

Долговременная генерация электроэнергии микробным топливным элементом

Тарасов С.Е., Плеханова Ю.В., Быков А.Г., Решетилов А.Н.

ФИЦ «Пушинский научный центр биологических исследований РАН»,
Институт биохимии и физиологии микроорганизмов им. Г.К. Скрыбина РАН,
г. Пушкино; setar25@gmail.com

Биотопливные элементы (БТЭ) относятся к устройствам, осуществляющим прямое превращение химической энергии различных соединений в электрическую в процессе биологической трансформации. БТЭ являются альтернативными источниками энергии, и интерес к их разработке обусловлен во многом возможностью использования в них в качестве топлива отходы производств. У микробных топливных элементов (мБТЭ) имеются свои преимущества перед ферментными, такие как широкий круг окисляемых субстратов и большая стабильность, кроме того, микробные клетки требуют меньших затрат на приготовление и очистку. При этом важнейшей задачей при создании любых БТЭ является повышение мощности системы.

Целью работы было создание долговременно работающего микробного топливного элемента на основе бактериальных клеток, пригодного для питания различных маломощных устройств. В качестве модельного биокатализатора использовали штамм *Gluconobacter oxydans* sbsp. *industrius* ВКМ В-1280.

Ячейка биотопливного элемента представляла собой две взаимосвязанные кюветы, объём анодного отделения был равен объёму катодного и составлял 50 мл. В качестве анода и катода БТЭ использовались спектральные графитовые электроды в виде цилиндров высотой 65 мм и радиусом 3 мм, общей площадью 7.5 см². Для приготовления биокатализатора использовали смесь суспензии бактериальных клеток (1 мг сырого веса/мкл) и хитозана (2 %-ый раствор в 1 %-й уксусной кислоте). Для увеличения генерируемого сигнала электроды мБТЭ модифицировали многостенными углеродными нанотрубками (МУНТ). Содержание клеток и наноматериала на поверхности электрода составляло 0.12 мг сырого веса/мм² и 1.57 мкг/мм², соответственно. В качестве фонового раствора использовали 25 мМ калий-фосфатный буфер pH 6.5, содержащий 10 мМ хлорида натрия, а в качестве медиаторов использовали 2,6-дихлорофенолиндофенол (ДХФИФ, 42 мкМ) в анодном отделении и гексацианоферрат(III) калия (ГЦФ, 4 мМ) в катодном. Этиловый спирт в концентрации 10 мМ применяли как субстрат для клеток *G. oxydans*. В качестве устройства для накопления генерируемой мБТЭ энергии использовали конвертер, основанный на микросхеме bq25504 (Texas Instruments, США).

Одиночный мБТЭ на основе клеток *G. oxydans* генерирует напряжение не достаточное для того, чтобы эффективно запускать конвертер и производить зарядку конденсатора. Эта особенность зарядки связана с характеристикой используемой микросхемы bq25504, требующей величины входного напряжения от 300 мВ и выше. Последовательное включение двух мБТЭ позволяет суммировать их напряжение, что обеспечивает условие стартового напряжения конвертера ($U \geq 330$ мВ). При этом внутреннее сопротивление системы не уменьшается, однако происходит увеличение суммарного напряжения на выходе мБТЭ.

На рисунке 1 представлены графики заряда конденсатора емкостью 6800 мкФ различными парами мБТЭ, включенными последовательно. Два немодифицированных биотопливных элемента заряжали конденсатор в 6800 мкФ за 80 минут, при этом большую часть времени занимала фаза медленного заряда (68 минут). При модификации мБТЭ нанотрубками общее время заряда снижается до 60 минут. Следует отметить, что два последовательно соединенных модифицированных нанотрубками мБТЭ эффективно заряжали конденсатор в 6800 мкФ за 42 мин после 24 часов непрерывной работы. Через

двое суток непрерывной работы БТЭ время заряда конденсатора уменьшалось более чем в 2 раза по сравнению с двумя немодифицированными МУНТ элементами и составило 30 мин. Фаза медленного заряда (до 1.7 В) с низким КПД функционирования конвертера занимала 28 мин, фаза быстрого заряда с высоким КПД – 4 мин, общее время заряда конденсатора составляло 32 мин. Можно предположить, что такое улучшение параметров мБТЭ обусловлено явлением адаптации микроорганизмов к внешним условиям.

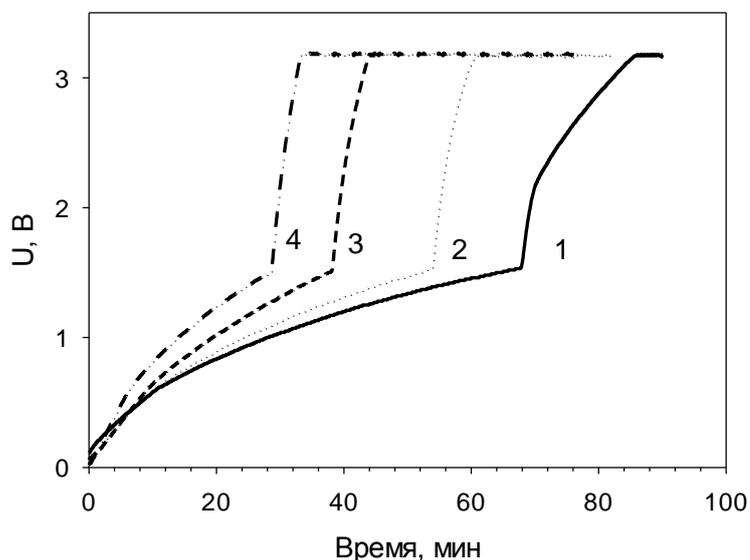


Рис. 1. Зависимость заряда конденсатора емкостью 6800 мкФ от условий работы мБТЭ: 1- немодифицированные мБТЭ, 2 – модифицированные МУНТ мБТЭ; 3 – модифицированные МУНТ БТЭ через 24 час работы; 4 – модифицированные МУНТ мБТЭ через 48 час работы.

Для определения долговременной стабильности мБТЭ оценивали величину генерируемого напряжения в режиме разомкнутой внешней цепи в течение 3 недель. Разработанные мБТЭ непрерывно генерировали электроэнергию в течение 5 дней без дополнительного введения субстрата. После смены анолита и католита происходила дальнейшая генерация электроэнергии. Установлено, что падение генерируемого напряжения на 16-е сутки составило 73%, что позволяет многократно использовать разработанный мБТЭ. После завершения генерации электроэнергии была проведена оценка чистоты биокатализатора, для чего осуществили соскоб с анодов мБТЭ. После посева полученного соскоба на чашки Петри, культура образовала однородные по морфологии, консистенции и пигментации колонии. Это означает, что за 3 недели работы мБТЭ не происходит бактериального загрязнения культуры.

Заряженный конденсатор емкостью в 30000 мкФ (время заряда составляло 80 мин) был использован для питания устройства с Bluetooth-передатчиком и тремя сенсорами (температура, влажность, освещенность) в течении 2 минут чистого времени (предварительные данные были представлены на 4м Мировом Форуме, посвященном Интернету Вещей).

Подобные устройства могут быть использованы как часть технологии «Интернет вещей» для мониторинга различных показателей окружающей среды с периодичностью опроса сенсоров примерно раз в 2 часа.