УДК 66.098.2

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА КОНСТРУКЦИЙ И МАТЕРИАЛОВ СИСТЕМЫ БИОГЕНЕРАЦИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Кусачева С.А., Черняев С.И., Сащенко И.И., Гришакова В.В., Жукова Ю.М., Морозенко Д.Н.

Калужский филиал, ФГБОУ ВПО «Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана», Калуга, e-mail: fn2kf@bk.ru

В настоящее время в биоэнергетике применяются различные конструкции топливных элементов, которые позволяют получать альтернативные энергоносители в результате жизнедеятельности живых систем. Статья посвящена рассмотрению прикладных аспектов получения биоэлектричества как результата каталитической деятельности некоторых микроорганизмов. Рассмотрены проблемы конструкционных и технологических решений, а также обозначены возможные направления их решения. Выполнен обзор приемлемых материалов и конструкций топливных элементов, лежащих в основе передовых отечественных и зарубежных разработок в направлении совершенствования микробных топливных элементов. Осуществлен обоснованный выбор материалов, используемых для корпуса устройства и электродов. Приведено обоснование и показана актуальность выполнения прикладных разработок в области альтернативной энергетики. Разработаны конструктивные элементы микробного топливного элемента и показана возможность его использования.

Ключевые слова: биоэнергетика, топливные элементы, электрохимическое преобразование, альтернативное электричество

JUSTIFICATION OF THE CHOICE OF DESIGNS AND MATERIALS OF BIO-POWER GENERATION SYSTEM

Kusacheva S.A., Chernyaev S.I., Saschenko I.I., Grishakova V.V., Zhukova Yu.M., Morozenko D.N.

Kaluga Branch, Bauman Moscow State Technical University, Kaluga, e-mail: fn2kf@bk.ru

Currently, various designs of fuel cells used in the bioenergy, allowing to obtain alternative energy sources as a result of vital activity of living systems. The article is devoted to the applied aspects of producing bioelectricity as a result of the catalytic activity of microorganisms. The problems of structural and technological solutions, and marked the direction of their solutions. A review of the materials and designs of advanced domestic and foreign developments in the direction of improving the microbial fuel cell. Implemented the choice of materials used for the enclosure and the electrodes. The substantiation and the urgency of the implementation of applied research in the field of alternative energy. Developed structural members of the microbial fuel cell, and the possibility of its use.

Keywords: bioenergy, fuel cells, electrochemical conversion, an alternative electricity

Общеизвестно, что природные запасы используемого в качестве источников энергии органического топлива – угля, газа и нефти не бесконечны. И время, когда они иссякнут, катастрофически приближается, особенно на фоне безудержного роста их добычи, наблюдаемого в последние десятилетия. Возникает необходимость в поиске других источников энергии – альтернативных, нетрадиционных, возобновляемых, к которым принято относить такие, как солнечная, термальная (геотермальная), энергия приливов (отливов), биотопливо, ветроэнергия и др.

Генерирование и использование возобновляемой биоэнергии рассматривается как одно из возможных направлений решения задачи обеспечения процессов рационального использования материальных и энергетических ресурсов. Основные направления работ в этой области посвящены развитию альтернативных методов производства электричества, в том числе с применением особых свойств микроорганизмов [9].

Принципиальная возможность генерации электрического тока бактериями была доказана давно, уже почти сто лет назад, а устройства для генерации тока бактериями – микробиологические топливные элементы (МТЭЛы) достаточно интенсивно изучаются около пятидесяти лет [1, 11, 13]. Технология, использующая микробные топливные ячейки, которые конвертируют энергию, запасенную в химических соединениях органического состава, в электрическую энергию, в результате жизнедеятельности микроорганизмов, продолжает вызывать у исследователей неподдельный интерес.

Весьма интересным и перспективным направлением развития альтернативной энергетики в последнее десятилетие принято считать использование в качестве электрогенераторов специфических микроорганизмов. По уже имеющимся данным, некоторые микроорганизмы могут довольно широко использоваться для производства электричества при осуществлении

биологического распада органических отходов. Известны различные методы и технологии переработки отходов органического происхождения в условиях антропогенных экосистем городов [7].

В качестве одного из направлений работы при решении проблемы биодеградации образующейся в них органики может рассматриваться технология микробиологической утилизации органических, в первую очередь пищевых отходов, совместимая с процессами получения биоэнергии из вторичных продуктов их переработки – жидкой фазы, содержащей органические соединения [2; 8].

Процессы получения биоэлектричества за счет каталитической активности микроорганизмов пока изучены недостаточно. Исследования и определение механизмов генерации электрического заряда микроорганизмами в процессе их жизнедеятельности в заданных условиях являются актуальной задачей современного этапа развития биотехнологии и электрохимии.

Особую важность приобретает решение данной проблемы в случаях, когда появляется необходимость получения биоэлектроэнергии с применением каталитических свойств микроорганизмов в условиях затрудненного энергообеспечения посредством использования традиционных энергоносителей. В таких условиях могут оказаться востребованными системы получения биоэнергии, обладающие высокой степенью автономности. Анализ результатов работ в области микробиологической утилизации органических отходов указывает на перспективность применения этого метода в различных отраслях промышленности, а также жилищно-коммунальном хозяйстве [2; 5; 9].

Прямые топливные элементы на муравьиной кислоте (DFAFC) являются подтипом PEMFC-устройств с прямой подачей муравьиной кислоты. Благодаря своим специфическим особенностям эти топливные элементы имеют большие шансы в будущем стать главным средством питания такой портативной электроники, как ноутбуки, сотовые телефоны и т.д. Как и метанол, муравьиную кислоту напрямую подают в топливный элемент без специальной стадии очистки. Хранить это вещество также намного безопаснее, чем, например, водород, к тому же не требуется обеспечивать какие-либо специфические условия хранения: муравьиная кислота является жидкостью при нормальной температуре. Более того, у этой технологии есть и два неоспоримых преимущества перед прямыми метаноловыми топливными элементами. Во-первых, в отличие от метанола, муравьиная кислота не просачивается через мембрану (поэтому эффективность DFAFC по определению должна быть выше). Во-вторых, в случае разгерметизации, муравьиная кислота не столь опасна, как многие другие вещества [4].

Причины существенного интереса к исследованию процессов, лежащих в основе функционирования систем получения биоэнергии, связаны с поиском новых источников энергии и проблемами охраны окружающей среды, а также с получением возобновимых источников энергии. Системы получения биоэнергии, использующие особые электрогенные свойства микроорганизмов, могут функционировать (практически автономно) в течение довольно длительного времени.

Принципиальные основы создания таких систем базируются на применении микробных топливных элементов (МТЭЛов). Быстрый прогресс в области конструирования МТЭЛов и надежды на усовершенствование электрогенных микроорганизмов в ближайшем будущем позволят решить проблему создания промышленных технологий получения электричества с помощью микроорганизмов (в российском ГосНИИ генетики микроорганизмов выведен новый штамм электрогенных бактерий-мутантов с более высоким уровнем регенерации электронов на основе шеванеллы, которые отличаются увеличением выработки электронов на 30–40 процентов).

В МТЭЛах органическое вещество и бактерии находится в анодной камере в анаэробных условиях. Катод, напротив, находится в аэробных условиях (аэрируется). Анодная и катодная камеры разделены ионоселективной мембраной, которая способна пропускать протоны и препятствует попаданию кислорода в анодную камеру [2; 10; 12].

Основные принципы работы топливных элементов, несмотря на существенно отличающиеся эксплуатационные характеристики, остаются неизменными. Любой топливный элемент представляет собой устройство электрохимического преобразования энергии, в котором осуществляется выработка электрической энергии из некого количества топлива (со стороны анода) и окислителя (со стороны катода). Реакция протекает в присутствии электролита (вещество, содержащее свободные ионы и ведущее себя как электропроводящая среда). В любом таком устройстве есть некие реагенты, поступающие в него, и продукты их реакции, выводимые после осуществления электрохимической реакции. Электролит в данном случае служит лишь средой для взаимодействия реагентов и не меняется в топливном элементе [4].

Исходя из такой схемы идеальный топливный элемент должен работать долго, пока есть подача необходимых для реакции веществ.

Непосредственно функционирование топливных элементов представляет собой следующее: реакция катализа, проходящая в топливном элементе, выбивает электроны и протоны из топлива, а движущиеся электроны образуют электрический ток.

В роли катализатора, ускоряющего реакцию, в топливных элементах, как правило, используются платина или ее сплавы.

Другой каталитический процесс возвращает электроны, объединяя их с протонами и окислителем, в результате чего образуются продукты реакции (выбросы). Эти выбросы представляют собой в основном простые вещества: воду и углекислый газ [6].

В традиционном топливном элементе с протонообменной мембраной полимерная протонопроводящая мембрана разделяет стороны анода и катода. Со стороны катода водород диффундирует на анодный катализатор, где из него впоследствии выделяются электроны и протоны. Протоны проходят через мембрану к катоду, а электроны, неспособные следовать за протонами (мембрана электрически изолирована), направляются по цепи внешней нагрузки (система энергоснабжения). На стороне катодного катализатора кислород вступает в реакцию с протонами, прошедшими через мембрану, и электронами, поступающими по цепи внешней нагрузки. В результате этой реакции получается вода (в виде пара или жидкости). Например, продуктами реакций в топливных элементах, использующих углеводородное топливо (метанол, дизельное топливо), являются вода и двуокись углерода.

Следует отметить, что топливные элементы практически всех типов страдают от электрических потерь, вызванных как естественным сопротивлением контактов и элементов топливного элемента, так и электрическим перенапряжением (дополнительная энергия, необходимая для осуществления исходной реакции).

В ряде случаев полностью избежать этих потерь невозможно, однако чаще всего их можно свести к допустимому минимуму. Одним из вариантов решения проблемы, является использование комплектов из этих устройств, в которых топливные элементы, в зависимости от предъявляемых к системе электроснабжения требований, могут подключаться параллельно (для получения большего тока) или последовательно (для получения большего напряжения) [4].

Проведенный ретроспективный анализ зарубежных и отечественных литературных источников позволил осуществить представленное ниже обоснование выбора материалов, использованных в качестве корпуса и электродов при создании системы биогенерации электроэнергии, для проведения лабораторных исследований.

При выборе материала для корпуса лабораторного устройства биогенерации электроэнергии остановились на полипропилене (рисунок) – термопластичном полимере, способном долгое время функционировать в агрессивных водных средах.

Элементы биореактора

Выбор материала был обусловлен и многими другими его качествами:

– хорошими диэлектрическими свойствами в широком диапазоне температур;
– светопроницаемостью;
– малой поглотительной способностью;
– повышенной жесткостью;
– морозостойкостью до –70 °С;
– низкой газо- и паропроницаемостью;
– физиологической нейтральностью;
– отсутствием запаха;
– невосприимчивостью к щелочам в любой концентрации;
– невосприимчивостью к растворам любых солей;
– невосприимчивостью к карбоновым, плавиковой и концентрированной соляной кислотам;
– устойчивостью к маслу и овощным сокам;
– устойчивостью к спиртосодержащим жидкостям и бензину [3].

Проанализировав различные варианты, в качестве материала электродов выбрали графит прямоугольной формы (также могут быть использованы алюминий, медь или нержавеющая сталь), с целью создания максимальной площади реакционных поверхностей. Выбор именно графита в качестве электродного материала обоснован рядом его достоинств. У графитовых электродов прекрасная электропроводимость, позволяющая поддерживать высокую плотность тока, и в связанном состоянии, в виде карбидов, он характеризуется твердой износостойкой фазой, довольно устойчивой против окисления при взаимодействии со многими агрессивными средами.

Повышению эффективности процесса также способствовало малое (в пределах 5 мм) расстояние между электродами, к которым были подведены медные провода диаметром сечения 2 мм.

Использование упомянутых материалов в процессе многократных измерений при проведении лабораторных исследований позволило получить биоэлектричество из жидких органических отходов с использованием электрогенных микроорганизмов *Shewanella oneidensis* и активного ила (максимальные показатели DC: напряжение – 0,48 В; сила тока – 200 мкА) [2].

В заключение следует отметить, что проведенное исследование в основу которого была положена, полученная из разных литературных источников информация о различных подходах, использованных в передовых отечественных и зарубежных разработках, направленных на совершенствование микробных топливных элементов, позволило осуществить обоснованный выбор материалов, которые были применены в качестве корпуса модели (полипропилен) и электродов (графит), при создании опытного образца лабораторного устройства.

Список литературы

1. Витер В.Н. Топливные элементы: прошлое, настоящее, будущее // Химия и химики. –2008. – № 1. – С. 2–5.

2. Кусачева С.А., Морозенко М.И., Черняев С.И., Жукова Ю.М. Фундаментальные и прикладные аспекты производства биоэлектрической энергии // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 6–3. – С. 479–484.

3. Свойства полипропилена [Электронный ресурс] // Компания «Камелот Пласт»: сайт. – Режим доступа: http://www.camelotplast.ru/info/svoistva-polypropilen.php (дата обращения 26.11.2015).

4. Сырой С. Топливные элементы: экскурс в будущее [Электронный ресурс] // Проект «XDreamView»: сайт. – Режим доступа: http://xdrv.ru/articles/technologies/36/full (дата обращения 26.11.2015).

5. Теоретическая проработка ресурсосберегающей технологии получения биоэлектричества на основе микробиологической утилизации отходов органического происхождения: отчёт о НИР (промежуточный): № 1.68.10 / КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана; рук. С.А. Сафронова; исполн.: М.И. Морозенко и др. – Калуга. 2010. – 61 с.

6. Топливные элементы [Электронный ресурс] // История компьютера: сайт. – Режим доступа: http://chernykh.net/content/view/575/774 (дата обращения 04.06.2015).

7. Черняев С.И. Развитие экологического маркетинга в России и зарубежом // Экономика. Управление. Право. – 2013. – № 5 (41). – С. 03–06.

8. Черняев С.И. Учебно-методическая разработка «Формирование рынка экологических работ, товаров и услуг» // Международные и региональные проблемы развития национальной экономики в современных условиях: сб. науч. ст. XII МНПК. – Калуга: издательство «Эйдос», 2013. – С. 364–366.

9. Чумаков П.Е, Сафронова С.А., Ильин В.К. О проблемах и перспективах получения биоэлектричества в условиях космического полета и современного города // Наукоемкие технологии в приборо- и машиностроении и развитие инновационной деятельности в вузе: материалы Всерос. НТК 10–12 декабря 2008 г. Т. 1. – М.: Изд. МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008.

10. Aelterman P., Rabaey K., The Pham H., Boon N., Verstraete W. Continuous electricity generation at high voltages and currents using stacked microbial fuel cells. – Commun Agric Appl Biol Sci 2006. – № 71(1). – С. 63–66.

11. Katz E., Shipway A.N., Wilner I. Biochemical fuel cells // In Handbook of fuel cells – Fundamentals, Technology and Application / Ed. by Vielstich W., Lamm A., Gasteiger H.A. // John Wiley & Sons, Ltd. – 2003.

12. Logan B.E., Hamelers B., Rozendal R., Schroder U., Keller J., Freguia S., et al. (). Microbial fuel cells: methodology and technology // Environ. Sci. Technol. – 2006. – № 40. – P. 5181–5192.

13. Potter M.C. Electrical effects accompanying the decomposition of organic compounds // Proc. R. Soc. Lond. B. Biol. Sci. – 1911. – Vol. 84. – P. 260–276.