

## ГЕНЕРАЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ИЗ ОТХОДОВ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА С ПРИМЕНЕНИЕМ ТВЕРДООКСИДНОГО ТОПЛИВНОГО ЭЛЕМЕНТА

**А. С. Максимов<sup>1</sup>, В. Ф. Чухарев<sup>2</sup>, А. С. Липилин<sup>3</sup>,  
С. А. Иларионов<sup>1</sup>, С. М. Доросев<sup>2</sup>, А. В. Никонов<sup>3</sup>,  
А. В. Валенцев<sup>3</sup>, В. А. Липилина<sup>3</sup>, В. Н. Басов<sup>4</sup>, В. В. Горелов<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь; <sup>2</sup>Российский федеральный ядерный центр — Всероссийский научно-исследовательский институт технической физики имени акад. Е. И. Забабахина, Снежинск;

<sup>3</sup>Учреждение Российской академии наук ИЭФ УрО РАН, Екатеринбург;

<sup>4</sup>Межрегиональный центр биологических и химических технологий, Пермь

htb03\_starosta@rambler.ru

Анаэробное сбраживание отходов коммунального и сельского хозяйства вызывает в мире все больший интерес, так как позволяет получать экологически чистый энергоноситель — биогаз и снизить при этом эмиссию в атмосферу парниковых газов. Биогаз представляет собой возобновляемый энергоноситель, который может быть использован для замены традиционных видов топлива, т. к. метан, входящий в его состав, может быть использован как для генерации электрической и тепловой энергии, так и в качестве моторного топлива для всех видов автотранспорта. Шлам, образующийся в результате анаэробного сбраживания различных отходов, применяется в качестве удобрения. Важно отметить, что при анаэробном сбраживании происходит гибель большей части патогенных микроорганизмов, содержащихся в исходном субстрате.

Самым универсальным видом энергии, который легко конвертируется во все прочие, считается электрическая энергия и с каждым годом потребность человечества в ней растет, а традиционный способ использования биогаза в качестве топлива в системах когенерации, построенных на базе двигателей внутреннего сгорания (ДВС), к сожалению, обладает достаточно низким КПД. Также немаловажен и тот факт, что содержание метана в биогазе в течение цикла функционирования биогазовой установки может варьироваться, что негативно сказывается на функционировании ДВС, а при содержаниях метана в биогазе менее 50 об % делает его работу невозможной. Теоретически, этих недостатков лишены системы генерации электрической энергии построенные на базе твердооксидных

топливных элементов (ТОТЭ). В настоящее время во всем мире ведутся активные разработки систем генерации электрической энергии на базе ТОТЭ.

Таким образом, очень интересным — с практической точки зрения — способом использования биогаза можно считать конверсию его в синтез-газ который используется как топливо в батареях ТОТЭ.

Основными элементами опытной биогазовой установки стали реактор — метантенк, газгольдер, система термостатирования реактора, система очистки биогаза (рис. 1):

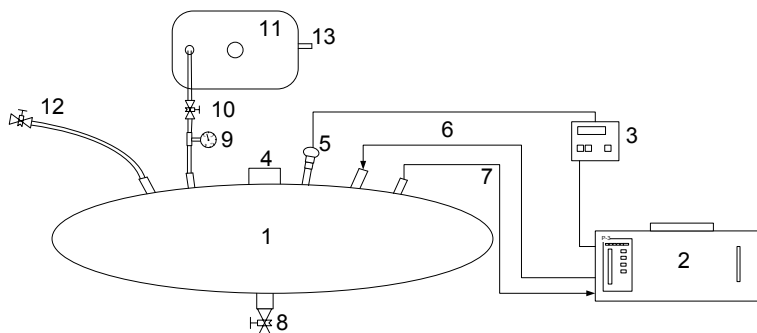


Рис 1. Схема опытной лабораторной биогазовой установки: 1 — реактор — метантенк; 2 — жидкостной термостат; 3 — цифровой измеритель — регулятор; 4 — отвод для загрузки субстрата в метантенк; 5 — термодатчик; 6 — ввод теплоносителя в гибкий погружной теплообменник; 7 — отвод теплоносителя из гибкого погружного теплообменника; 8 — кран для слива шлама из реактора; 9 — манометр для контроля давления в реакторе — метантенке; 10 — отвод для подключения газгольдера; 11 — газгольдер; 12 — кран аварийного сброса биогаза; 13 — отвод для подключения системы газоочистки

Система функционировала следующим образом: исходный субстрат загружался в реактор – метантенк, где протекали процессы разложения субстрата и образования биогаза. Метантенк представлял собой мягкую многослойную оболочную конструкцию объемом 30 л. Газгольдер объемом 25 л. использовался для промежуточного накопления биогаза. Для поддержания в реакторе — метантенке постоянной температуры 35 С° использовалась система термостатирования, состоящая из жидкостного термостата, гибкого теплообменника, помещенного внутрь реактора и цифрового измерителя — регулятора.

Образующийся биогаз отводился из реактора в газгольдер и далее в систему очистки биогаза, состоящую из, каскада барботажных абсорберов, заполненных 2 %-ным раствором ацетата кадмия. Биогаз после очистки поступал в каталитический конвертор метана, разработанный в Институте катализа СО РАН и изготовленный в РФЯЦ — ВНИИТФ, где преобразовывался в синтез газ, который подавался в исследовательскую ячейку ТОТЭ, изготовленную в ИЭФ УрО РАН.

Также были произведены эксперименты с модельной газовой смесью, содержащей 60 об % метана и 40 об % диоксида углерода.

При испытаниях в каталитический конвертор подавался поток очищенного биогаза с объемной скоростью 200 мл/мин и поток воздуха с объемной скоростью 166 мл/мин (соотношение воздух/топливо = 0,83). При работе с модельной газовой смесью расходы топлива и воздуха были аналогичны.

В ходе совместной работы в ФГУП «РФЯЦ — ВНИИТФ имени академика Е. И. Забабахина получены вольт-амперные и ватт-амперные характеристики для случая функционирования ТОТЭ на синтез-газе, полученном в результате конверсии модельной газовой смеси. В ИЭФ УрО РАН исследовалась работа ТОТЭ на синтез-газе, полученном в результате конверсии биогаза (Рис. 2, 3).

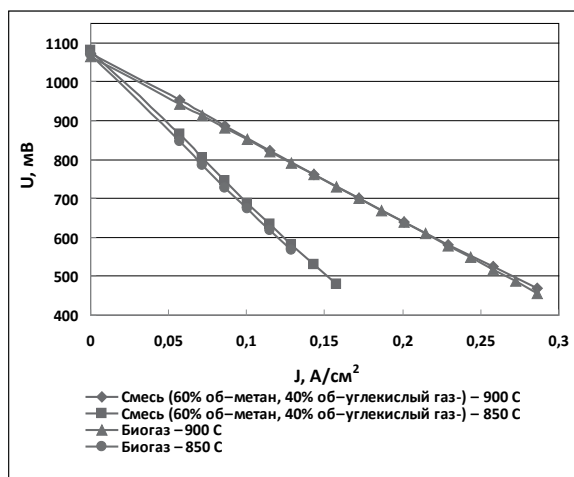


Рис. 2. Вольт-амперные характеристики ТОТЭ при работе на модельной газовой смеси и биогазе при функционировании в различных температурных режимах

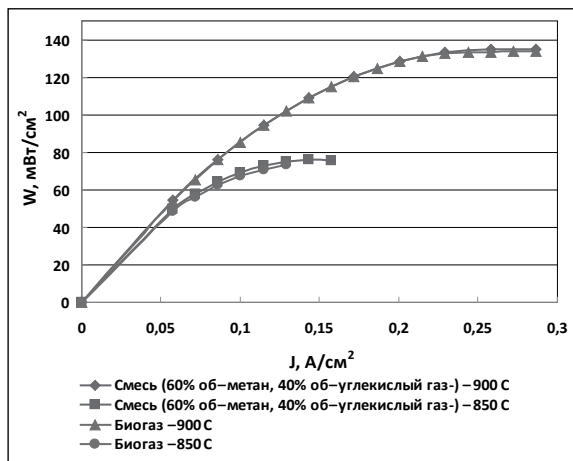


Рис. 3. Ватт-амперные характеристики ТОТЭ при работе на модельной газовой смеси и биогазе при функционировании в различных температурных режимах

Максимальная удельная электрическая мощность ТОТЭ при функционировании системы на биогазе была близка к той, которая была достигнута на модельной газовой смеси и составила около 135 мВт/см<sup>2</sup>.

Таким образом, в ходе данной работы показана принципиальная возможность использования биогаза в качестве топлива для энергоустановок на базе ТОТЭ.

#### GENERATION OF ELECTRICITY FROM ANIMAL WASTE USING SOLID OXIDE FUEL CELLS

*A. S. Maxsimov<sup>1</sup>, V. F. Chukharev<sup>2</sup>, A. S. Lipilin<sup>3</sup>, S. A. Ilarionov<sup>1</sup>,  
S. M. Dorosev<sup>2</sup>, A. V. Nikonov<sup>3</sup>, A. V. Valencev<sup>3</sup>, V. A. Lipilina<sup>3</sup>,  
V. N. Basov<sup>4</sup>, V. V. Gorelov<sup>4</sup>.*

*<sup>1</sup> Perm State National Research University, Perm; <sup>2</sup>Academician Zababakhin RFNC–VNIITF, Snezhinsk; <sup>3</sup>Institute of Electrophysics, Ekaterinburg;  
<sup>4</sup>Interregional Center for Biological and Chemical Technologies Ltd., Perm*

**Summary.** Discussed and experimentally demonstrated the possibility of using biogas as a fuel for electric power generation systems based on solid oxide fuel cells. Experiments have been conducted using a model gas mixture consisting of methane and 60 vol % 40 vol % carbon dioxide and using real biogas produced in the laboratory biogas plant original design.