

## ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ГИБРИДНОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА НА ОСНОВЕ ТОТЭ ДЛЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Ворошилов А. А. – аспирант,  
Шароватов Р. А. – магистрант,  
Научный руководитель – Шалухо А. В., к. т. Н., доцент кафедры  
«Электроэнергетика, электроснабжение и силовая электроника»,  
Нижегородский государственный технический  
университет им. Р. Е. Алексеева,  
г. Нижний Новгород, Российская Федерация

**Аннотация:** статья посвящена проблеме повышения экологичности и надежности электроснабжения удаленных сельскохозяйственных предприятий (СХП). В работе рассматривается применение энергоустановки на основе твердооксидных топливных элементов (ТОТЭ), использующей в качестве топлива биогаз из утилизированных отходов сельхозпроизводства. Разработана и исследована Simulink-модель автономной системы электроснабжения животноводческого СХП, включающая энергоустановку на ТОТЭ, систему накопления электроэнергии на основе аккумуляторных батарей и резервный источник питания. Результаты исследований будут использованы для разработки алгоритмов управления работой системы электроснабжения СХП.

**Ключевые слова:** система электроснабжения, сельскохозяйственное предприятие, ТОТЭ, биогаз, Simulink-модель.

## RESEARCH OF OPERATION MODES OF HYBRID ENERGY COMPLEX BASED ON SOFC FOR POWER SUPPLY OF AGRICULTURAL ENTERPRISE

**Abstract:** the article is devoted to the problem of improving the environmental friendliness and reliability of power supply to remote agricultural enterprises (SHP). The paper considers the use of a power plant based on solid oxide fuel cells (SOFC), which uses biogas from recycled agricultural waste as a fuel. A Simulink model of an autonomous power supply system for livestock farming has been developed and studied, including a SOFC power plant, an electric power storage system based on batteries and a backup power source. The results of the research will be used to develop algorithms for managing the operation of the power supply system of agricultural enterprises.

**Keywords:** power supply system, agricultural enterprise, SOFC, biogas, Simulink model.

Введение. Одной из наиболее перспективных технологий производства электроэнергии являются топливные элементы, основные преимущества которых заключаются в высокой энергетической эффективности и экологичности [1]. В зависимости от рабочей температуры выделяют низкотемпературные и высокотемпературные топливные элементы.

К высокотемпературным относятся твердооксидные топливные элементы (ТОТЭ), температура рабочих режимов которых составляет от 650 до 1000 °С, что обеспечивает возможность использования в качестве топлива биогаза [2]. Это делает перспективным применение ТОТЭ в системах электроснабжения удаленных животноводческих и растениеводческих сельскохозяйственных предприятий (СХП), имеющих возможность производства биогаза. Вместе с тем, ТОТЭ характеризуются низкой маневренностью и большой продолжительностью выхода на оптимальный режим работы, что затрудняет их интеграцию в системы электроснабжения.

Цель работы заключается в разработке Simulink-модели автономной системы электроснабжения СХП и исследовании с ее помощью режимов работы для последующей разработки алгоритмов управления.

Simulink-модель автономной системы электроснабжения СХП.

Основными блоками рассматриваемой автономной системы являются (рис. 1): энергоустановка на ТОТЭ, работающая на биогазе, система накопления на основе аккумуляторных батарей (АБ), резервная газопоршневая энергоустановка, работающая на биогазе, балластная нагрузка.

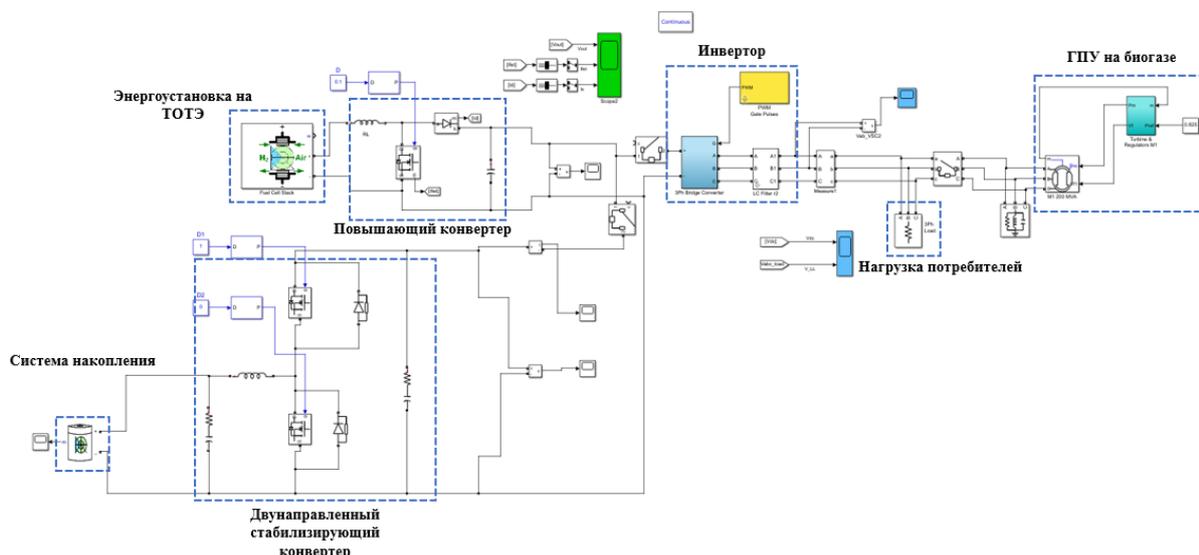


Рисунок 1 – Simulink-модель автономной системы электроснабжения с энергоустановкой на ТОТЭ

Сопряжение энергоустановки на ТОТЭ и АБ осуществляется на шине постоянного тока с помощью преобразователей DC/DC. Для питания потребителей применяется инвертор DC/AC. Резервный маневренный источник питания (ГПУ на биогазе) подключается к шине переменного тока. АБ и ре-

зервная энергоустановка применяются для обеспечения баланса электрической мощности при изменении нагрузки потребителей в течение суток.

Исследование режимов работы.

Можно выделить 4 основных режима работы системы.

Режим 1 – накопление излишков генерации ТОТЭ в АБ:

$$P_{AB}(t) = P_{ТОТЭ}(t) - P_H(t), \quad (1)$$

где  $P_H$  – мощность нагрузки потребителя;

$P_{AB}$  – входная мощность АБ;

$t$  – текущий момент времени.

Режим 2 – утилизация излишков генерации ТОТЭ при полностью заряженных АБ:

$$P_{BH}(t) = P_{ТОТЭ}(t) - P_H(t), \quad (2)$$

где  $P_{BH}$  – мощность, утилизируемая на балластной нагрузке.

Режим 3 – Использование запасенной в АБ энергии для покрытия пиков нагрузки:

$$P_H(t) = P_{ТОТЭ}(t) + P_{AB}(t). \quad (3)$$

Режим 4 – Включения резервной ГПУ для покрытия пиков нагрузки при недостатке запасенной в АБ энергии.

$$P_H(t)^- = P_{ТОТЭ}(t) + P_{ГПУ}(t), \quad (4)$$

где  $P_{ГПУ}$  – мощность, вырабатываемая ГПУ.

Основным критерием для определения режима работы является потребляемая СХП мощность. С помощью Simulink-модели проведено исследование параметров работы системы в данных режимах.

Работа выполнена в рамках государственного задания на оказание государственных услуг (тема №FSWE-2022-0005).

Заключение.

В ходе имитационного моделирования режимов работы определено, что наиболее сложным для технической реализации является режим работы ТОТЭ совместно с ГПУ. На основе результатов имитационного моделирования режимов работы системы электроснабжения с ТОТЭ в ходе дальнейших исследований будут разработаны алгоритмы управления параметрами данной системы.

#### Список литературы

1. Филиппов, С. Топливные элементы и водородная энергетика / С. Филиппов, А. Голодницкий, А. Кашин // Энергетическая политика. – 2020. – Вып. 11. – С. 28–39.
2. Соснина, Е. Н. О применении ТОТЭ на биогазе в системе электроснабжения сельскохозяйственных предприятий / Е. Н. Соснина, А. В. Шалухо, Л. Е. Веселов // Интеллектуальная электротехника. – 2020. – Вып. 4 (12). – С. 27–41.