

DOI: 10.25205/978-5-4437-1843-9-100

ПРИМЕНЕНИЕ МОДИФИЦИРОВАННОГО КАТОДА ДЛЯ ВЫРАБОТКИ ПЕРЕКИСИ ВОДОРОДА В РАСТИТЕЛЬНОМ МИКРОБНОМ ТОПЛИВНОМ ЭЛЕМЕНТЕ^{*}

APPLICATION OF MODIFIED CATHODE FOR HYDROGEN PEROXIDE PRODUCTION IN THE PLANT MICROBIAL FUEL CELL

Р. В. Лепикаш, С. В. Алферов

Лаборатория экологической и медицинской биотехнологии Тульского государственного университета

R. V. Lepikash, S. V. Alferov

Laboratory of Environmental and Medical Biotechnology, Tula State University

✉ mr.romalep@yandex.ru

Аннотация

В данной работе для улучшения электрохимических характеристик и выработки H_2O_2 в двухкамерных растительных микробных топливных элементах в качестве катода использовали электрохимически окисленный углеродный войлок. Показано, что применение модифицированного катода в РМТЭ увеличивает мощность и снижает внутреннее сопротивление. В режиме замкнутой цепи выработка H_2O_2 увеличивается в 5 раз.

Abstract

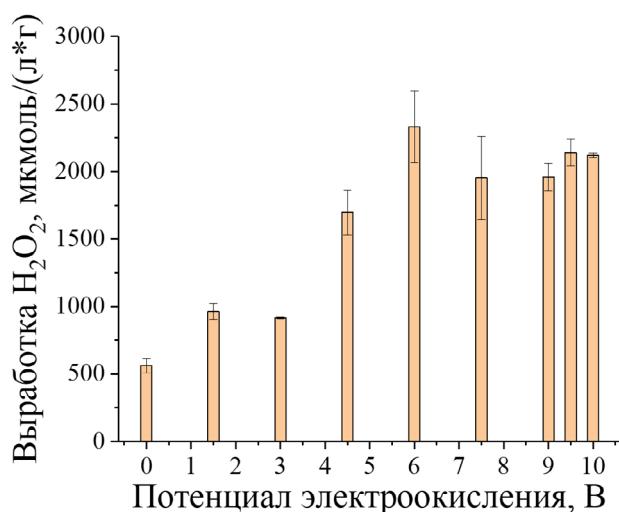
In this work, electrochemically oxidized carbon felt was used as a cathode to improve the electrochemical characteristics and H_2O_2 production in dual-chamber plant microbial fuel cells. It was shown that the use of a modified cathode in PMFC increases the power and reduces the internal resistance. In the closed-circuit mode, the production of H_2O_2 increases 5 times.

Традиционные централизованные системы очистки сточных вод имеют высокую стоимость и не могут использоваться в отдаленных районах из-за экономической неэффективности [1]. В связи с этим возрастает интерес к децентрализованным системам очистки, которые позволяют локально обрабатывать сточные воды. Применение биоэлектрохимических систем, в частности растительных микробных топливных элементов [2], позволяет разработать децентрализованную автономную систему очистки сточных вод и снизить антропогенную нагрузку на окружающую среду. Полученная в результате окисления органических соединения электроэнергия может быть направлена на выработку H_2O_2 в катодном пространстве для электрофентоновских процессов [3].

Процессы электро-Фентона применяются для удаления токсичных органических соединений путем генерации H_2O_2 и его последующего взаимодействия с ионами Fe^{2+} , в результате чего происходит разложение перекиси водорода с образованием высокореакционных радикалов $OH\cdot$, эффективно окисляющих органические соединения [4]. В настоящее время исследуются подходы к увеличению эффективности данных процессов за счет использования катализаторов реакции восстановления кислорода по двухэлектронному механизму до H_2O_2 . В качестве перспективного катодного материала рассматривают модифицированные углеродные материалы, обладающие низкой стоимостью, развитой поверхностью и низкой токсичностью [3]. Для увеличения выработки перекиси в реакции электро-Фентона в данной работе был выбран электрохимический способ окисления углеродного войлока. Полученный электрод далее использовался в качестве катода в двухкамерном растительном микробном топливном элементе на основе бактерий *Pseudomonas chlororaphis* BKB B-2188D и растения *Lemna minor*.

Модификацию углеродного войлока проводили электрохимически в потенциостатическом режиме в 5%-м (0,38 М) электролите $(NH_4)_2HPO_4$ при различных потенциалах в двухэлектродной системе. В качестве рабочего электрода использовали углеродной войлок, в качестве электрода сравнения — графитовый стержень. После электрод промывали и высушивали при 195 °C. Оценку выработки H_2O_2 (рис. 1) проводили в потенциостатическом режиме в трехэлектродной ячейке при -0,5 В с непрерывной аэрацией. Электролит содержал 0,05 М Na_2SO_4 , подкисленный до $pH = 3$. Количественный анализ H_2O_2 проводили спектрофотометрическим методом, основанным на окислении I^- до I_2 в кислой среде [5] с последующим образованием окрашенного комплекса KI_3 и измерении оптической плотности при $\lambda = 350$ нм [6].

* Исследование выполнено при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках государственного задания № FEWG-2024-0003 «Биокатализитические системы на основе клеток микроорганизмов, субклеточных структур и ферментов в сочетании с наноматериалами».

Рис. 1. Выработка H₂O₂ в потенциостатическом режиме

Электроокисленный войлок демонстрирует повышенную выработку перекиси в потенциостатическом режиме, что обусловлено увеличением площади поверхности и наличием кислородсодержащих групп, которые проявляют каталитическую активность в реакции восстановления кислорода по двухэлектронному пути до H₂O₂ [7]. Углеродный войлок, электроокисленный при напряжении 6 В, использовали в двухкамерной системе РМТЭ.

Для исследуемых систем РМТЭ измеряли потенциал разомкнутой цепи (E_{OCP} , мВ) и силу тока короткого замыкания (I_{sc} , мА), по поляризационным кривым (рис. 2) определяли удельную мощность (P , мВт/м²) и внутреннее сопротивление ($R_{\text{вн}}$, Ом). Выработку H₂O₂ оценивали через неделю функционирования двухкамерной системы РМТЭ в режиме замкнутой цепи при $R = 100$ Ом. Электрохимические параметры систем РМТЭ по сравнению с контролем представлены в таблице.

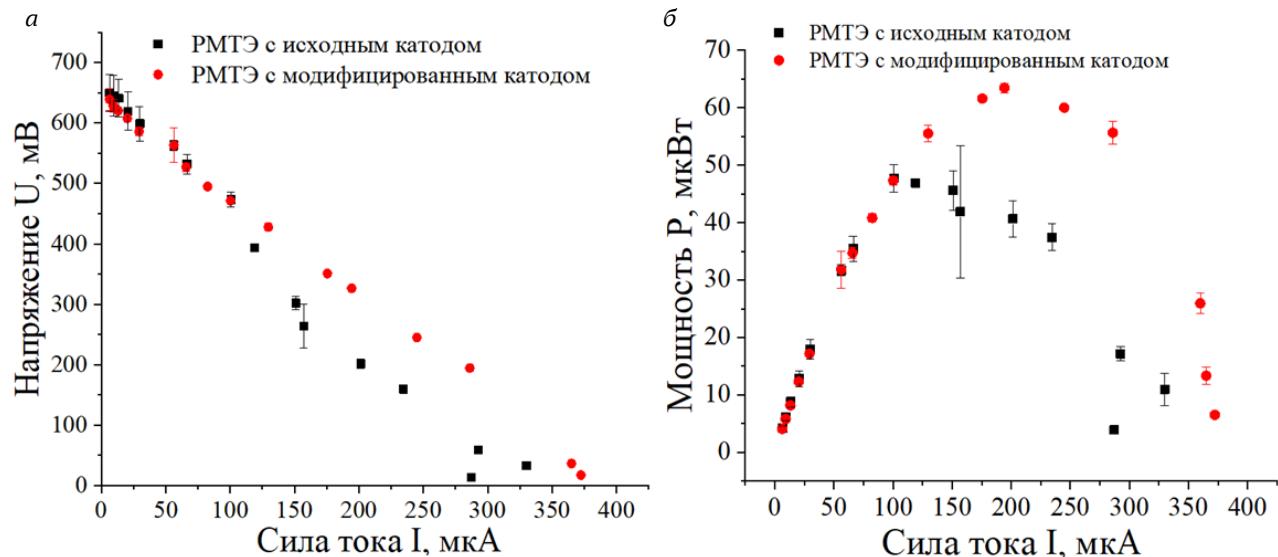


Рис. 2. Поляризационная кривая (а) и кривая мощности (б) для двухкамерных РМТЭ

Электрохимические характеристики двухкамерных систем РМТЭ

Характеристика	Вид катода	
	РМТЭ-УВ-контроль	РМТЭ-УВ-окисленный
Потенциал разомкнутой цепи, E_{OCP} , мВ	650 ± 20	631 ± 7
Сила тока короткого замыкания I_{sc} , мА	330 ± 30	410 ± 10
Мощность P , мкВт	48 ± 2	64 ± 1
Внутреннее сопротивление $R_{\text{вн}}$, кОм	2,1 ± 0,2	1,6 ± 0,1
Выработка H ₂ O ₂ , мкмоль/л	2,1 ± 0,9	11 ± 2

Применение электрохимически окисленного углеродного войлока способствует снижению внутреннего сопротивления и увеличению мощности системы РМТЭ за счет образования кислородсодержащих групп, катализирующих реакцию восстановления кислорода до H₂O₂ [7]. При функционировании в режиме замкнутой цепи выработка перекиси увеличивается практически в 5 раз. Таким образом, полученный углеродный войлок может быть использован в качестве катода в системах био-электро-Фентона.

Литература

1. Sha C. et al. A Review of Strategies and Technologies for Sustainable Decentralized Wastewater Treatment // Water. MDPI AG, 2024. Vol. 16, No. 20. P. 3003.
2. Kataki S. et al. Constructed wetland, an eco-technology for wastewater treatment: A review on various aspects of microbial fuel cell integration, low temperature strategies and life cycle impact of the technology // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2021. Vol. 148. P. 111261.
3. Lv J. et al. A critical review of approaches to enhance the performance of bio-electro-Fenton and photo-bio-electro-Fenton systems // Journal of Environmental Management. 2024. Vol. 365. P. 121633.
4. Berhe R. N. et al. Performance evaluation of Fe₃O₄@ACF-supported bio-electro Fenton system for simultaneous sewage treatment and methyl orange degradation // Materials Today Communications. 2023. Vol. 35. P. 106331.
5. Sunil K., Narayana B. Spectrophotometric Determination of Hydrogen Peroxide in Water and Cream Samples // Bull. Environ. Contam. Toxicol. 2008. Vol. 81, No. 4. P. 422–426.
6. Алукер Н. Л., Herrmann M. Спектрофотометрическое определение форм присутствия йода в растворах соединений йода // Оптика и спектроскопия. 2021. Т. 129, № 5. С. 659.
7. Miao J. et al. Graphite felt electrochemically modified in H₂SO₄ solution used as a cathode to produce H₂O₂ for pre-oxidation of drinking water // Chemical Engineering Journal. 2014. Vol. 250. P. 312–318.