

ТОПЛИВНЫЙ ЭЛЕМЕНТ

Цвелев Д.Д.¹, Жевтяк А.М.¹

Научный руководитель Астапов В.Н.¹

¹ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет», Самара, e-mail: asta-2009@mail.ru, tsvelev.2001@mail.ru

Статья содержит большой аналитический материал, посвященный использованию топливных элементов. Авторы подробно описывают преимущества использования топливных элементов на водородной основе. Особое внимание в статье уделяется разработкам и принципу работы перспективного проточного топливного элемента, не содержащего благородных металлов и имеющего производительность в десятки и сотни раз больше, чем у микробных топливных элементов. Авторы обращают особое внимание на истощение традиционных источников энергии и высказывают позицию о возможности постепенного перехода на альтернативную водородную мощность в замену ДВС и обычным гальваническим элементам. Рассматриваются вопросы получения биомассы и её использования в качестве источника чистого водорода. В статье даётся обзор важнейшим мировым научным разработкам в области биоэнергетики и автоматизированном автономном питании. Излагаются в систематизированном виде основные открытия, связанные с питанием топливных элементов водородным топливом. Рассматривается теория нулевых выбросов в окружающую среду при использовании водородных топливных элементов. Научная новизна работы заключается в обширной систематизации текущих научных работ в области синтеза водорода и создании топливных элементов на его основе, а также топливных элементов, работающих на биоматериале.

Ключевые слова: Топливный элемент, биомасса, проточный топливный элемент, водород, источник энергии

FUEL CELL

Tsvelev D.D.¹, Zhevtyak A.M.¹

¹FSBEI HE «Samara State Technical University», Samara, e-mail: asta-2009@mail.ru, tsvelev.2001@mail.ru

The article contains a large analytical material on the use of fuel cells. The authors describe in detail the advantages of using hydrogen-based fuel cells. Special attention is paid to the development and operation of a promising flow-through fuel cell that does not contain precious metals and has a performance tens or hundreds of times greater than that of microbial fuel cells. The authors pay special attention to the depletion of traditional energy sources and Express their position on the possibility of a gradual transition to alternative hydrogen power to replace internal combustion engines and conventional galvanic cells. The issues of obtaining biomass and its use as a source of pure hydrogen are considered. The article provides an overview of the world's most important scientific developments in the field of bioenergy and automated Autonomous power supply. The main discoveries related to the supply of fuel cells with hydrogen fuel are presented in a systematic form. The theory of zero emissions to the environment when using hydrogen fuel cells is considered. The scientific novelty of the work consists in an extensive systematization of current scientific works in the field of hydrogen synthesis and the creation of fuel cells based on it, as well as fuel cells working on biomaterial.

Keywords: Fuel cell, biomass, flow fuel cell, hydrogen, energy source

Введение

Топливные элементы находят себе многочисленные применения. Практически любые устройства, использующие гальванические элементы и аккумуляторы, могут быть успешно переведены на питание от топливных элементов. Топливные элементы работают более продолжительное время и имеют улучшенные характеристики [1, с. 23].

Автоматизированный топливный элемент позволяют улучшить экологическую обстановку объектов с одновременной оптимизацией экономического эффекта.

При использовании биомассы в качестве топлива могут участвовать различные типы биомассы, включая целлюлозу, крахмал, древесные порошки и полиолы. Благодаря использованию жидких катализаторов для замены катализаторов из благородных металлов топливный элемент имеет очень высокую устойчивость к органическим и неорганическим примесям, а также низкую стоимость, что делает целесообразным его массовое использование.

Развитие информационных технологий и автоматизации в области переработки биомассы решает проблему получения энергии на основе биотоплива [2, с. 114].

Биомасса, как источник энергии

Все возрастающее внимание к биомассе связано, в первую очередь, с безвозвратным истощением мировых запасов ископаемого топлива, а также стремлением к энергосбережению и сокращению выделения в окружающую среду парниковых газов. Прогнозы на ближайшее будущее по запасам нефти и газа являются весьма пессимистичными. Биомасса, как отмечалось выше, в качестве источника энергии находит все более широкое распространение. На данный момент она занимает шестое место по запасам среди доступных источников энергии после горючих сланцев, урана, угля, нефти, природного газа и пятое по производительности после прямой солнечной, ветряной, гидро и геотермальной энергии. Биомассу подразделяют на древесную (до 80 %), травяную и плодовую, также к ней относят отходы пищевой, сельскохозяйственной и лесоперерабатывающей промышленности. В России ежегодно накапливается до 270 млн. тонн (по сухому веществу) органических отходов, из них 230 млн. тонн составляют сельскохозяйственные отходы и 50 млн. тонн – ТБО (твёрдые бытовые отходы). В связи с

чем, проблема поиска дешёвого альтернативного источника энергии может быть решена в комплексе с проблемой утилизации крупнотоннажных отходов.

Получение водорода из биологического сырья

В течение последнего десятилетия можно наблюдать значительное возрастание интереса к водородной энергетике, что обусловлено необходимостью создания экономически эффективной и экологически безопасной системы энергообеспечения жизнедеятельности человека и функционирования объектов экономики. Повышенное внимание уделяют также такому виду сырья, как биомассе кислород-продуцирующих микроорганизмов: микроводорослям и цианобактериям, – так как она является перспективным углеводородсодержащим субстратом для анаэробного сбраживания бактериями, образующими водород. Использование водород-образующих микроорганизмов позволяет одновременно разработать технологию получения водорода и решить проблему переработки отходов путём их микробной конверсии.

Реализация производства водородного топлива в первую очередь связана с поиском и разработкой экономичной и экологически безопасной технологии его получения. Впоследствии возник термин «биоводород», обозначающий водород, полученный биологическим (микробиологическим) способом [6, с. 48]. Многие исследовательские разработки, посвящённые получению водорода, направлены на использование в качестве исходного сырья крахмало- и целлюлозосодержащих отходов, легко превращаемых в сахара, тем самым способствуя решению проблемы утилизации многотоннажных отходов различных отраслей промышленности.

Главным преимуществом биологических методов получения водорода над химическими и электрохимическими является то, что процессы катализируются микроорганизмами при относительно невысоких температурах и атмосферном давлении в окружающей среде.

По механизму образования водорода можно выделить следующие процессы:

- биофотолитиз воды зелёными микроводорослями (прямой) и цианобактериями (непрямой) [4, с. 150].;
- фоторазложение органических веществ фотосинтезирующими бактериями;
- темновая ферментация органических веществ анаэробными бактериями (брожение);

Водородный топливный элемент.

Отличием топливных ячеек от прочих генераторов электроэнергии является то, что за время работы они не сжигают топливо. Ввиду такой особенности они не нуждаются в роторах высокого давления, не издадут громкого шума и вибраций. Электричество в топливных элементах вырабатывается в результате бесшумной электрохимической реакции. Химическая энергия топлива в таких устройствах преобразуется напрямую в воду, тепло и электричество.

Топливные элементы отличаются высокой эффективностью и не производят большого количества парниковых газов. Продуктом выброса при работе ячеек являются небольшое количество воды в виде пара и углекислого газа, который не выделяется в случае, если в качестве топлива выступает чистый водород.

Преимущества водородных топливных ячеек

Среди них следует выделить:

- Повышенная удельная теплоемкость.
- Широкий температурный диапазон эксплуатации.
- Отсутствие вибрации, шума и теплового пятна.
- Надежность при холодном запуске.
- Отсутствие саморазряда, что обеспечивает длительный срок хранения энергии.
- Неограниченная автономность благодаря возможности корректировки энергоемкости за счет изменения числа топливных баллончиков.
- Обеспечение практически любой энергоемкости благодаря изменению емкости хранилища водорода.
- Длительный срок эксплуатации.
- У топливных элементов нет жесткого ограничения на КПД, как у тепловых машин.
- Высокий уровень энергоемкости.
- Толерантность к сторонним примесям в водороде.
- Топливные элементы легче и имеют меньшие размеры, чем традиционные источники питания.

Принцип действия топливного элемента

Топливный элемент является химическим источником тока, осуществляя процесс окисления топлива окислителем. Топливный элемент содержит отрицательный электрод, называемый анодом, и положительный электрод, называемый катодом. Электроды соединены ионным проводником, представляющим собой раствор электролита или ионопроводящую полимерную мембрану. Интерес к созданию топливных элементов как

источников электрического тока определяется их высокими характеристиками как преобразователей энергии (кпд 50-95%). Между электродами генерируется разность потенциалов, обеспечивающая электрический ток во внешней электрической цепи [рис. 1].

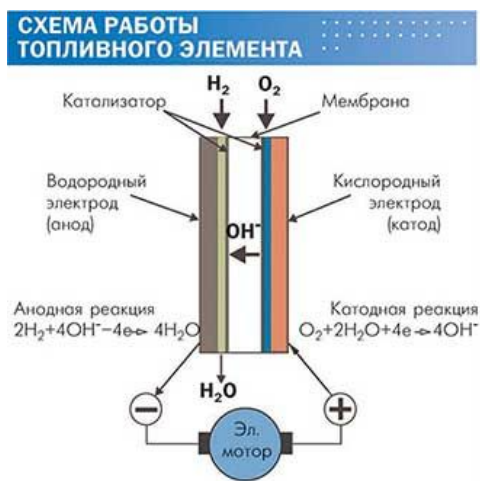
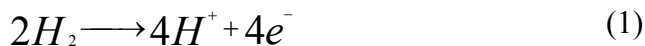


Рисунок 1 – Схема работы топливного элемента.

В случае водород-кислородного топливного элемента электрохимическую реакцию, протекающую на аноде, отражает уравнение:



соответственно, катодный процесс может быть представлен в виде:



Принцип действия топливного элемента построен на протекании химических реакций. В анодную секцию подается H_2 , а в катодную камеру — O_2 . На электроды наносится специальное напыление, выполняющее функцию катализатора (как правило, платина). Под действием каталитического вещества происходит потеря водородом электронов. Далее протоны подводятся через мембрану к катоду, и под влиянием катализатора формируется вода. Из анодной камеры электроны выходят в электрическую цепь, подключенную к мотору. Так формируется ток для питания двигателя.

Проточный топливный элемент

Проточный топливный элемент [рис. 2] - это новая технология, которая использует биомассу непосредственно для выработки электроэнергии. Он может напрямую преобразовывать полимерную природную биомассу, такую как деревья, травы,

сельскохозяйственные отходы, водоросли и другие биологические материалы в электричество [5, с. 89].

В гальванических батареях химические реагенты помещены внутрь их [7, с. 282]. Когда химические реакции прекращаются из-за истощения батареи, она подлежит замене (или в некоторых случаях перезарядке). Топливные элементы используют химические реагенты (топливо), хранящиеся вне элемента. До тех пор, пока в топливный элемент поступает топливо, он будет (теоретически бесконечно) вырабатывать электрическую энергию. Когда запас топливного элемента истощается, он легко может быть наполнен свежим топливом аналогично современным автомобилям. В идеале, природная биомасса может быть непосредственно использована в качестве топлива в камерах без очистки или химической предварительной обработки.

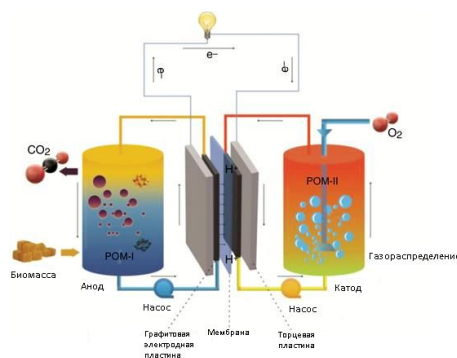


Рисунок 2 – Топливный элемент с мембраной Nafion® 115.

Для этой новой технологии было сделано несколько важных научных заключений:

- плотность мощности высокая (сравнима с топливными элементами на основе чистого спирта и в 3000 раз выше, чем в топливных элементах на основе микробной целлюлозы);
- катализатор чрезвычайно стабилен и не может быть легко загрязнен, поскольку полиоксометаллаты, устойчивые к токсичным неорганическим и органическим компонентам, используются в качестве катализатора и носителя заряда;
- такие топливные элементы недороги, учитывая использование сырой биомассы без применения благородного металла;
- топливные элементы могут использоваться, как на небольших энергоблоках, так и на крупных электростанциях.

В этом топливном элементе используются два раствора полиоксометаллата, обозначенные ниже, как РОМ-I и РОМ-II, с различными окислительно-восстановительными

потенциалами: один окисляет биомассу, либо под воздействием солнечного света, либо при нагревании в анодном резервуаре, а другой реагирует с кислородом на катоде.

Выходная мощность проточного топливного элемента в сотни и тысячи раз выше, чем у микробных топливных элементов [3, с. 24]. Этот тип топливного элемента не содержит благородных металлов, как на аноде, так и на катоде, РОМ-I и РОМ-II чрезвычайно стабильны без присутствия лишних загрязнений. Результаты экспериментального и экономического анализа показывают, что проточный топливный элемент является чистым и экономически эффективным способом преобразования горючих сельскохозяйственных отходов в электроэнергию.

РОМ-I ($H_2PMO_{12}O_{40}$) раствор вместе с биоотходами хранится в емкости для анодного электролита. Окисление топлива из биоотходов может происходить в растворе анодного электролита под действием солнечного излучения или прямого нагрева. Раствор восстановленного РОМ циклически протекает через анод с помощью насоса. Как показано на правой стороне рисунка, в катодном резервуаре хранится водный раствор $H_{12}P_3MO_{18}V_7O_{85}$ не-типа Кеггина (РОМ-II).

Регенерация РОМ-II осуществляется окислительно-восстановительным окислением кислорода. Для усиления реакции O_2 и РОМ-II в этот момент вводится газораспределитель.

Общий принцип FFC заключается в том, что PMO_{12} может окислять биоотходы под действием теплового излучения, восстанавливаясь с $РОМ-I_{ок}$ до $РОМ-I_{ре}$, а $РОМ-II_{ре}$ может снова окисляться до $РОМ-I_{ок}$ с помощью $РОМ-II_{ок}$ с через каталитическая электрохимическая реакция.

Восстановленный $РОМ-II_{ре}$ можно затем регенерировать кислородом без катализатора на основе благородного металла. И РОМ-I, и РОМ-II используются как катализаторы, а не как реагенты, потому что оба раствора могут быть полностью регенерированы без потери массы. Следовательно, чистая реакция топливного элемента связана только с биоотходами и кислородом.

Заключение

Топливные элементы находят себе многочисленные применения. Практически любые устройства, использующие гальванические элементы и аккумуляторы, могут быть успешно

переведены на питание от топливных элементов. Топливные элементы работают более продолжительное время и имеют улучшенные характеристики.

Источники энергии на топливных элементах позволяют улучшить эксплуатационные характеристики роботизированных технических комплексов, увеличивая время их эксплуатации. Так, применение в беспилотных летательных системах, при замене Li-Ion аккумулятора тех же габаритов и веса, увеличивает время пилотирования в 5 и более раз. Бесшумность работы, отсутствие теплового следа, работа в широких диапазонах температур -40 С до +65С обеспечит преимущество в критически-важных ситуациях. Робот, питающийся от топливных элементов, может быть быстро приведен в рабочее состояние в сравнении с другими роботами, требующими времени на зарядку аккумуляторов.

Проточный топливный элемент - это новая технология, которая использует биомассу непосредственно для выработки электроэнергии. Он может напрямую преобразовывать полимерную природную биомассу, такую как деревья, травы, сельскохозяйственные отходы, в электричество. Проточный топливный элемент широкое практическое применение найдет при разработке робота-газонокосилки, где в качестве биомассы будет использована скошенная им на газоне трава. Таким образом, будет решена и проблема утилизации скошенной травы, а отходы, полученные в процессе реакции, являются хорошим удобрением для газонов.

Когда топливные элементы станут неотъемлемой частью нашего обихода, как видеорекамеры, сотовые телефоны и портативные компьютеры, мы сможем использовать их для питания наших роботов.

Список литературы

1. Васильев, Р.Г. Перспективы развития производства биотоплива в России. Сообщение 3: биогаз / Р. Г. Васильев // Вестник биотехнологии и физико-химической биологии им. Ю.А. Овчинникова. – 2007. – Т. 3. – № 3. – С. 54–61.
2. Иванов, А.А. Автоматизация технологических процессов и производств: Учебное пособие / А.А. Иванов. — М.: Форум, 2016. — 224 с.
3. Конгмин Лю, Чжэ Чжан, Вэй Лю, Донг Сю, Хуа Го, Гуанли Хе, Сяньмин Ли, Юйлин Дэн, Проточный топливный элемент, работающий на горючих сельскохозяйственных отходах, Чистая энергия, - 2018. – Т. 1. - №45. –С. 20-28.

4. Никольская, А. Б. Каталитические системы получения водорода биофотолизом воды: дис. ... канд. хим. наук: 02.00.04, 03.01.06 / А. Б. Никольская. – Москва, 2012. – 169 с. : ил. – Библиогр. : с 130-169.
5. Садрадинова, Э. Р. Микробная переработка целлюлозосодержащего органического сырья в водород: дис. ... канд. биол. наук: 03.02.03, 03.01.06 / Э. Р. Садрадинова. – Москва, 2010. – 115 с.: ил. – Библиогр.: с 83-115.
6. Садрадинова, Э. Р. Скрининг микробных сообществ–продуцентов биоводорода / Э. Р. Садрадинова // Вестник биотехнологии и физико-химической биологии им. ЮА Овчинникова. – 2013. – Т. 9. – №. 2. – С. 43-51.
7. А. М. Скундин, Г.Я. Воронков. Химические источники тока. 210 лет. – М.: Поколение, 2010. – 352 с.