

УДК 621.352.5

Гильфанов Камиль Хабибович-профессор, доктор технических наук,
Казанский Государственный Энергетический Университет;

Шигабутдинов Альмир Альбертович-студент 1 курса магистратуры,
группы ТПэм-1-25, кафедра «Автоматизация технологических процессов и
производств», Казанский Государственный Энергетический Университет.

ИНТЕГРИРОВАННАЯ МЕТОДОЛОГИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ НА БАЗЕ ТВЕРДООКСИДНЫХ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Аннотация. В исследовании представлена инновационная методология проектирования энергетических комплексов на основе твердооксидных топливных элементов (ТОТЭ). Разработанный вычислительный алгоритм интегрирует последовательное определение электрохимических потенциалов, многокритериальную оценку поляризационных потерь и расчет интегральных энергетических показателей. Экспериментальная апробация методологии на установке мощностью 10 кВт подтвердила достижение электропреобразовательного КПД в диапазоне 55-60%.

Ключевые слова: твердооксидные топливные элементы, вычислительная методология, энергетический комплекс, распределенная генерация, эффективность энергопреобразования.

Современный этап развития энергетической отрасли характеризуется активным внедрением высокоэффективных и экологически сбалансированных систем децентрализованной генерации. Значительный научно-технический интерес представляют твердооксидные топливные элементы (ТОТЭ), демонстрирующие потенциал достижения коэффициента полезного действия 60-70% при способности функционирования на различных видах топливных

ресурсов [1]. Фундаментальным ограничением масштабирования данных технологий остается высокая сложность проектировочных процедур, требующая внедрения прогрессивных методов термического моделирования [3] и совершенствования теплопередающих процессов [6].

Основная цель исследования состоит в разработке комплексной методологии проектирования энергоустановок на платформе ТОТЭ, синтезирующей термодинамический и электрохимический анализ с учетом современных достижений в области энергоэффективных отопительных систем [1] и интеллектуального регулирования теплообменным оборудованием [6]. В рамках реализации исследовательской программы решены следующие научно-технические задачи:

1. Структуризация вычислительного процесса от элементарного электрохимического модуля до комплексной энергетической установки
2. Разработка математического обеспечения для моделирования вольтамперных зависимостей
3. Создание алгоритмического базиса для интеграции вспомогательных системных компонентов

Методологическая основа исследования включает последовательные этапы:

1. Инициализация исходных проектных параметров (энергетические характеристики, топливный состав, токовые нагрузки)
2. Вычисление равновесных электрохимических потенциалов через преобразованное уравнение Нернста:

$$E = E_0 + \frac{RT}{2F} \ln \left(\frac{P_{H_2} \cdot P_{O_2}^{0.5}}{P_{H_2O}} \right) \quad E = E_0 + 2 \frac{FRT}{F} \ln (P_{H_2} O P_{H_2} \cdot P_{O_2}^{0.5})$$

3. Комплексный анализ поляризационных эффектов (активационных, резистивных, диффузионных) с применением методов термического моделирования [3]
4. Определение рабочих потенциалов: $V_{\text{cell}} = E - \sum \eta_i$

5. Расчет системных энергетических характеристик комплекса

Экспериментальная верификация методологии проведена на модели энергоустановки мощностью 10 кВт, функционирующей на природном газе. При термодинамических параметрах 1073 К и плотности тока 0.5 А/см² установлены следующие показатели:

- Рабочий потенциал электрохимического элемента: 0.70 В
- Энергетическая эффективность системы: 58%
- Тепловая мощность когенерационного контура: 7.5 кВт

Полученные расчетные показатели демонстрируют корреляцию с референсными научными данными [2, 4]. Предложенная методология обеспечивает репрезентативную оценку ключевых параметров ТОТЭ-систем и может быть эффективно применена на стадии предпроектного анализа. Перспективные направления дальнейших исследований включают внедрение нейросетевого моделирования для оптимизации теплообменных поверхностей и создание гелиоабсорбционных систем тепловодоснабжения.

Список литературы:

1. Gilfanov K.H., Tien N., Gaynullin R.N., Hollyey I.B. Energy Efficient Heat Supply System for Electric Power Facilities // E3S Web of Conferences. 2019. Vol. 124. P. 01011.
2. Singhal S.C., Kendall K. High-temperature solid oxide fuel cells. – Elsevier, 2003.
3. Гильфанов К.Х., Гайнуллин Р.Н., Неуен Т. Энергосберегающая система отопления объектов электроэнергетики // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2020. Т. 12. № 1 (45). С. 46-53.
4. Stambouli A.B., Traversa E. Solid oxide fuel cells // Renewable Energy. – 2002. – Vol. 6. – P. 433-455.

5. Бутырин П.А. Анализ эффективности энергоустановок на основе ТОТЭ // Альтернативная энергетика. – 2015. – № 10. – С. 25-34.
6. Гильфанов К.Х., Шакиров Р.А., Гайнуллин Р.Н., Коннов Ф.В. Способ интенсификации теплообмена на основе интеллектуального управления режимными характеристиками теплообменного оборудования // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2022. Т. 14. № 4 (56). С. 91-102.