

WASTEWATER AS A SOURCE OF ENERGY IN MICROBIAL FUEL CELLS

Yagofarova A.Y., Kurmanbaev A.A., Berdimuratov K.T., Ahmetollaev I.A.

Republican State Enterprise «National Center for Biotechnology» under the Science Committee of Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan,
13/5, Kurgalzhynskoye road, Astana, 010000, Kazakhstan
almirayagy@mail.ru

ABSTRACT

We investigated the simultaneous production of electrical power and wastewater sludge recycling by microbial fuel cells (MFC). The constructed MFC were comprised of two chambers, each with an approximate volume of 100ml, which were connected by salt bridge or proton exchange membrane (PEM). The graphitic anode was placed in one chamber, which was filled with wastewater sludge from a sewage treatment plant of Astana or a medium with acetate and electrogenic strain; a graphite cathode was placed in the other chamber and filled with an electrolyte. Several prototypes were created and tested in our laboratory. The most important parameters such as voltage and amperage were measured during 9 days; the maximum values obtained were 0.6V and 0.7mA. Moreover, the power generated by the MFC made in our laboratory was 0.42mW. Glass wool was selected as the material for PEM. The electrogenic properties of the selected bacterial strains *Bacillus amylofaciens*U15, *Enterobacter*Ps7, and *Lactobacillus fermentum*TB4 were studied. *Enterobacter*Ps7 was more active than the others. The fuel cell blocks were designed to accommodate a voltage increase. Thus, the eight MFC were connected successively. The maximum voltage was 2.6V and amperage 30 μ A. The maximum power of the electric current was 78.0 μ W.

Keywords: Microbial fuel cells, recycling of organic waste, electricity, electrogenic bacteria

УДК 541.135

СТОЧНЫЕ ВОДЫ КАК ИСТОЧНИК ЭЛЕКТРИЧЕСТВА В МИКРОБНЫХ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ

Ягофарова А.Я., Курманбаев А.А., Бердимуратов К.Т., Ахметоллаев И.А.

РГП «Национальный центр биотехнологии», КН МОН,
Кургальжинское шоссе, 13/5, Астана, 010000, Казахстан
almirayagy@mail.ru

АБСТРАКТ

В работе рассматривается получение электрического тока при одновременном разложении илов городских муниципальных вод при помощи микробного топливного элемента (МТЭ). Микробная топливная ячейка состоит из двух пластиковых герметично закрытых контейнеров – камер, соединенных солевым мостиком или протон-проницаемой мембраной (ППМ). В анодную часть помещали графитовый анод и заполняли камеру илами городских сточных вод, отобранных на станции очистки КОС ГКП «Астана Су Арнасы», либо с чистой электрогенной культурой. Катодную часть заполняли электролитом с графитовым катодом.

На базе лаборатории были собраны несколько прототипов МТЭ, основные параметры которых измеряли в течение 9 суток. Максимальные значения напряжения составляли 0,6В при силе тока 0,7мА на 7 сутки, при этом значение мощности собранной ячейки составило 0,42 мВт.

Проведены работы по подбору материала для использования в качестве протон-проницаемой мембраны. Установлено, что оптимальным материалом для МТЭ, собранного на базе лаборатории, является стекловолокно.

Далее проводили работу по изучению электрогенных свойств чистых культур *Bacillus amylofaciens*U15, *Enterobacter*Ps7, *Lactobacillus fermentum*TB4. Установлено, что культура *Enterobacter*Ps7 проявляла наибольшую электрогенную активность.

Для увеличения вырабатываемого напряжения был собран блок топливных элементов, в котором последовательно соединили восемь топливных ячеек. Найдено, что максимальное напряжение составило 2,6 В, сила тока – 30,0 мкА. Максимальная мощность электрического тока составила 78,0 мкВт.

ВВЕДЕНИЕ

Концепция устойчивого развития требует снижения зависимости от ископаемого топлива и снижения количества загрязнений, поступающих при сжигании топлива в окружающую среду. В этой связи возникает неослабевающий интерес к развитию альтернативной энергетики, в частности, биоэнергетики.

Биоэнергетика – наука о механизмах трансформации энергии в биологических системах, является одним из интенсивно развивающихся разделов биотехнологии. Это направление включает в себя обширное количество процессов, одним из которых является создание микробных биотопливных элементов.

Текущие мировые потребности в энергии оцениваются примерно в $5,3 \times 10^{20}$ Дж/год. Большинство этой энергии (более 80%) получают выделением и сжиганием ископаемого углерода из органических залежей нефти (32%) угля (27%) и природного газа (21%)[1]. При этом эффективность конверсии в электроэнергию составляет примерно 46%, остальное является причиной эмиссии парниковых газов в атмосферу, что в свою очередь приводит к глобальным изменениям климата: его потеплению. Население планеты стремительно растет с 2,5 млрд. до 6 млрд. человек в 2000 г., к 2050 году около 9 млрд. человек будут проживать на планете Земля. В настоящее время выбросы углекислого газа составляют 30 Гт/год. При сохранении существующей тенденции к 2050 году выбросы могут составить 40 Гт/год углекислого газа, что может привести к повышению температуры на планете до +4°C и более. Последствия такого повышения температуры катастрофические. Неслучайно проблема парниковых газов рассматривается как вызов номер один для выживания человечества[2].

В этой связи остро стоит задача за текущее десятилетие к 2020 году снизить темпы роста выбросов углекислого газа таким образом, чтобы повышение температуры не превышало +2°C. Для решения данной проблемы необходимо снизить зависимость энергетики от ископаемого топлива, в первую очередь от угля, повысить эффективность использования энергии, сократить количество выбросов от использования ископаемого топлива[3].

Нельзя не отметить, что ценность нефти как химического сырья для химической промышленности гораздо выше, чем энергетическая. Д.Менделеев по поводу сжигания нефти для энергетических нужд, а в наше время это в значительной степени касается и ДВС автомобилей, высказался следующим образом «Использовать нефть в качестве топлива – это все равно, что топить печь ассигнациями!». Общеизвестно, что наша пластиковая цивилизация строится на продуктах переработки нефти. Из нефти вырабатывается практически все – искусственные волокна, каучук, полимеры, растворители, лаки, краски, спирты, взрывчатые вещества, глицерин, ПАВы и многое другое, без чего трудно представить современную цивилизацию. И здесь остро стоит проблема мирового пика добычи нефти. Большинство экспертов сходятся во мнении, что он достигнут, и эта информация скрывается, чтобы избежать паники на биржах. И если это так, то нефть как источник сырья становится важным стратегическим ресурсом номер один.

Все вышесказанное остро ставит проблему использования альтернативных источников энергии для решения глобального изменения климата, которые с одной стороны позволят снизить зависимость энергетики от нефти, а с другой – снизить количество выбросов углекислого газа. Не вдаваясь в подробности солнечной, ветровой и других альтернативных источников энергии в данной статье, мы бы хотели сделать акцент на вкладе биотехнологии, а именно биоэнергетики, в решение проблемы глобального потепления.

Одна из первых работ по генерации электроэнергии бактериями опубликована в 1911 году М. Potter [4]. Сегодня микробные топливные элементы привлекают все больше внимания, за последние 15 лет опубликовано 90% публикаций по этой теме. МТЭ представляют собой потенциальное решение энергетических потребностей за счет возобновляемых и экологически чистых источников энергии.

Особый интерес микробный топливный элемент привлекает в связи с возможностью утилизации органических отходов с одновременной выработкой электричества. Отходы сельского хозяйства, деревоперерабатывающей промышленности, пищевые и др. могут обеспечивать энергией потребителей в населённых пунктах, сельскохозяйственных и промышленных зонах за счет небольших установок по переработке. Это позволит решить проблему избыточного накопления органических отходов и снизить зависимость потребителей от традиционных источников энергии[5].

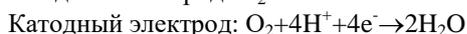
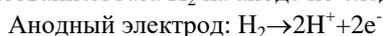
На сегодняшний день разработано несколько конструкций МТЭ. Наиболее отработанной является модель с использованием протон-проницаемых мембран (ППМ). Имеются двухкамерные модели и однокамерные модели. Однако ППМ является «ахиллесовой пятой» МТЭ. Они дороги и подвергаются быстрому обрастанию биопленками микроорганизмов, это отрицательно сказывается на производительности ТЭ. Ниже показана схема устройства МТЭ и принцип его работы[6].



Рис. 1. Схема устройства МТЭ и принцип его работы

Fig. 1. Scheme of MFC and the principle of it work

Для подпитки ТЭ используются субстраты, такие как H_2 , метанол, этанол, и т.д. Таким образом, реакции, происходящие в топливном элементе, можно описать следующим образом. Водород на анодном электроде изменяется в ион водорода и высвобождаются электроны. Эти электроны движутся через внешнюю цепь (контур) к катоду и производят электрический ток. Анодные и катодные реакции в МТЭ происходят с образованием газа H_2 на аноде по следующей схеме:



Преимуществами топливных элементов по сравнению с другими типами устройств, которые производят энергию, являются:

- более высокая эффективность;
- отсутствие подвижных частей и, как следствие, отсутствие звукового загрязнения;
- нет выбросов экологически загрязняющих газов, таких как SO_x , NO_x , CO_x , и т.д. [7].

Таким образом, МТЭ являются объектом современных интенсивных исследований в области биоэнергетики. Интерес к ним подогревается из-за их способности производить энергию из возобновляемых источников, таких как осадок сточных вод – ил и других подобных источников. Поэтому исследования в данном направлении являются очень актуальными.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Микробная топливная ячейка была выполнена из двух пластиковых герметично закрытых контейнеров – камер, соединенных в одном прототипе солевым мостиком и в других случаях мембраной.

Солевой мостик выполнен из стеклянной трубки, заполненной агаризированным электролитом на основе нитрата натрия. Для приготовления солевого мостика предварительно растворяли 15 г $NaNO_3$ (х.ч.) и 3 г агара в 150 мл деионизированной воды (деионизатор Sartorius 810A, Германия).

Мембраной, пропускающей протоны, послужило стекловолокно марки NovolPlus720.

В анодную часть помещали графитовый анод, выполненный из графитовых щеток от электромотора. Камеру заполняли илами городских сточных вод, отобранных на станции очистки КОС ГКП «Астана Су Арнасы». Затем камеры плотно закрывали крышкой, создавая анаэробные условия. Дополнительно в рабочий раствор вносили медиатор – раствор метиленового синего для обеспечения эффективного транспорта электронов с окисляемого субстрата на анод.

Во вторую камеру помещали графитовый или алюминиевый катод и заполняли камеру 3% раствором $NaNO_3$ (х.ч.). Камеры соединяли либо солевым мостиком либо протон-проницаемой мембраной.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На рисунке 2 представлен первый прототип микробной топливной ячейки, собранный в лаборатории экологической биотехнологии. Данная ячейка состоит из двух камер, соединенных солевым мостиком и двух электродов: графитовым и алюминиевым.

Максимальные значения напряжения – 270 мВ, силы тока – 8,8 мкА, мощности электрического тока – 2,4 мкВт.

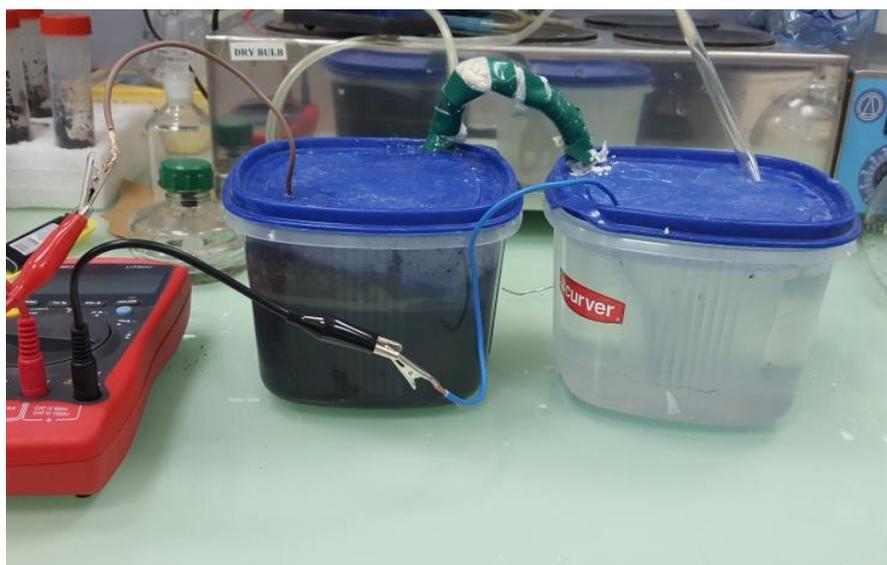
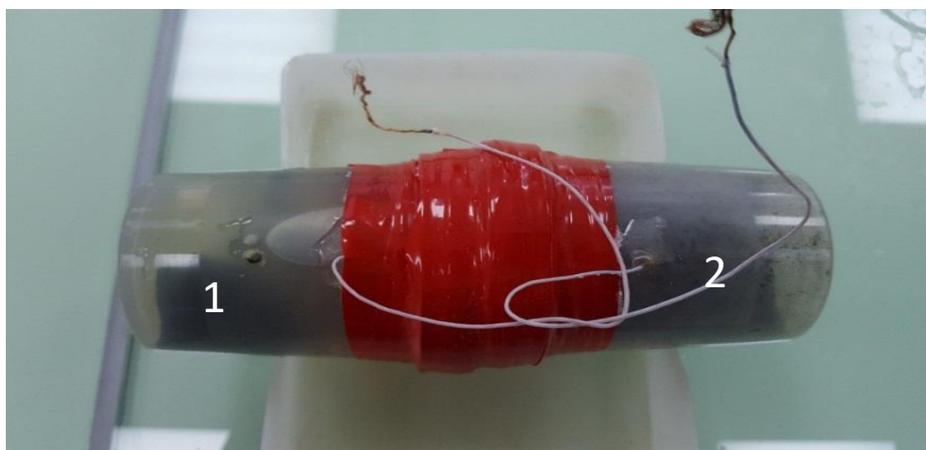


Рис. 2.Микробная топливная ячейка (прототип I)

Fig. 2.Microbial fuel cell (the prototype I)

Для увеличения напряжения тока и мощности МТЭ был собран прототип другого дизайна (прототип II), представленный на рисунке 3. В качестве мембраны использовали стекловолокно с $\rho=300\text{г/см}^2$, в качестве электродов графитовые щетки.



1 – катодная камера; 2 – анодная камера

Рис. 3.Микробная топливная ячейка (прототип II)

1 – cathode chamber; 2 – anode chamber

Fig. 3.Microbial fuel cell (the prototype II)

Параметры МТЭ, такие как напряжение и сила тока, замеряли ежедневно в определенное время в течение 9 дней.

Результаты изменения вышеуказанных параметров представлены в таблице 1.

Таблица 1. Изменения напряжения (мкВ) в микробной топливной ячейке

Table 1. Voltage change (μV) in the microbial fuel cell

Параметры Parameters	1 день 1 day	2 день 2 day	3 день 3 day	4 день 4 day	5 день 5 day	6 день 6 day	7 день 7 day	8 день 8 day	9 день 9 day
Напряжение, В Voltage, V	0,1	0,2	0,2	0,2	0,5	0,5	0,6	0,6	0,4
Сила тока, мА AmperagemA	0,01	0,01	0,10	0,20	0,40	0,50	0,70	0,70	0,04

Из таблицы 1 видно, что напряжение в микробной топливной ячейке нарастает с 0,1В до 0,5В в течение 6 дней. Максимум 0,6В наблюдали на седьмой день, затем напряжение снижалось до 0,4 В на 9-й день. Аналогичная тенденция изменения наблюдалась в случае силы тока.

Исходя из полученных данных, были вычислены параметры мощности электрического тока в мВт. Результаты представлены на рисунке 4.

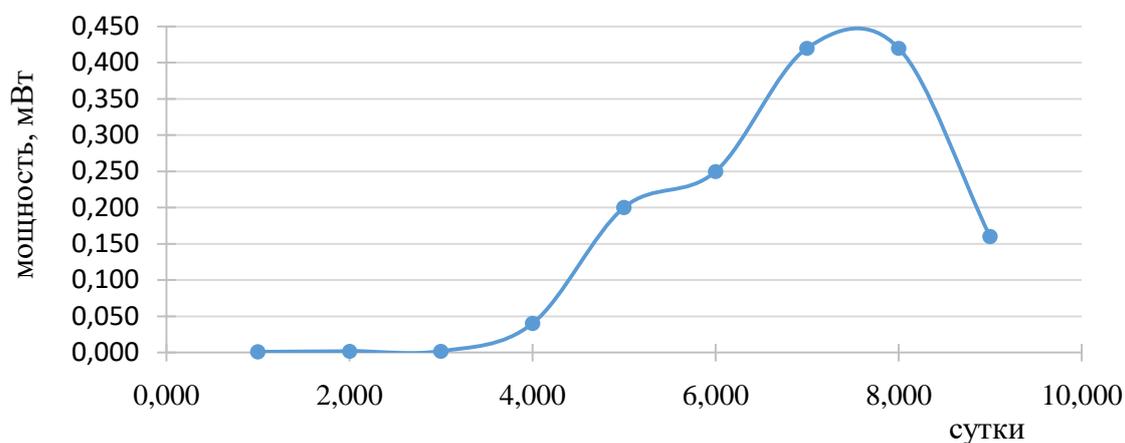


Рис. 4. Изменения мощности(мВт) в микробной топливной ячейке

Fig.4. Power change (mW) in the microbial fuel cell

Из рисунка 4 видно, что значения мощности нарастают в первые 6 дней с 0,001мВт до 0,25мВт, достигают максимума 0,42 мВт на 7-8 сутки, на 9 сутки значения мощности снижаются до 0,2мВт.

Одной из главных составляющих МТЭ является протон-проницаемая мембрана (ППМ), чаще всего это полимерные пленки Nafion или графен, однако их большая стоимость побуждает находить и использовать другие материалы. Поэтому в лабораторных прототипах МТЭ в качестве ППМ использовали такие материалы как: синтепон, стекловолокно, пергаментная бумага [8,9,10].

Ячейки находились в одинаковых условиях, параметры топливных элементов замеряли в течение 7 дней одновременно. Результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2. Изменение значений напряжения и силы тока в МТЭ с различными мембранами**Table 2.** Voltage and capacity changes in the MFC with different membranes

Различные мембраны Different membranes	Стекловолокно ($\rho=300\text{г/см}^2$) Fiberglass ($\rho=300\text{г/см}^2$)		Синтепон ($\rho=300\text{г/см}^2$) Sintepon ($\rho=300\text{г/см}^2$)		Пергаментная бумага ($\rho=23\text{г/см}^2$) Parchment ($\rho=23\text{г/см}^2$)	
	Напряж, В Voltage, V	Силатока, мА Amperage, mA	Напряж, В Voltage, V	Силатока, мА Amperage, mA	Напряж., В Voltage, V	Силатока, мА amperage, mA
1	0,24	0,10	0,20	0,10	0,02	0,10
2	0,34	0,20	0,40	10,00	0,12	0,12
3	0,36	0,26	0,60	12,50	0,33	0,21
4	0,40	0,30	0,90	14,10	0,37	0,21
5	0,40	0,40	0,90	18,10	0,41	0,22
6	0,50	0,40	0,90	18,30	0,55	0,23
7	0,71	0,63	0,90	25,65	0,66	0,26
8	0,66	0,37	0,83	21,76	0,63	0,72
9	0,44	0,24	0,78	13,11	0,68	0,24
10	0,67	0,26	0,89	16,61	0,56	0,23

Из таблицы 2 видно, что максимальные значения напряжения и силы тока наблюдали на 7 сутки во всех трех случаях. Установлено, что наибольшее значение напряжения и силы тока в случае использования стекловолокна составило 0,71В и 0,63мА соответственно, в то время как в случае синтепона максимальное значение напряжения составило 0,9В, однако при этом сила тока – 25,65мкА. Использование пергаментной бумаги в качестве мембраны показало, что основные параметры МТЭ достигают наибольшего значения также на седьмые сутки и составляют 0,66В и 0,26мА. Средняя мощность во всех трех ячейках не превышает 0,4мВт. Поэтому для дальнейших экспериментов в качестве ПИМ использовали стекловолокно с $\rho=300\text{г/см}^2$.

После подбора оптимального материала для мембраны и для увеличения вырабатываемого напряжения был собран блок топливных элементов, в котором последовательно соединили восемь топливных ячеек.

Параметры блока МТЭ замерыли в течение 9 дней. Результаты измерения напряжения и силы тока представлены в таблице 3.

Таблица 3. Изменения основных параметров в блоке МТЭ**Table 3.** The changes of main paremetrs in the MFCblock

Параметры Parametrs	1 день 1 day	2 день 2 day	3 день 3 day	4 день 4 day	5 день 5 day	6 день 6 day	7 день 7 day	8 день 8 day	9 день 9 day
Напряжение, В Voltage, V	0,5	0,8	1,3	1,5	1,8	2,6	2,6	2,4	1,8
Сила тока, мкА Amperage, μA	0,1	26,0	22,0	26,3	22,0	30,0	28,8	25,0	14,0
Мощность электрического тока, МкВт Power of electrical current, μA	0,5	20,8	27,5	31,0	39,6	78,0	74,9	60,0	25,2

Из таблицы 3 видно, что напряжение и сила тока увеличиваются с 0,5В и 0,1мкА до максимальных 2,6В и 30,0мкА соответственно, затем в течение последующих дней значения параметров снижались до 1,8В и 14мкА. Максимальное мощность электрического тока составила 78,0 мкВ.

Далее проводилась работа по изучению электрогенных свойств чистых культур *BacillusamylofaciensU15*, *EnterobacterPs7*, *LactobacillusfermentumTB4*. Для этого в анодную часть микробной топливной ячейки помещали искусственно приготовленную минеральную среду (2г NaCH₃COO (х.ч), 4,4 г. КН₂РО₄ (х.ч), 3,4 г К₂НРО₄ (х.ч), 1,5г NH₄Cl(х.ч), 0,1г MgCl₂×6Н₂О(х.ч), 0,1г СаCl₂×2Н₂О(х.ч), 0,1гКCl(х.ч), 0,1 гMgSO₄×7Н₂О(х.ч), 0,005 г MnCl₂×4Н₂О(х.ч), 0,001гNaMoO₄×2Н₂О (х.ч) и бактериальную массу соответствующей культуры. Изменения напряжения и силы тока в ячейке замеряли каждый день, в течение 7 дней. Результаты представлены в таблице 4.

Таблица 4. Изменения напряжения(мкВ) в микробной топливной ячейке, с добавлением различных культур

Table 4. The voltage changes (μV) in microbial fuel cell with different electrogenic strains

Названиекультур	1 день	2 день	3 день	4 день	5 день	6 день	7 день
Strains names	1 day	2 day	3 day	4 day	5 day	6 day	7 day
<i>Bacillusamylofaciens U15</i>	318	314	342	345	386	350	286
<i>EnterobacterPs7</i>	460	413	401	505	280	276	203
<i>Lactobacillus fermentum TB4</i>	390	368	386	390	340	266	201

Из таблицы 4 видно, что культура *EnterobacterPs7* проявляет наибольшую электрогенную активность, напряжение в случае использования данной культуры растет с 460мкВ в первый день, что выше примерно на 10-15% по сравнению с остальными культурами, до максимума 505 мкВ на 4-й день, что превышает значения максимального напряжения в случае *BacillusamylofaciensU15* и *LactobacillusfermentumTB4* примерно на 40%, затем на 5-7 дни напряжение падает во всех случаях до 200 мкВ.

ВЫВОДЫ

Таким образом, нами было показана возможность получения электрического тока при одновременном разложении илов городских муниципальных вод. Данное направление биоэнергетики нуждается в дальнейшем развитии и раскрытии его потенциала на территории республики Казахстан.

Финансирование

Данная работа была выполнена в лаборатории Экологической Биотехнологии «Национального центра биотехнологии» КН МОН РК в рамках научных исследований в области альтернативных источников энергии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Keyworld energy statistics. – 2012 /IEA, Paris/.
2. BP, statistic review of World Energy 2015, June 2015, // <http://www.bp.com/en/global/corporate/about-bp/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>.
3. Изменение климата 2014 г.:обобщающий доклад Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) // http://ipcc.ch/news_and_events/docs/ar5/ar5_syr_headlines_ru.pdf.
4. Potter M. Electrical effects accompanying the decomposition of organic compounds //Proc. R. Soc. Lond. – 1911. –Vol. 84. –P.260-276.
5. Bennetto H.P. Electricity Generation by Microorganisms //Biotechnology Education. – 1990. – Vol. 1, №4. – P.163-168.
6. Carlo Santoro,CatiaArbizzani, Benjamin Erable,IoannisIeropoulos. Microbial fuel cells: From fundamentals to applications. A review// Journal of Power Sources. – 2017. –Vol. 356. – P. 225-244.
7. Mostafa Rahimnejad,ArashAdhami, SoheilDarvari, AlirezaZirepour, Sang-Eun Oh Microbial fuel cell as new technology for bioelectricity generation: A review// Alexandria Engineering Journal. – 2015. – Vol. 54.– P. 745-756.
8. Yun-Kun Wang, Guo-Ping Sheng, Bing-Jing Shi, Wen-Wei Li & Han-Qing Yu. A novel electrochemical membrane bioreactor as a potential net energy producer for sustainable wastewater treatment // <http://www.nature.com/articles/srep01864#references>.

9. YanzhenFan, a Sun-KeeHanb and Hong Liu. Improved performance of CEA microbial fuel cells with increased reactor size // *Energy Environ. Sci.* – 2012. – №5. – P. 8273-8280.
10. Zhang Songhe, Han Bing, Hui Yuxin. Effects of Three Types of Separator Membranes on the Microbial Fuel Cells Performance // *International Conference on Mechatronics, Electronic, Industrial and Control Engineering.* –2015. –P.1592-1596.

REFERENCES

1. Keyworld energy statistics, 2012 /IEA, Paris/.
2. BP, statistic review of World Energy 2015, June 2015. <http://www.bp.com/en/global/corporate/about-bp/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>.
3. The global changes in the climate, 2014. The summaries report of The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). http://ipcc.ch/news_and_events/docs/ar5/ar5_syr_headlines_ru.pdf.
4. Potter M. Electrical effects accompanying the decomposition of organic compounds. *Proc. R. Soc. Lond.*, 1911, vol. 84, pp.260-276.
5. Bennetto H.P. Electricity Generation by Microorganisms. *Biotechnology Education.*, 1990, vol. 1, no. 4, pp.163-168.
6. Carlo Santoro, Catia Arbizzani, Benjamin Erable, Ioannis Ieropoulos. Microbial fuel cells: From fundamentals to applications. A review. *Journal of Power Sources*, 2017, vol. 356, pp. 225-244.
7. Mostafa Rahimnejad, Arash Adhami, Soheil Darvari, Alireza Zirepour, Sang-Eun Oh. Microbial fuel cell as new technology for bioelectricity generation: A review. *Alexandria Engineering Journal*, 2015, vol. 54, pp. 745-756.
8. Yun-Kun Wang, Guo-Ping Sheng, Bing-Jing Shi, Wen-Wei Li & Han-Qing Yu. A novel electrochemical membrane bioreactor as a potential net energy producer for sustainable wastewater treatment. <http://www.nature.com/articles/srep01864#references>.
9. YanzhenFan, a Sun-KeeHanb and Hong Liu. Improved performance of CEA microbial fuel cells with increased reactor size. *Energy Environ. Sci.*, 2012, no. 5, pp. 8273-8280.
10. Zhang Songhe, Han Bing, Hui Yuxin. Effects of Three Types of Separator Membranes on the Microbial Fuel Cells Performance. *International Conference on Mechatronics, Electronic, Industrial and Control Engineering*, 2015, pp.1592-1596.

АҒЫН СУЛАР МИКРОБТЫ ЖАНАРМАЙ ЭЛЕМЕНТІНІҢ ЭЛЕКТР ТОҒЫНЫҢ КӨЗІ РЕТІНДЕ

Ягофарова А.Я., Күрманбаев А.А., Бердімұратова Қ.Т., Ахметоллаев І.А.

*РМК «Ұлттық биотехнология орталығы», Қазақстан Республикасының Білім және ғылым
министірлігінің Ғылым комитеті
Астана қ. Қорғалжын тасжолы, 13/5, Астана, 010000, Қазақстан*

almirayagy@mail.ru

ТҮЙІН

Біздің жұмыста микробты жанармай элементі арқылы қалалық муниципалды сулардағы лайдың ыдырауымен қатар электр тоғын алу қарастырылады.

Микробты жанармай ұяшығы тұзды көпірше немесе протон өткізгіш мембранамен жалғасқан екі пластикалық герметикалық жабық контейнерлерден, яғни камералардан тұрады. Анодты бөлікке графитті анод орнатып, камераны МКК «Астана Су Арнасы»-ның тазалау станциясынан алынған қалалық ағын сулардың лайымен немесе таза электрогенді культурамен толтырды. Катодты бөлік графитті катоды бар элетролитпен толтырды.

Зертхана негізінде микробты жанармай элементтерінің бірнеше прототиптері жасалды. Тоғыз тәулік ішінде бақыланған негізгі шамалар келтірілді. Кернеудің жоғарғы шамасы 7-ші тәулікте тоқ күші 0,7mA болған кезде 0,6 В-ті құрды. Бұл кезде құрастырылғын ұяшықтың қуаты 0,42 мВт болды.

Сонымен қатар протон өткізгіш мембрана ретінде қолданатын материалдарды іріктеу жұмыстары жүргізілді. Зертхана негізінде жиналған микробты жанармай элементіне қолданатын оңтайлы материал - шыны талшық екені анықталды.

Bacillus mylofaciens U15, *Enterobacter* Ps7, *Lactobacillus fermentum* TB4 таза культуралардың электрогенді қасиеттерін зерттеу жұмыстары жасалды. Нәтижесінде *Enterobacter* Ps7 культурасы ең жоғарғы электрогенді белсенділікті көрсететіндігі анықталды.

Шығарылатын кернеудің шамасын жоғарылату үшін, бір-бірімен тіркесіп жалғасқан сегіз жанармай ұяшығы құрылды. Кернеу мен тоқ күшінің максималды шамалары сәйкесінше 2,6В және 30,0мкА. Ал қуаттың жоғарғы шамасы 78,0 мкВт екені анықталды.

Негізгі сөздер: микробты жанармай элемент, органикалық заттарды жою, электр тоғы, электрогенді бактериялар.