

EDN: NWPAPI

УДК 536.1:662.767.2

Н. В. КОЛОСОВА

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ РЕАКТОРА ДЛЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ПОДОГРЕВА БИОМАССЫ В БИОГАЗОВОЙ УСТАНОВКЕ

Аннотация. Процесс производства биогаза из отходов животноводческих ферм зависит от различных технологических факторов, основным из которых является температура сбраживания. Для производства биогаза на практике применяют мезофильный режим сбраживания. Технологический процесс работы метантенка предусматривает замену части сброженной массы свежей биомассой несколько раз в сутки. Температура свежей биомассы в холодный период года значительно ниже температуры сбраживания. Это приводит к снижению температуры в метантенке. Метаногенные бактерии при мезофильном режиме сбраживания чувствительны к изменению температуры. Колебания температуры сбраживания на несколько градусов может привести к снижению объема получаемого биогаза. Для избежания колебаний температуры сбраживания в метантенке после загрузки свежей порции биомассы предлагается добавление в схему биогазовой установки реактора для предварительного подогрева биомассы.

Ключевые слова: метантенк, биогаз, температура сбраживания, дополнительный подогрев.

ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ

Анаэробное сбраживание представляет процесс разложения органических веществ до образования метана и диоксида углерода, а также обеззараживания биомассы. Скорость протекания процесса зависит от различных факторов, влияющих на жизнедеятельность бактерий (температура, pH среды, продолжительность сбраживания, влажности, состав исходного сырья и др.) Интенсивность образования биогаза зависит от оптимального сочетания основных влияющих факторов.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Для получения биогаза путем анаэробного сбраживания отходов животноводческих ферм используются метантенки (МТ). Анализ литературных источников [1–5] показал, что основные факторы влияющие на процесс анаэробного сбраживания должны находиться в определенных пределах.

При непрерывном режиме работы МТ необходимо учитывать, что глубина сбраживания органической части сбраживаемой массы зависит от длительности ее пребывания в реакторе. В работе [6] приводится зависимость выхода биогаза от длительности сбраживания. Установлено, что оптимальная длительность сбраживания составляет 10–12 суток.

Влажность субстрата играет важную роль в процессе сбраживания. Для возможности равномерного перемешивания и стабильного разложения массы влажность биомассы должна находиться в пределах 85...95 %.

Стабильность разложения органических веществ зависит от значения pH среды и его постоянства. Кислотность сбраживаемой массы колеблется в пределах от 6,0 до 8,0 [2–4, 7].

Одним из основных факторов влияющих на интенсивность образования биогаза, является температура сбраживания и ее колебание. Производство биогаза может осуществляться в широком температурном диапазоне. В зависимости от температурного режима, который поддерживается в МТ в процессе работы, различают три режима сбраживания: психрофильный (10...20 °С), мезофильный (30...45 °С), термофильный (50...65 °С) [4–5].

© Н. В. Колосова, 2022



Большинство установок работают в мезофильном режиме с температурой сбраживания 35...40 °С. При этом режиме наиболее активно развиваются метаногенные бактерии с максимальным образованием биогаза.

В работе [8] приведены графики, построенные на опытных значениях выделения биогаза в зависимости от температуры сбраживания, для различных групп животных. Данные получены при длительности сбраживания от 10–21 суток. Для удобства практических расчётов на основании приведенных опытных данных были построены регрессионные уравнения для различных групп животных.

Зависимости объема получаемого биогаза от температуры для навоза крупного рогатого скота и свиней

$$V_{KPC} = -1,22 + 0,195 \cdot t - 0,0114 \cdot t^2 + 3,09 \cdot 10^{-4} \cdot t^3 - 3,00 \cdot 10^{-6} \cdot t^4, \quad (1)$$

$$V_{свиньи} = -14,07 + 1,723 \cdot t - 7,61 \cdot 10^{-2} \cdot t^2 + 1,5 \cdot 10^{-3} \cdot t^3 - 1,06 \cdot 10^{-5} \cdot t^4, \quad (2)$$

где V_{KPC} – суточный объем выделенного биогаза, получаемый при сбраживании 1 кг сухого органического вещества из навоза крупного рогатого скота, м³/сутки;

$V_{свиньи}$ – суточный объем выделенного биогаза, получаемый при сбраживании 1 кг сухого органического вещества из навоза свиней, м³/сутки;

t – температура сбраживания, °С.

Можно сделать вывод, что оптимальной температурой сбраживания является 35...42 °С. При больших температурах наблюдается угнетение жизнедеятельности метаногенных бактерий. При снижении температуры также замедляется жизнедеятельность метаногенных бактерий и снижается образование биогаза. При термофильном режиме сбраживания будет наблюдаться иная зависимость выхода биогаза от температуры, так как бактерии будут адаптироваться к другому температурному режиму сбраживания.

Учитывая, что метаногенные бактерии очень чувствительны к изменению температуры и резкие изменения температуры приводят к снижению образования биогаза, необходимо строго поддерживать температурный режим сбраживания в метантенке.

ЦЕЛЬ

Целью настоящей работы является применение дополнительного реактора для нагрева свежей порции биомассы перед подачей в МТ.

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

Стабильное образование биогаза предполагает непрерывный процесс сбраживания биомассы в МТ. МТ является основой биогазовой установки, в котором происходит сбраживание биомассы и образование биогаза. Отходы животноводческих ферм поступают в приемный резервуар для измельчения крупных включений. В нем происходит их предварительное накопление, перемешивание, осаждение и удаление тяжелых фракций. После загрузки рабочего объема МТ сбраживаемой массой и стабильным образованием биогаза (10–15 суток), необходима частичная выгрузка сброженной массы и загрузка такого же объема свежей биомассы. Объем выгружаемой сброженной массы принимается 10...15 % от рабочего объема МТ. Подача свежей порции биомассы в метантенк происходит 1-2 раза в сутки с помощью специального насоса для жидких и вязких субстратов. Для поддержания стабильной температуры внутри метантенка оборудуется система обогрева (змеевик). Субстрат два раза в сутки перемешивается при помощи турбинной мешалки. Выгрузка сброженного субстрата происходит автоматически с такой же периодичностью, как и загрузка.

Температура загружаемой биомассы ниже температуры сбраживания в метантенке. В зимнее время загружаемая биомасса имеет температуру менее 5 °С.

После загрузки свежей порции биомассы температура в метантенке значительно снижается, что приводит к замедлению и угнетению жизнедеятельности метаногенных бактерий. И как следствие снижение выхода биогаза.

Обычно на практике количество теплоты, нагревающая сбраживаемую массу в МТ, компенсирует только потери теплоты в окружающую среду. В момент загрузки свежей порции биомассы необходимо увеличить нагрев МТ до достижения температуры сбраживания. Но для увеличения мощности нагрева необходимо увеличить температуру греющей воды в змеевике. Это приведет к перегреву СМ возле поверхности змеевика.

Тепловой баланс в МТ можно записать в виде следующего уравнения

$$Q_{нагр} + Q_{сбр} = Q_{св.бм} + Q_{пот}, \quad (3)$$

где $Q_{нагр}$ – количество подводимой к метантенку теплоты, кДж/сут;
 $Q_{сбр}$ – количество теплоты, образующейся при анаэробном разложении биомассы, кДж/сут;
 $Q_{пот}$ – потери теплоты в окружающую среду через стенки МТ, кДж/сут;
 $Q_{св.бм}$ – требуемая теплота для нагрева свежей порции биомассы, кДж/сут.

В биохимических процессах анаэробного сбраживания биомассы наблюдается выделение тепла. Это происходит на этапе расщепления анаэробных бактерий и образования уксусной кислоты. Этот вопрос рассмотрен в работах [4, 9] и основываясь на том, что суммарное тепловыделение незначительно, величиной $Q_{сбр}$ можно пренебречь.

Учитывая этот факт, выражение (3) принимает вид

$$Q_{нагр} = Q_{св.бм} + Q_{пот}. \quad (4)$$

Пользуясь формулами [10], можно определить мощность нагрева сбраживаемой массы в МТ после загрузки свежей биомассы и время нагрева всего объема до заданной температуры сбраживания.

По формулам [8, 10] был выполнен расчет температуры сбраживания в метантенке после загрузки свежей порции биомассы.

Расчет выполнялся для МТ объемом – 9,5 м³, температура сбраживания – 35 °С, длительность сбраживания – 15 суток, плановая влажность сбраживаемой массы – 90 %, температура вводимой свежей порции СМ – 5 °С, температура наружного воздуха – 22 °С. Загрузка свежей порции биомассы производится два раза в сутки. Длительность нагрева СМ принята 2 часа.

По результатам расчета построены графики мощности нагрева в течение суток (рисунок 1) для МТ объемом 9,5 м³.

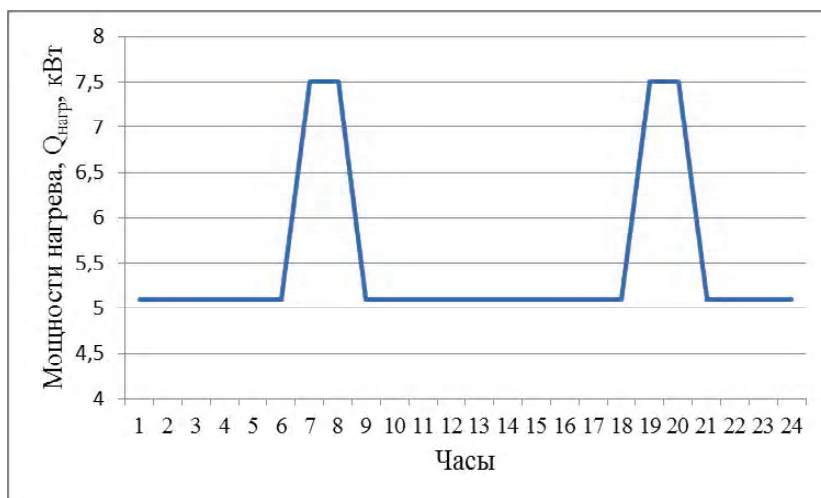


Рисунок 1 – Мощности нагрева МТ в течение суток.

На рисунке 2 приводится график снижения температуры в МТ после загрузки свежей порции биомассы и выхода биогаза в течение суток.

Оптимальным решением поддержания постоянной температуры в МТ после загрузки свежей порции биомассы является применение дополнительного реактора для нагрева свежей биомассы до температуры сбраживания (рисунок 3).

В приведенной схеме биогазовой установки свежая биомасса из приемного резервуара подается в реактор предварительного нагрева, в котором нагревается непосредственно перед загрузкой в МТ до температуры сбраживания. Нагретая свежая биомасса подается в МТ.

Данная схема позволяет избежать охлаждения сбраживаемой массы в МТ и угнетение жизнедеятельности метаногенных бактерий.

Тогда тепловой баланс МТ будет иметь вид

$$Q_{нагр} = Q_{пот}.$$

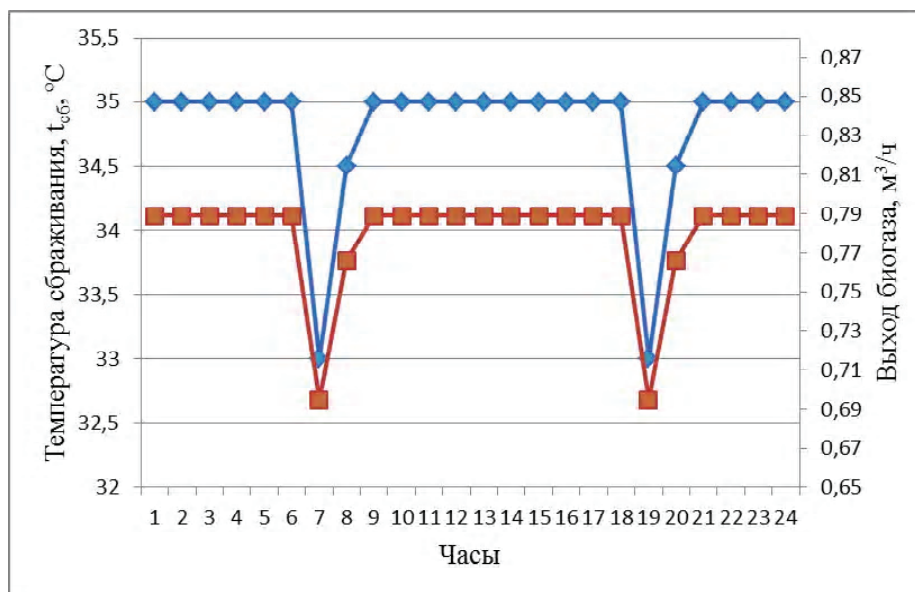


Рисунок 2 – Температуры сбраживания и выхода биогаза после загрузки свежей порции биомассы в течение суток.

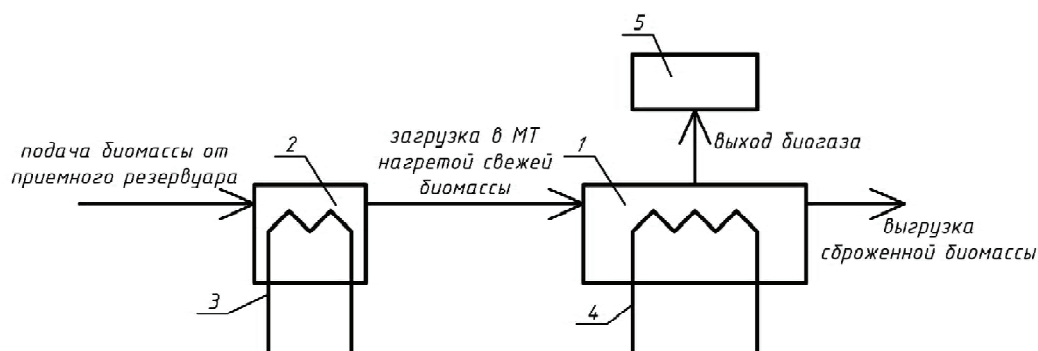


Рисунок 3 – Схема биогазовой установки с дополнительным реактором для нагрева свежей биомассы до температуры сбраживания: 1 – МТ, 2 – реактор предварительного нагрева свежей биомассы, 3 – нагреватель предварительного нагрева, 4 – нагреватель МТ, 5 – газгольдер.

Для рассчитываемого МТ выход биогаза с применением реактора предварительного подогрева биомассы составит $18,94 \text{ м}^3/\text{сутки}$. Выход биогаза для данного реактора без предварительного подогрева свежей биомассы составит $17,9 \text{ м}^3/\text{сутки}$. Стабилизация температуры в метантенке, за счет предварительного подогрева свежей порции биомассы, приводит к увеличению выхода биогаза на 5 % в сутки.

ВЫВОДЫ

Добавление в технологическую схему биогазовой установки реактора предварительного подогрева свежей порции биомассы не дает возможность уменьшить мощность нагрева сбраживаемой массы, приводит к стабилизации процесса сбраживания за счет отсутствия изменения температуры биомассы в МТ. При применении реактора предварительного нагрева биомассы необходимо на стадии проектирования выполнить расчет мощности нагрева МТ и реактора предварительного подогрева биомассы. Это позволит подобрать оптимальную конструкцию нагревательных элементов и задать температурный режим греющего теплоносителя.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Комина, Г. П. Получение и использование биогаза в решении задач энергосбережения и экологической безопасности : учебное пособие / Г. П. Комина, А. В. Сауц. – Санкт-Петербург : Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ, 2017. – 96 с. – ISBN 978-5-9227-0805-0. – Текст : электронный.
2. Achinas, S. A technological overview of biogas production from biowaste / S. Achinas, V. Achinas, G. j W. Euverink. – Текст : электронный // Engineering. – 2017. – № 3(3). – P. 299–307. – URL: https://www.researchgate.net/publication/318477757_A_Technological_Overview_of_Biogas_Production_from_Biowaste (дата публикации: 21.06.2017).
3. Караева, Ю. В. Обзор биогазовых технологий и методов интенсификации процессов анаэробного сбраживания / Ю. В. Караева, И. А. Трахунова. – Текст : электронный // Труды Академэнерго. – 2010. – № 3. – С. 109–127. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=15181824> (дата публикации: 21.06.2017).
4. Дубровский, В. С. Метановое сбраживание сельскохозяйственных отходов / В. С. Дубровский, У. Э. Виестур. – Рига : Зинатне, 1988. – 204 с. – ISBN 5-7966-0056-7. – Текст : непосредственный.
5. Олексюк, А. О. Енергосбереження при використанні нетрадиційних джерел : навчальний посібник для студентів економічних спеціальностей в галузі теплогазопостачання та вентиляції / А. О. Олексюк, В. А. Сербін, Н. Ф. Радько. – Донецьк : Держжитлокомунгоспу України, 2004. – 156 с. – Текст : непосредственный.
6. Колосова, Н. В. Анализ технологических особенностей сбраживания биомассы в метантенках для получения биогаза / Н. В. Колосова, О. В. Чеботарева, В. А. Сербин. – Текст : непосредственный // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури. – 2010. – Випуск 2010-6(86) Інженерні системи та техногенна безпека. – С. 131–134.
7. Семененко, И. В. Оборудование и процессы метанового сбраживания органических отходов : монография / И. В. Семененко, М. Г. Зинченко. – Харьков : НТУ «ХПИ», 2012. – 272 с. – URL: <http://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/27507> (дата обращения: 21.09.2022). – Текст : электронный.
8. Лазуткин, В. Э. Влияние температуры сбраживания на объем получаемого биогаза / В. Э. Лазуткин, Р. С. Студеникин, Н. В. Колосова. – Текст : электронный // Энергоресурсосбережение в инженерных и энергетических системах зданий и сооружений : электронный сборник статей по материалам III открытой международной очно-заочной научно-практической конференции молодых ученых и студентов, Макеевка, 04 февраля 2022 года / Редколлегия: В. Ф. Мушанов, А. В. Лукьянов, В. И. Нездойминов [и др.]. – Макеевка : ГОУ ВПО «ДОННАСА», 2022 – С. 43–47. – URL: http://donnasa.ru/docs/nik/nauchnye_konferencii/sbornik_po_konferencii_04.02.22.pdf (дата публикации: 21.09.2022).
9. Друзьянова, В. П. Энергосберегающая технология переработки навоза крупного рогатого скота : специальность 05.20.01 «Технологии и средства механизации сельского хозяйства» : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Друзьянова Варвара Петровна ; Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Северо-Восточный федеральный университет имени М. К. Аммосова». – Улан-Удэ, 2017. – 281 с. – Текст : непосредственный.
10. Колосова, Н. В. Процессы теплообмена в метантенке при сбраживании биомассы / Н. В. Колосова, О. В. Чеботарева, В. А. Сербин. – Текст : непосредственный // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури. – 2011. – Випуск 2011-5(91) Інженерні системи та техногенна безпека. – С. 31–37.

Получена 17.10.2022

Принята 28.10.2022

Н. В. КОЛОСОВА

ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ РЕАКТОРА ДЛЯ ПОПЕРЕДНЬОГО ПІДІГРІВУ БІОМАСИ В БІОГАЗОВІЙ УСТАНОВЦІ ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»

Анотація. Процес виробництва біогазу з відходів тваринницьких ферм залежить від різних технологічних факторів, основним з яких є температура зброджування. Для виробництва біогазу на практиці застосовують мезофільний режим зброджування. Технологічний процес роботи метантенка передбачає заміну частини зброженої маси свіжою біомасою декілька раз на добу. Температура свіжої біомаси в холодний період року значно нижче температури зброджування. Це призводить до зниження температури в метантенку. Метаногенні бактерії при мезофільному режимі зброджування чутливі до зміни температури. Коливання температури зброджування на кілька градусів може призвести до зниження об'єму одержуваного біогазу. Для уникнення коливань температури зброджування в метантенці після завантаження свіжої порції біомаси пропонується ввести в схему біогазової установки реактора для попереднього підігріву біомаси.

Ключові слова: метантенк, біогаз, температура зброджування, додатковий підігрів.

NELLI KOLOSOVA
EFFICIENCY OF USING A REACTOR FOR PREHEATING BIOMASS IN A
BIOGAS PLANT

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

Abstract. The process of biogas production from livestock farm waste depends on various technological factors, the main of which is the fermentation temperature. Mesophilic fermentation mode is used in practice for biogas production. The technological process of the methane tank provides for the replacement of part of the fermented mass with fresh biomass several times a day. The temperature of fresh biomass in the cold season is significantly lower than the fermentation temperature. This leads to a decrease in the temperature in the methane tank. Methanogenic bacteria in mesophilic fermentation mode are sensitive to temperature changes. Fluctuations in the fermentation temperature by several degrees can lead to a decrease in the volume of biogas produced. In order to avoid fluctuations in the fermentation temperature in the methane tank after loading a fresh portion of biomass, it is proposed to add a reactor for preheating biomass to the scheme of the biogas plant.

Key words: digester, biogas, digestion temperature, additional heating

Колосова Нелли Вадимовна – кандидат технических наук, доцент кафедры теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: энергоресурсосбережение.

Колосова Неллі Вадимівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри теплотехніки, теплогазопостачання та вентиляції ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: енергоресурсозбереження.

Kolosova Nelli – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Heat Engineering, Heat and Gas Supply and Ventilation Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: energy saving.