

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 соединений 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  $OH^\bullet$ , 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* ВКВ В-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 углеродный войлок, в качестве электрода сравнения — графитовый стержень. После электрод промывали и высушивали при 195 °С. 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 «Биокаталитические системы на основе клеток микроорганизмов, субклеточных структур и ферментов в сочетании с наноматериалами».

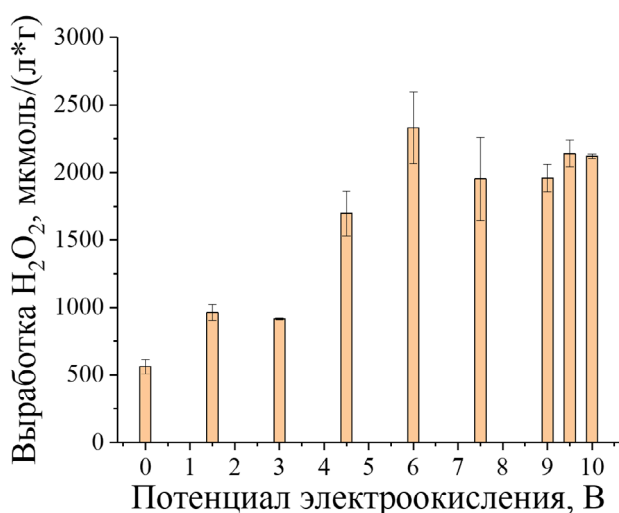


Рис. 1. Выработка  $H_2O_2$  в потенциостатическом режиме

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 двух-электронному пути до  $H_2O_2$  [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 ( $I_{KЗ}$ , мА), по поляризационным кривым (рис. 2) определяли удельную мощность ( $P$ , мВт/м<sup>2</sup>) и внутреннее сопротивление ( $R_{внт}$ , Ом). Выработку  $H_2O_2$  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.

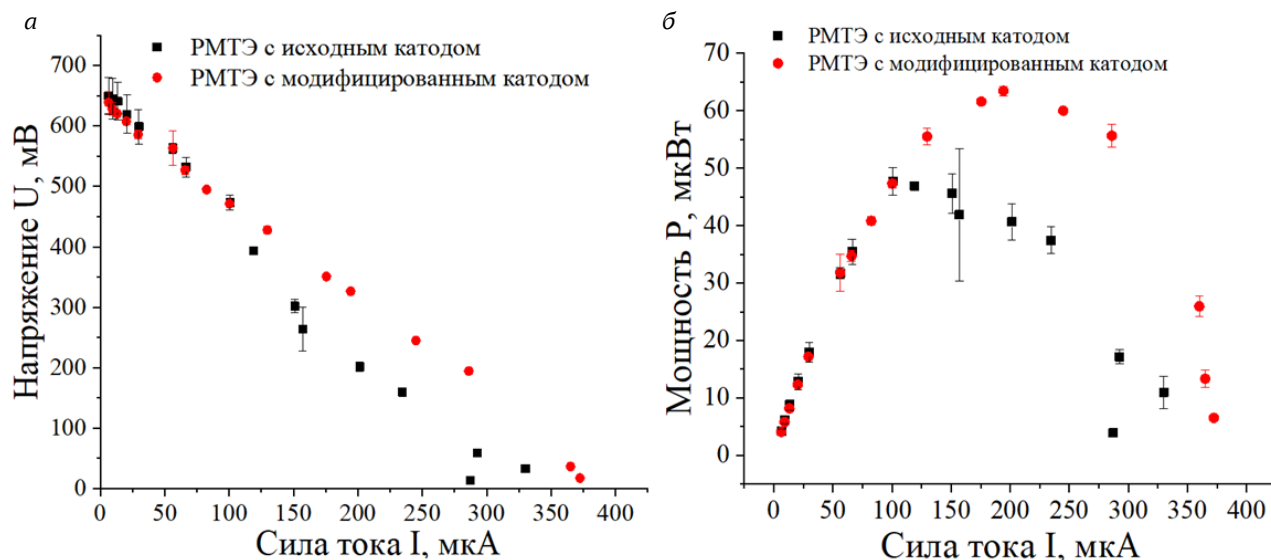


Рис. 2. Поляризационная кривая (а) и кривая мощности (б) для двухкамерных РМТЭ

#### Электрохимические характеристики двухкамерных систем РМТЭ

Характеристика	Вид катода	
	РМТЭ-УВ-контроль	РМТЭ-УВ-окисленный
Потенциал разомкнутой цепи, $E_{OCP}$ , мВ	$650 \pm 20$	$631 \pm 7$
Сила тока короткого замыкания $I_{KЗ}$ , мкА	$330 \pm 30$	$410 \pm 10$
Мощность $P$ , мкВт	$48 \pm 2$	$64 \pm 1$
Внутреннее сопротивление $R_{внт}$ , кОм	$2,1 \pm 0,2$	$1,6 \pm 0,1$
Выработка $H_2O_2$ , мкмоль/л	$2,1 \pm 0,9$	$11 \pm 2$

Применение электрохимически окисленного углеродного войлока способствует снижению внутреннего сопротивления и увеличению мощности системы РМТЭ за счет образования кислородсодержащих групп, катализирующих реакцию восстановления кислорода до  $H_2O_2$  [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 Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@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 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> solution used as a cathode to produce H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> for pre-oxidation of drinking water // *Chemical Engineering Journal*. 2014. Vol. 250. P. 312–318.