

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КОМБИНИРОВАННОЙ СОЛНЕЧНО-БИОГАЗОВОЙ УСТАНОВКИ

Хатамов И.А.<sup>1</sup>, Пулатова Н.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>**Хатамов Иномжон Амруллоевич** - старший преподаватель, Каршинский инженерно-экономический институт, г Карши, Республика Узбекистан. e-mail: [hotamjon.88@mail.ru](mailto:hotamjon.88@mail.ru) ORCID ID 0000-0003-2761-4777

<sup>2</sup>**Пулатова Нигора** – студентка, Каршинский инженерно-экономический институт, г. Карши Республика Узбекистан. e-mail: [hotamjon.88@mail.ru](mailto:hotamjon.88@mail.ru) ORCID ID 0000-0002-3876-6277

**Аннотация:** В данной статье представлены результаты исследований, проведенных на экспериментальной установке комбинированной солнечно-биогазовой установки, на основе энергетического анализа оценена затрата энергии биогазовой установки, изучена зависимость выхода биогаза от влажности биомассы и температуры сбраживания, также приведены технические характеристики комбинированной солнечно-биогазовой установки.

**Ключевые слова:** биогаз, биомасса, сбраживания, субстрат, метантенк, энергия солнца.

**Abstract:** This article presents the results of studies carried out on an experimental installation of a combined solar-biogas plant, on the basis of energy analysis, the energy consumption of a biogas plant is estimated, the dependence of biogas yield on biomass moisture and fermentation temperature is studied, also provides the technical characteristics of the combined solar-biogas plant.

**Keywords:** biogas, biomass, fermentation, substrate, digester, solar energy.

Стремительно развивающиеся экологические проблемы и сокращающиеся запасы природных топлива и энергии определяют актуальность и необходимость использования нетрадиционных возобновляемых источников энергии [1,2]. Использование биогазовых установок является одним из наиболее эффективных способов рационального решения экологических проблем и получения альтернативных видов топлива взамен природного [3].

В настоящее время в мире и в Узбекистане предложено и разработано большое количество устройств для получения биогаза из органических отходов (биомассы) [4]. Однако большинство научно обоснованных биогазовых реакторов предназначены для переработки отходов крупных животноводческих комплексов. Биогазовые установки также используют, в основном, электричество для нагрева воды для отопления, необходимой для ферментации биомассы [5, 6]. Это снижает эффективность использования биогазовых установок в удаленных от электроснабжения районах. Исходя из вышеизложенного, одним из наиболее актуальных вопросов является разработка солнечно-биогазовых установок отопления и нагрева горячей воды от возобновляемых источников энергии, необходимых для ферментации биомассы [7, 8].

В настоящее время в данном направлении проводили научные исследования Т.Я. Андрихина, П.В. Богданова, С.Д. Варфоломеева, П.И. Гриднева, Г.А. Заварзина, А.Н. Захарченко, С.В. Калюжный, В.В. Кирсанова, А.А. Ковалева, А.Н. Кожевникова, Е.В. Панцовый, В. Баадер, М.Е. Беккер, Э. Хасимото, Д.М. Осмонов, Г.Н. Узоков, Ш. Имамы и др.

Несмотря на достигнутые успехи, разработка комбинированных солнечно-биогазовых установок с использованием нетрадиционных источников энергии в биогазовых установках и экспериментальное изучение теплотехнических параметров изучены недостаточно. Для решения вышеуказанных проблем необходимо разработать комбинированную солнечно-биогазовую установку для производства биогаза из местных органических отходов и провести экспериментальные исследования.

Для достижения этой цели были определены следующие задачи:

- изучение и анализ существующих биогазовых установок;
- разработка и создание технологической схемы комбинированной солнечно-биогазовой установки;

- экспериментальное исследование зависимости выхода биогаза от влажности биомассы и температуры брожения;
- обоснование технических параметров комбинированной солнечно-биогазовой установки.

Анализ научных исследований показывает, что с технологической точки зрения анаэробной переработки органических отходов производство биогаза можно описать как двухстадийный процесс (рис. 1).

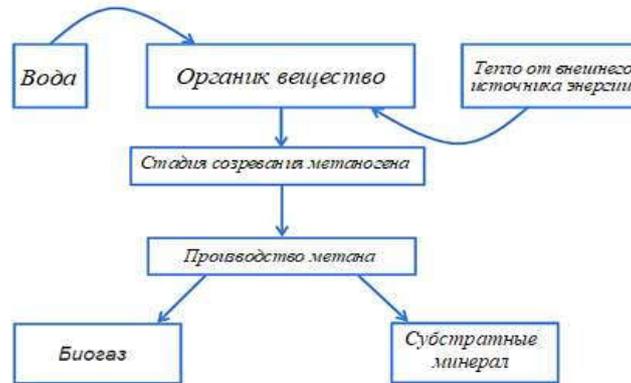


Рис.1. Схема процесса анаэробной переработки органических отходов.

Анализ удельных энергозатрат процесса анаэробного брожения в биогазовых установках (рис. 2) показывает, что большая часть энергии расходуется на нагрев субстрата до заданного температурного режима и на компенсацию потерь тепла через внешнюю конструкцию реактора.

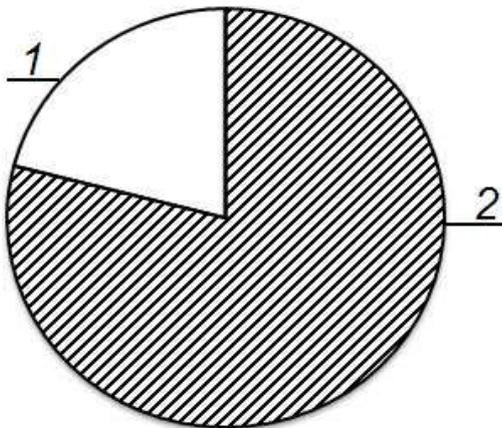


Рис. 2. Структура энергопотребления биогазовой установки: 1-Энергозатраты на смешивание, загрузку и выгрузку биомассы; 2-Расход энергии на нагрев биомассы и компенсацию потерь тепла.

Для малотоннажной биогазовой установки, предназначенной для обеспечения расхода топлива (расход биогаза 3...5 м<sup>3</sup>/сут) на бытовые нужды местных потребителей, субстрат можно использовать путем механической загрузки, перемешивания и опорожнения, а при анаэробном брожении очень сложно поддерживать необходимую температуру внутри камеры. Сформулирована следующая концепция электроснабжения такой малогабаритной комбинированной солнечно-биогазовой установки (КСБУ). Предлагаемая концепция КСБУ обеспечивает следующий энергетический баланс:

$$E_{КСБУ} = E_{и.мэ} + E_{и.бу} + E_{э.мэ} + E_{э.бу} \tag{1}$$

где  $E_{КСБУ}$  – общее количество энергии, вырабатываемой в КСБУ, Дж;  $E_{(р.бэ)}$  - расход тепловой энергии на бытовые нужды, Дж;  $E_{(р.бу)}$  - расход тепловой энергии на биогазовую установку КСБУ, Дж;  $E_{(э.мэ)}$  - потребление электроэнергии на бытовые нужды, Дж/с;  $E_{(э.бу)}$  - потребляемая мощность самой биогазовой установки, Дж/с.



Рис.3. Питание напрямую от КСБУ, принципиальная схема.

Анализ потенциала нетрадиционных источников энергии и анализ первых теоретических и экспериментальных исследований, проведенных авторами по созданию биогазовых установок с использованием тепла при анаэробном брожении биомассы, показывают, что наиболее оптимальным энергообеспечением КСБУ является энергия.

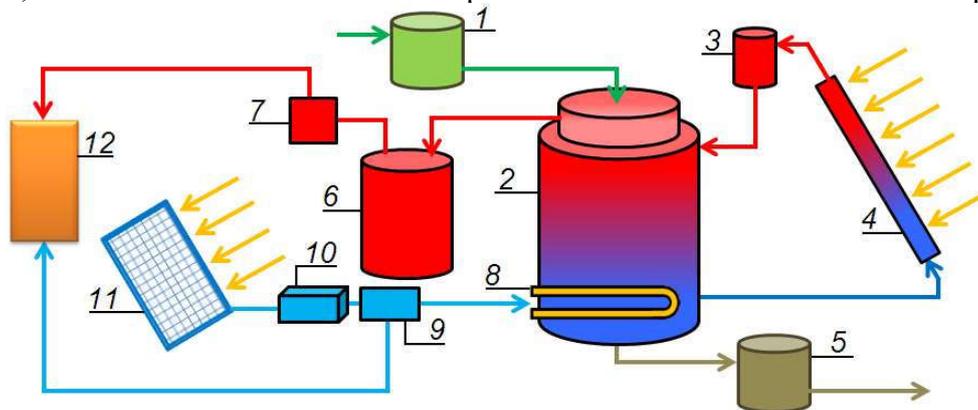


Рис.4. Технологическая схема КСБУ: 1-емкость для органических отходов; 2-метанобак; 3-тепловой аккумулятор; 4-солнечных коллектора; 5-емкость для минеральных удобрений; 6-газгольдер; 7-блок очистки биогаза; 8-трубный электронагреватель; 9-инвертор напряжения; 10-аккумулятор; 11-фотоэлектрический преобразователь; 12-потребители энергии.

Согласно исследованиям, среднеемесячное потребление электроэнергии относительно небольшой фермой колеблется в пределах 120-135 кВтч/мес (4,5 кВтч/сутки). Гарантированное минимальное потребление тепла и электроэнергии в размере 4,5 кВтч/сутки может быть достигнуто при использовании концепции КСБУ, представленной на рисунке 3.

Солнечная энергия может быть использована для процесса ферментации предварительно подготовленных органических отходов в соответствии с технологической схемой КСБУ (рис. 4).

В результате циркуляции теплоносителя (воды, нагретой в солнечном коллекторе) обеспечивается необходимый температурный режим в процессе ферментации биомассы, загруженной в метантенк.

В процессе анаэробного брожения органического вещества биомассы в метантенке выделяется биогаз, который собирается в газгольдере. Биогаз очищают от  $H_2S$  и направляют на бытовые нужды. Субстрат, вылитый из метантенка, используется как органическое удобрение. Для обеспечения работы КСБУ в условиях отсутствия солнечного света установлен аккумулятор тепла (ТА). Кроме того, для этой цели также установлен электрический водонагреватель, питаемый напрямую от фотоэлектрической батареи преобразователя.

На первом этапе экспериментальных исследований были проведены исследования по обоснованию оптимальной влажности субстрата, загружаемого в метантенк, и оптимального температурного режима ферментации. Экспериментальные исследования проводились на созданной экспериментальной установке. Экспериментальные исследования проводились двумя способами: в мезофильном режиме при температуре брожения - 30 °С, в термофильном режиме - 45 °С. Влажность загружаемой исходной биомассы колеблется от 86,4 до 94,0% (рис. 5).

Анализ результатов эксперимента показал, что (рис. 5) влажность сброженной биомассы для быстрого разделения газа находится в пределах  $W_{opt} = 90 \dots 92\%$  для двух температурных режимов. Количество газа, выделяющегося при термофильном режиме, в среднем на 20 % превышает количество газа, выделяемого при мезофильном режиме. Однако энергозатраты при термофильном процессе на 50 % выше по сравнению с мезофильным режимом при обеспечении требуемой температуры процесса. Поэтому целесообразно использовать энергосберегающий мезофильный процесс.

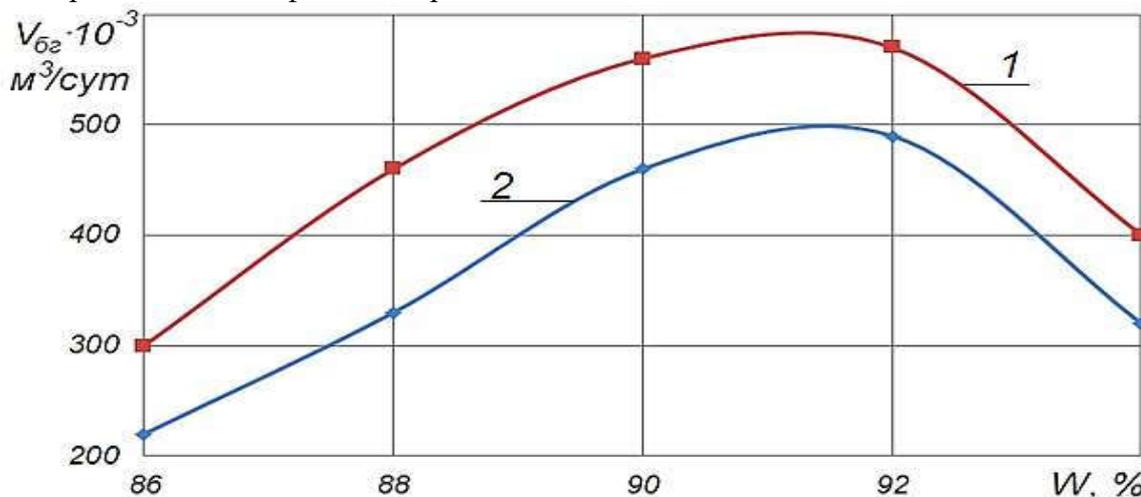


Рис.5. Зависимость выхода биогаза от влажности биомассы и температуры брожения: 1-термофильный режим; 2-мезофильный режим.

Последующие экспериментальные исследования были проведены для определения оптимальной продолжительности ферментации. Полученные результаты опытов (рис. 6) показали, что количество газа, полученного в процессе брожения, должно быть достаточным для необходимого для хозяйственных нужд количества биогаза при  $t_{ach} = t_{min}$ . Результаты показывают, что оптимальная продолжительность брожения равна максимальному объему выделяющегося газа и составляет 16 дней, после чего объем газовыделения уменьшается.

При работе КСБУ в мезофильном режиме выход биогаза составляет  $3,07 \text{ м}^3/\text{сут}$ .

Параметры КСБУ определяли с учетом экспериментально обоснованных технологических параметров процесса анаэробного брожения биомассы (табл. 1).

Таблица-1.

## Технические характеристики КСБУ

№	Именованние параметров	Измерение единица измерения	Значение индикатора
1	Общий объем метантенка	м <sup>3</sup>	3,0
2	Суточная загрузка метантенка	м <sup>3</sup>	0,11
3	Температура ферментации	°С	30±1
4	Продолжительность ферментации	сутки	16
5	Тепловая нагрузка на метантенк	Вт	280
6	Полезная площадь солнечного коллектора	м <sup>2</sup>	4,76
7	Емкость теплового бака	м <sup>3</sup>	0,403
8	Размер газгольдера	м <sup>3</sup>	1,0
9	Теплоемкость солнечного коллектора	Вт	942..4760
10	Производительность по биогазу	м <sup>3</sup> /сутки	3,07
11	Производительность удобрения	кг/сутки	110

**Заключение.** На основе проведенных к настоящему времени исследований по разработке и совершенствованию биогазовой установки разработано технологическое устройство комбинированной солнечно-биогазовой установки.

Создана опытная установка комбинированной солнечно-биогазовой установки и приведены результаты получения биогаза в опытной установке, выявлено, что осуществление ферментации в мезофильном режиме является эффективным. Установлено, что в этом режиме оптимальная влажность биомассы составляет 90-92%.

Определена оптимальная суточная продолжительность ферментации биомассы в метантенке, по которой определен максимальный выход биогаза, равный 16 суткам.

Приведены технические характеристики разработанного КГБ. По его словам, продуктивность биогаза в период с марта по октябрь составила 3,07 м<sup>3</sup>/сутки и выход минеральных удобрений составил 110 кг/сутки.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Закон Республики Узбекистан «Об использовании возобновляемых источников энергии» № ЗРУ-539 от 21 мая 2019 года.
2. Захидов Р.А., Лутпуллаев С.Л. Мировые тенденции в развитии альтернативной энергетики и задачи Узбекистана в освоении возобновляемых источников энергии. // Гелиотехника. 2015., №1. –с.55-69.
3. Осмонов О.М. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: учебное пособие: - М.: ФГБОУ ВПО МГАУ, 2012, -48 с.
4. Салова Т.Ю., Громова Н.Ю., Громова Е.А. Термические методы переработки органических отходов. Источники возобновляемой энергии. Монография. СПб.: СПбГАУ, 2016. – 224с.
5. Арбузов Е.В., Щеклин С.Е. К проблеме энергетической эффективности биогазовых технологий в климатических условиях Россия. // Альтернативная энергетика и экология. 2011, №7, с. 108-110.
7. Алмарданов Х.А., Хатамов И.А., и др. Применение солнечных концентраторов для приема альтернативного топлива через устройство гелиопиролиза. //Universum: технические науки, (3-4 (84)), 8-11, 2021 - cyberleninka.ru
8. Давлонов, Х. А., Рахматов, О. И., Хатамов, И. А. (2021). Пиролиз иситиш курилмали куёш иссиқхоналариди иссиқлик энергияси утилизатори–сувли аккумуляторнинг оптимал ўлчамларини ҳисоблаш. Инновацион технологиялар, (1 (41)), 23-26.