



Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности

Сайт журнала:

<http://www.openaccessscience.ru/index.php/ijcse/>



УДК 661.9

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОИЗВОДСТВА БИОГАЗА

Кочегурова М.Е., ¹Лескова С.А.

ФГБОУ ВО "Амурский Государственный Университет", Благовещенск, Россия, (675028, Амурская область, город Благовещенск, Игнатьевское ш., д.21), e-mail: ¹seagull_svetlana@mail.ru

В статье рассмотрены преимущества внедрения биогазовых технологий. Предложена технологическая схема биогазовой установки. Определено суммарное количество субстрата, поступающего на переработку, суточный выход биогаза, рассчитаны основные размеры метантенков, подобран биогазовый когенератор.

Ключевые слова: Альтернативные источники энергии, биогазовые установки, анаэробная ферментация, биогаз, эффлюент, выход биогаза.

TECHNOLOGICAL ASPECTS OF BIOGAS PRODUCTION

Kochegarova M.E., ¹Leskova S.A.

Amur State University, Blagoveshchensk, Russia, (675028, Amur Region, Blagoveshchensk, Ignatyevskoye highway, 21), e-mail: ¹seagull_svetlana@mail.ru

The article discusses the advantages of the introduction of biogas technologies. The technological scheme of the biogas plant is proposed. The calculation of the biogas output based on the data of a livestock farm is presented. The total amount of substrate received for processing, the daily output of biogas was determined, the main sizes of the methane tanks were calculated, and a biogas cogenerator was selected.

Keywords: Alternative energy sources, biogas plants, anaerobic fermentation, biogas, effluent, biogas output.

В настоящее время вопросы экологии и поиска альтернативных источников энергии становятся наиболее актуальными. Растущее осознание необходимости бережного отношения к окружающей среде побуждают нас внедрять новые, экологически чистые и эффективные технологии. Сегодня биоэнергетика считается одним из перспективных видов возобновляемых источников энергии в России. Все более привлекательным ее сегментом становится производство биогаза и биоудобрений, что способствует эффективной утилизации отходов, получению качественного топлива, созданию дополнительных рабочих мест и снижению выбросов парниковых газов. Россия обладает большим потенциалом биоэнергетических ресурсов. Ежегодное производство отходов агропромышленного комплекса России составляет около 773 млн тонн, при грамотной переработке которых методом анаэробного сбраживания можно получить около 66 млрд м³ биогаза [1].

Внедрение биогазовых технологий сопровождается следующими экологическими и экономическими преимуществами:

- экономией природного газа путем замены его биогазом;
- утилизацией отходов агропромышленного сектора в биогаз и удобрения;
- дезинфекцией органических отходов от патогенной микрофлоры;
- повышением урожайности путем использования сброженного остатка в качестве удобрения;
- развитием энергетической инфраструктуры села [2].

Биогазовая установка осуществляет технологический процесс, который позволяет получать не только биогаз, но и эффлюент.

Биогаз – энергоноситель, состоящий на 55-75 % из метана и балластных веществ: 27-44 % углекислого газа, до 3 % азота, менее 1 % сероводорода и незначительного количества водорода. По теплоте сгорания 1 м³ биогаза равен 0,8 м³ природного газа [3]. Используется для получения тепла, электричества, в качестве высокорентабельного топлива для автотранспорта.

Эффлюент – остаточный продукт переработки органических отходов животного и растительного происхождения. Является эффективным и экологически чистым биоудобрением, содержит широкий спектр полезных элементов, таких как азот, фосфор, калий, сера и др., необходимых для роста и развития сельскохозяйственных культур. В эффлюенте отсутствуют патогенные микроорганизмы, яйца гельминтов, жизнеспособные семена сорных растений.

Сырьем для получения биогаза являются органические субстраты: отходы сельского хозяйства, пищевой и деревообрабатывающей промышленности, продукты жизнедеятельности животных, городские сточные воды, твердые бытовые отходы полигонов. Можно использовать энергетические культуры, такие как кукурузный силос, морские водоросли и др. [3].

Метаногенерация представляет сложный многостадийный микробиологический процесс переработки отходов, в котором исходные органические вещества превращаются в более простые с переходом углерода в метан и углекислый газ. В его основе лежит четыре стадии трансформации органического вещества: гидролиз, кислотообразование, ацетогенез, метаногенез. Сообщества микроорганизмов последовательно сменяют друг друга, используя продукты метаболизма в качестве питательного субстрата [4].

Для оптимального протекания процесса анаэробной ферментации необходимо обеспечить следующие условия [5]:

1. Поддержание анаэробных условий в реакторе.
2. Контроль температуры.

Выделяют три температурных режима ведения процесса:

- психрофильный – температура до 25 °С;
- мезофильный – температуры от 25 °С до 40 °С;
- термофильный – температура выше 40 °С.

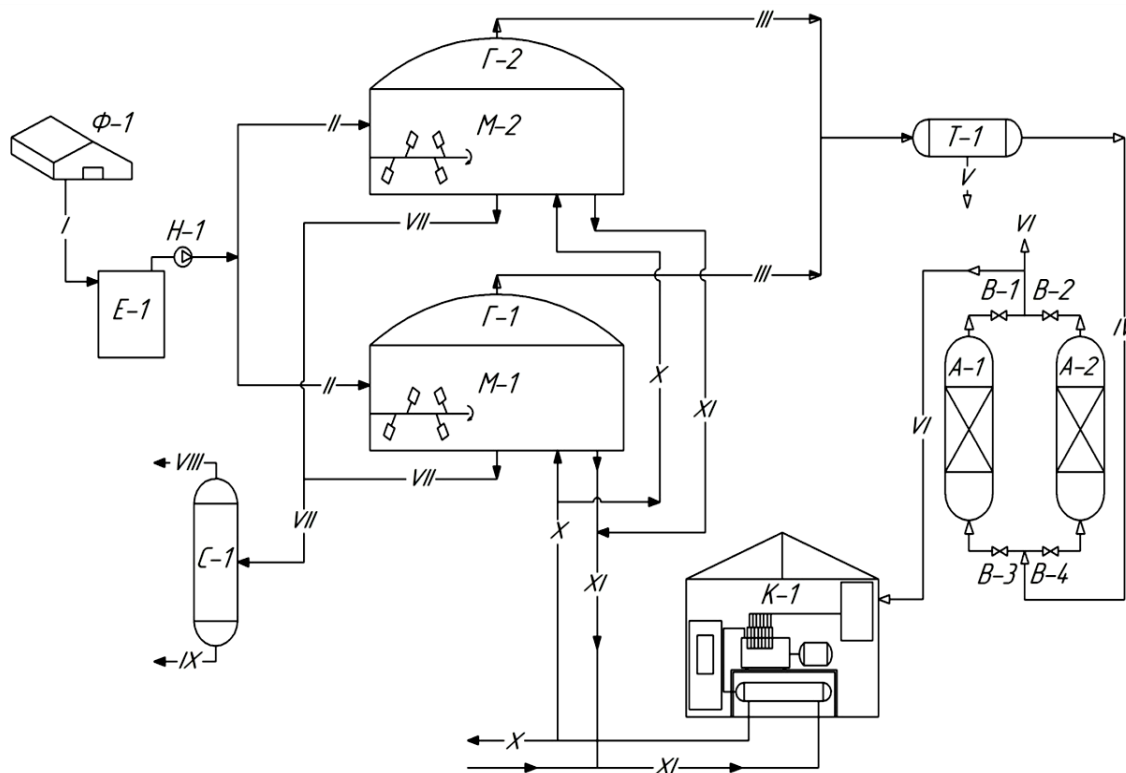
3. Выбор времени сбраживания.

Выбирают в зависимости от температуры процесса и состава сырья:

- – психрофильный температурный режим: от 30 до 40 и более суток;
- – мезофильный температурный режим: от 10 до 20 суток;
- – термофильный температурный режим: от 5 до 10 суток.

4. Поддержание оптимального рН баланса (от 6,5 до 8,5).
5. Выбор необходимой влажности сырья (~ 90 %).
6. Регулярное перемешивание (каждые 4-6 часов).
7. Отсутствие ингибиторов процесса.

Рассмотрим предложенную технологическую схему биогазовой установки (Рисунок 1).



*Ф-1 – ферма; Е-1 – емкость для сбора и гомогенизации сырья;
М-1-2 – метантенк; Г-1-2 – газгольдер; Т-1 – теплообменник; А-1-2 – адсорбер;
В-1-4 – вентиль; К-1 – когенерационная установка; С-1 – сепаратор;
I – сырье с фермы; II – гомогенизированное сырье; III – биогаз;
IV – осушенный биогаз; V – конденсат; VI – осушенный и очищенный биогаз;
VII – дигестат; VIII – жидкие биоудобрения; IX – твердые биоудобрения;
X – горячая вода; XI – холодная вода*

Источник: рисунок автора

Рисунок 1 – Технологическая схема биогазовой установки

Сырье из фермы Ф-1 подается в емкость для сбора и гомогенизации сырья Е-1, которая оборудована мешалкой. Далее гомогенизированное сырье с помощью насоса Н-1 подается в метантенки М-1 и М-2 с мешалками.

Перемешивание массы в реакторах производится каждые 6 часов с целью интенсификации процесса брожения, равномерного распределения микроорганизмов, устранения образования застойных зон и корки. Два реактора предусмотрено для надежной эксплуатации установки. Длительность сбраживания составляет 15 суток, режим – мезофильный (38 °С). Образовавшийся биогаз накапливается в упругих резиновых

накопителях – газгольдерах Г-1 и Г-2, расположенных наверху метантенков, под давлением 5 кПа. Дигестат отводится снизу метантенков и подается в сепаратор С-1 для отделения твердых и жидких биоудобрений, далее – потребителям.

Биогаз, насыщенный водяными парами, из газгольдеров подается в теплообменник Т-1, где охлаждается. В результате водяные пары конденсируются и отводятся с установки. Осушенный биогаз очищается от сероводорода в адсорберах А-1 и А-2. Процесс основан на физическом поглощении H_2S в порах твердого поглотителя – активированного угля. Температура реакции – 40 °С. Длительность работы угля до регенерации – от 1 до 3 недель, а общий срок службы – около двух лет. Для регенерации угля применяется продувка потоком горячего (300 °С) регенерированного газа.

Часть осушенного и очищенного от сероводорода биогаза отводится с установки для закачки в баллоны и далее – потребителям, другая часть биогаза направляется на когенерационную установку для обеспечения установки электроэнергией и теплом. Часть тепла используется для обогрева метантенков для поддержания температуры брожения, другая часть тепла направляется на нужды фермы.

Ниже представлены результаты расчета суточного выхода биогаза из субстрата, получаемого при жизнедеятельности крупного рогатого скота ЗАОР (НП) Агрофирмы «Партизан», расположенной в селе Раздольное Амурской области (Таблица 1). Приведены требуемые размеры реакторов и расчет когенератора. Длительность сбраживания – 15 суток, влажность субстрата – 88 %. Методика расчета приведена в источнике [2].

Таблица 1 – Численность КРС ЗАОР (НП) Агрофирмы «Партизан»

Группа животных	Количество голов на 13 апреля 2023 г.
Коровы	441
Нетели	40
Телята возрастом до 12 месяцев	300
Телята от 12 до 18 месяцев	120
Итого	901

Источник: анализ автора

Количество субстрата определяют исходя из технологических норм (Таблица 2). Количество измельченной подстилки для крупного рогатого скота принимается равным 3 кг/сут, для телят – 2 кг/сут.

Таблица 2 – Нормы выхода отходов крупного рогатого скота

Группы животных	Показатели	Состав отходов	
		Твердые	Жидкие
Коровы	Масса, кг	35,0	20,0
	Влажность, %	85,2	94,2
Нетели	Масса, кг	20,0	7,0
	Влажность, %	83,5	96,0
Телята возрастом до 12 месяцев	Масса, кг	10,0	4,0
	Влажность, %	83,5	96,5
Телята возрастом от 12 до 18 месяцев	Масса, кг	20,0	7,0
	Влажность, %	83,5	96,0

Источник: [2]

Таблица 3 – Выход отходов на одну голову каждой группы животных

Характеристика	Группа животных			
	корова	нетель	теленки возрастом до 12 месяцев	теленки возрастом от 12 до 18 месяцев
Общая масса отходов и соломы, кг	58	30	16	29
Количество сухого вещества в твердых отходах, кг	5,18	3,30	1,65	3,30
Количество сухого вещества в жидких отходах, кг	1,16	0,28	0,14	0,28
Количество сухого вещества в подстилке, кг	2,58	2,58	1,72	1,72
Общее количество сухого вещества в смеси субстрата и подстилки, кг	8,92	6,16	3,51	5,30
Усредненный процент сухого вещества в массе, %	15,3 8	20,53	21,94	18,28
Влажность всей массы, %	84,6 2	79,47	78,06	81,72
Количество смеси при влажности 88 %, кг	74,3 4	51,33	29,25	44,18

Источник: [2], расчеты автора

Определим суммарное количество субстрата влажностью 88 %, используя данные

Таблица 1 и Таблица 3:

$$74,34 \cdot 441 + 51,33 \cdot 40 + 29,25 \cdot 300 + 44,18 \cdot 120 = 48913,74 \text{ кг} = 54294,25 \text{ л} = 54,3 \text{ м}^3.$$

Суточный выход биогаза $V_{\text{биог}}$, м³/сут, определяют по формуле:

$$V_{\text{биог}} = L \cdot g,$$

где $g = 25$ – удельный выход биогаза, м^3 на 1 т перерабатываемого субстрата или сухого вещества;

L – суточное количество перерабатываемого субстрата (или сухого вещества), т/сут.

Тогда объем биогаза из рассчитанного количества субстрата составит:

$$V_{\text{биог}} = 54,3 \cdot 25 = 1357,5 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

Исходными данными для определения объема реакторов являются суточная загрузка субстрата и длительность процесса сбраживания. С точки зрения надежности эксплуатации рекомендуется установка не менее двух метантенков. В случае остановки одного реактора работает другой. Каждый из них рассчитывается на сбраживание половины общего суточного количества субстрата. Требуемую вместимость, м^3 , каждого реактора рассчитывают по формуле:

$$V_{mp} = \frac{G_n \cdot \tau}{n}$$

где G_n – суточная загрузка субстрата $\text{м}^3/\text{сут}$;

τ – длительность сбраживания, сут;

n – количество метантенков.

Для снижения потерь тепла через стенки метантенка его форму нужно выбрать таким образом, чтобы поверхность теплообмена была минимальной. Цилиндрическая емкость имеет наименьшую поверхность при соотношении высоты h и радиуса R реактора, равном:

$$h = 4 \cdot R$$

Найдем требуемые размеры метантенка:

– объем V , м^3 : $V = \pi \cdot R^2 \cdot h$

– площадь поверхности S , м^2 : $S = 2 \cdot \pi \cdot R^2 + \pi \cdot R \cdot h$

Формула для расчета радиуса биореактора R , м:

$$R = \sqrt[3]{\frac{0,5 \cdot V_{mp}}{\pi}}$$

Определим размеры метантенков в сельскохозяйственной биогазовой установке с суммарным суточным выходом субстрата $54,3 \text{ м}^3/\text{сут}$. Длительность сбраживания субстрата 15 суток.

Примем к установке два метантенка, вместимость каждого из которых составит:

$$V_{mp} = \frac{54,3 \cdot 15}{2} = 407,25 \text{ м}^3.$$

Оптимальный радиус метантенка:

$$R = \sqrt[3]{\frac{0,5 \cdot 407,25}{3,14}} = 4,02 \text{ м.}$$

Примем к установке метантенк радиусом $R = 4$ м и высотой $h = 16$ м.

Объем каждого реактора:

$$V = 3,14 \cdot 4^2 \cdot 16 = 804 \text{ м}^3.$$

Площадь поверхности каждого реактора:

$$S = 2 \cdot 3,14 \cdot 4^2 + 3,14 \cdot 4 \cdot 16 = 301,44 \text{ м}^2.$$

Несколько большие размеры реактора по сравнению с требуемыми для размещения субстрата обеспечивают свободное пространство над поверхностью ферментируемой массы для накопления биогаза.

В случае совмещенных биореакторов-газгольдеров общий объем реактора должен превышать требуемое значение на величину двух- или четырехчасового выхода биогаза. В

сутки образуется 1357,5 м³ биогаза, двухчасовой выход составляет 113,2 м³. Общий объем каждого реактора составит:

$$V_{\text{общ}} = 804 + 113,2 = 917,2 \text{ м}^3.$$

Утилизация биогаза с получением тепла предусматривает использование теплогенераторов, а электроэнергии – электрогенераторов. Для совместного получения тепла и электроэнергии можно использовать когенераторы.

Расход биогаза для получения тепла, электроэнергии $q_{\text{биог}}$, м³/ч, определяется как

$$q_{\text{биог}} = \frac{3600 \cdot P}{\eta \cdot Q_{\text{н}}}$$

где P – паспортная мощность генератора (тепловая, электрическая), кВт;

η – КПД генератора (тепловой, электрический);

$Q_{\text{н}}$ – низшая теплота сгорания биогаза, кДж/м³.

Требуется определить расход очищенного биогаза с низшей теплотой сгорания 30000 кДж/м³ для получения электрической и тепловой энергии когенератором ГПЭС-150 ЯМЗ 238, имеющем следующие характеристики: расход газа при номинальной мощности – 45 м³/ч, электрическую мощность – 150 кВт, электрический КПД – 44 %, тепловую мощность – 180 кВт, тепловой КПД – 45 %, отапливаемая площадь – 1200 м².

Расход биогаза для получения электроэнергии $q_{\text{биог.эл}}$:

$$q_{\text{биог.эл}} = \frac{3600 \cdot 150}{0,44 \cdot 30000} = 40,9 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Расход биогаза для получения тепловой энергии $q_{\text{биог.теп}}$:

$$q_{\text{биог.теп}} = \frac{3600 \cdot 180}{0,45 \cdot 30000} = 48 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Таким образом, из 54,3 м³ отходов жизнедеятельности КРС можно получить 1357,5 м³ биогаза в сутки, что соответствует 1086 м³ природного газа и 3087 кВт·ч электроэнергии. Ферма, внедрившая биогазовую установку, сама себя обеспечивает теплом, электричеством и экологически чистым удобрением, что дает положительный экономический эффект. Биогаз в качестве альтернативного источника энергии имеет высокий потенциал, а биогазовые технологии решают проблему утилизации отходов агропромышленного комплекса, являясь экономически и экологически оправданными.

Список литературы

1. Зайнутдинова А.Ф. Анализ перспектив использования биогаза в России / А.Ф. Зайнутдинова, А.Р. Садыкова, Л.Ф. Ильгамова, И.В. Мухаметова // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. – 2021. – №5-2(56). – С. 181-183.
2. Комина Г.П. Получение и использование биогаза в решении задач энергосбережения и экологической безопасности : учеб. пособие / Г.П. Комина, А.В. Сауц. – Санкт-Петербург: ЭБС АСВ, 2017. – 96 с.
3. Давронов Ф.Ф. Сырье для получения биогаза / Ф.Ф. Давронов, Л.И. Тиллоев // Вопросы науки и образования. – 2018. – №2. – С. 33-34.
4. Шеина О.А. Биохимия процесса производства биогаза как альтернативного источника энергии / О.А. Шеина, В.А. Сысоев // Вестник ТГУ. – 2009. – №1(14). – С. 73-76.
5. Веденев А.Г. Биогазовые технологии: учеб. пособие/А.Г. Веденев, Т.А. Веденева. – Бишкек : ОФ «Флюид», 2017. – 95 с.

References

1. Zainutdinova A.F. Analysis of the prospects for the use of biogas in Russia / A.F. Zainutdinova, A.R. Sadykova, L.F. Ilgamova, I.V. Mukhametova // International Journal of the Humanities and Natural Sciences. - 2021. - No. 5-2 (56). - pp. 181-183.
 2. Komina G.P. Obtaining and using biogas in solving problems of energy saving and environmental safety: textbook. allowance / G.P. Komina, A.V. South. - St. Petersburg: EBS DIA, 2017. - p.96
 3. Davronov F.F. Raw materials for biogas production / F.F. Davronov, L.I. Tilloev // Questions of science and education. - 2018. - No. 2. - pp. 33-34.
 4. Sheina O.A. Biochemistry of the biogas production process as an alternative source of energy / O.A. Sheina, V.A. Sysoev // Bulletin of TSU. - 2009. - No. 1 (14). - pp. 73-76.
 5. Vedenev A.G. Biogas technologies: textbook. allowance / A.G. Vedenev, T.A. Vedenev. - Bishkek: OF "Fluid", 2017. - p.95
-