

ИССЛЕДОВАНИЕ КОРРЕЛЯЦИИ МЕЖДУ ВЫХОДНЫМ ПОСТОЯННЫМ НАПРЯЖЕНИЕМ МИКРОБНОГО ТОПЛИВНОГО ЭЛЕМЕНТА И СЕЗОННЫМИ ТЕМПЕРАТУРНЫМИ РЕЖИМАМИ ПОЧВЫ

Красоткина Е.А.¹, Гладышева М.С.¹, Молодкина Н.Р.¹

Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент Молодкина Н.Р.¹

¹Университет ИТМО

Введение

Микробные топливные элементы (МТЭ) рассматриваются как перспективная технология для питания автономных систем экологического мониторинга. Преобразование химической энергии органических веществ посредством жизнедеятельности микроорганизмов делает такие системы потенциально самодостаточными. Однако, несмотря на значительный прогресс в лабораторных исследованиях архитектуры МТЭ, материалов электродов и изучении факторов эффективности [1, 2], вопросы долгосрочной стабильности их работы в условиях естественной среды остаются малоизученными, что и затрудняет прогнозирование их работы для практического внедрения. Дефицит данных о количественном влиянии естественных сезонных факторов, прежде всего температуры, на выходные характеристики МТЭ в полном годовом цикле определяет актуальность настоящего исследования.

Основная часть

Целью работы являлось установление количественных закономерностей влияния сезонной динамики температуры почвы и воздуха на электрохимические показатели МТЭ в ходе длительного натурного эксперимента. Для решения поставленной задачи была разработана и развернута экспериментальная установка, включающая три идентичных почвенных МТЭ. Конструкция элементов представляла собой однокамерную систему с горизонтальным анодом из модифицированного углеродного войлока, заглубленным на 10 см, и воздушным катодом из аналогичного материала на поверхности. Эксперимент проводился на территории Республики Крым в естественной суглинистой почве с высоким содержанием гумуса. В течение шести месяцев (август 2025 – январь 2026) осуществлялся ежедневный мониторинг напряжения разомкнутой цепи (НРЦ) каждого МТЭ, температуры воздуха и почвы на глубине анода. Полученный массив данных был подвергнут статистическому анализу, включая корреляционный Пирсона и регрессионный анализ, для оценки силы и характера связи между параметрами. Такой подход позволил получить детализированные временные ряды, отражающие реакцию биоэлектрохимической системы на реальный природный температурный стресс, включая переход через 0°C.

Выводы

В результате проведенного исследования впервые для условий длительного полевого эксперимента получены количественные оценки влияния температуры на работу почвенных МТЭ. Установлена выраженная сезонная динамика: максимальные значения НРЦ (200-275 мВ) зафиксированы в конце лета – начале осени, с последующим спадом до 30-60 мВ в зимний период. Выявлена статистически значимая положительная корреляция между температурой почвы и генерируемым напряжением. Коэффициент корреляции Пирсона для отдельных элементов достигал 0,9, что подтверждает доминирующее влияние именно

почвенной температуры. Регрессионный анализ показал, что в диапазоне от 0 до +16°C повышение температуры почвы на 1°C приводит к увеличению НРЦ в среднем на 4.1 мВ. Экспериментально подтверждено сохранение минимальной электрохимической активности (до 15% от летних значений) при околонулевых температурах. Полученные результаты имеют практическую значимость для проектирования автономных систем экологического мониторинга, позволяя прогнозировать энергопотенциал МТЭ в зависимости от климатических условий и обосновывать необходимость применения аккумулирующих элементов или адаптивных алгоритмов сбора энергии для обеспечения круглогодичной работы сенсоров.

Литература

1. Logan B. E. Exoelectrogenic bacteria that power microbial fuel cells // *Nature Reviews Microbiology*. – 2009. – Т. 7. – №. 5. – С. 375-381.
2. Banerjee A., Calay R. K., Mustafa M. Review on material and design of anode for microbial fuel cell // *Energies*. – 2022. – Т. 15. – №. 6. – С. 2283.
3. Ayala-Ruiz D. et al. A self-powered PMFC-based wireless sensor node for smart city applications // *Wireless Communications and Mobile Computing*. – 2019. – Т. 2019. – №. 1. – С. 8986302.