бг}}^{\text{сут}} = 0,8 \times 26,9 \times 0,65 \times 35,76 = 500 \text{ МДж/сут.}$$

В случае, когда биогаз на собственные нужды не расходуется (за счет использования ВЭУ) объем товарного биогаза будет равен объему вырабатываемого биогаза

$$V_{\text{бг}}^{\text{т}} = V_{\text{бг}} = 588,1 \text{ м}^3.$$

В этом случае, соответственно увеличатся средняя суточная и средняя часовые выработки биогаза и выработка тепла БГУ.

Средний суточный выход товарного биогаза составит:

$$V_{\text{бг}}^{\text{сут}} = 26,9/0,8 = 33,6 \text{ м}^3/\text{сут}$$

Средний часовой выход биогаза составит:

$$V_{\text{бг}}^{\text{час}} = 33,6/24 = 1,40 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Суточная выработка тепла БГУ составит:

$$Q_{\text{бг}}^{\text{сут}} = 500/0,8 = 625 \text{ МДж/сут.}$$

Выработка тепла ВЭУ для подогрева биомассы составляет 125 МДж/сут. Поэтому средняя мощность ВЭУ:

$$N_{\text{ВЭУ}} = 125 \times 10^6 / 24 \times 3600 = 1446 \text{ Вт} = 1,446 \text{ кВт.}$$

Может быть использована одна ВЭУ типа АВЭУ-4-6М с номинальной мощностью 4 кВт при скорости ветра 9 м/с с диаметром ветроколеса 6 м.

Применение ВЭУ для подогрева биомассы в биореакторе позволяет увеличить выход товарного биогаза на 20 % и сократить в среднем на 20 % потребление жидкого топлива в отопительный период и на 75 % потребление жидкого топлива в теплый период года. В целом применение БГУ в сочетании с ВЭУ, используемой для подогрева биомассы позволит сэкономить до 35 % жидкого топлива в год.

Таким образом, установка, состоящая из четырех биореакторов, подогреваемых за счет энергии ВЭУ, позволяет получить биогаз и компенсировать до 35 % от необходимой нагрузки на теплоснабжения. Остальная часть будет обеспечена за счет привозного мазута. Установку предлагается внедрить в труднодоступном малонаселенном районе села за рекой, куда тянуть сеть газопровода нецелесообразно. ВЭУ дает энергию для нагрева биореакторов.

В предлагаемом проектном решении достигается замещением нагрузки на теплоснабжение на 20 % больше, чем без использования ВИЭ,

Существует возможность применения ВЭУ в котельной в качестве дополнительного источника тепла, использования ее для электроснабжения фермы, а также использования других видов ВИЭ (солнечной энергии или низко потенциальной энергии сточных вод и т.д.). Отходы перебродившей массы предлагается использовать в качестве удобрения в растениеводстве.

### Список литературы

1. Ковалев А. А., Федотов В. С., Ульченко Л. И., Мельник Р. А. Экологическая оценка биоэнергетической установки / НТБ по электрификации сельского хозяйства. Вып. 2. М., 1989.
2. Баадер В., Доне Е., Бренндоргер М. Биогаз: теория и практика / перевод с немецкого М. И. Серебряного. М., 1982.
3. Ковалев А. А., Ножевникова А. Н. Технологические линии утилизации отходов животноводства в биогаз и удобрения. М. : Знание, 1990.

## СРАВНЕНИЕ СИСТЕМ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО И ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

*В. В. Казанкова, В. С. Филатова, Р. В. Муканов*  
*Астраханский государственный*  
*архитектурно-строительный университет*

При строительстве и реконструкции зданий обязательно встает вопрос о создании эффективной, экономичной и недорогой системы отопления. В России этот вопрос достаточно актуален, так как во всех регионах средняя температура за отопительный период ниже значения  $+8\text{ }^{\circ}\text{C}$  [1], а значит необходимо организовывать качественное отопление объектов. В настоящее время, эффективность систем теплоснабжения в нашей стране находится на достаточно низком уровне, удельный расход энергии на  $1\text{ м}^2$  в России больше чем в США более чем в 7,6 раз [2] и составляет 418 кВт/ч (55 кВт/ч в США). В нашей стране, из общих затрат на эксплуатацию зданий, содержание систем теплоснабжения и отопления составляет 26 %.

Одним из первых вопросов который ставиться на этапе проектирования системы теплоснабжения заключается в выборе типа системы – централизованная, или децентрализованная.

Во времена СССР предпочтение отдавалось развитию централизованных систем теплоснабжения, так как приоритетной стратегией являлось строительство крупных объектов – микрорайонов, групп зданий, крупных промышленных центров, а в качестве источников тепловой энергии возводились крупные ТЭЦ, ГРЭС, котельные, которые располагались на значительном расстоянии от потребителей. Схема такой системы показана на рис. 1 [3]. В связи с тем, что топливо имело низкую стоимость, об экономии топливных ресурсов не задумывались. Все это привело к тому, что малая и средняя энергетика практически не развивалась.