полезного действия более 95%. Точность поддержания выходного напряжения должна составлять 1%.

Использование широтно-импульсного преобразователя позволяет отказаться от громоздких дросселей для накопления энергии, что позволяет снизить вес установки на 2%.

Таким образом, на средствах наземного обеспечения электрической энергией бортовых потребителей ВС и запуска авиационных двигателей в качестве автономных источников целесообразно использовать электрохимические генераторы на топливных элементах. Представленная энергоустановка учитывает особенности обеспечения электрической энергией бортовых потребителей на полевых аэродромах и позволяет более эффективно использовать энергетические возможности топливных элементов. Использование статических преобразователей совместно с генератором на топливных элементах позволяет создавать мобильные энергоустановки, подающие на борт ВС энергию требуемого качества. Такие автономные энергоустановки выгодно использовать на холмистых и горных территориях, где штатные АПА применять невозможно.

1. Коровин Н.В. Топливные элементы и электрохимические энергоустановки. – М.: Издательство МЭИ, 2005. – 280 с.
2. Патент на изобретение № 2440644. МПК H01M 14/00. «Авиационная энергоустановка с генератором на топливных элементах». Заявка № 2010143066. Опубликовано 20.01.2012 года. 4с.

Винокуров С.Д., Колтаков А.А., Винокуров В.Д., Бульба А.Д.
Обоснование структуры перспективной электрохимической энергоустановки для питания наземных пунктов дистанционного управления беспилотными летательными аппаратами

*Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»
(Россия, Воронеж)*

doi: 10.18411/lj-11-2020-73

idsp: ljjournal-11-2020-73

Аннотация

В статье предложена структурная схема перспективной электрохимической энергоустановки для использования в качестве малогабаритного автономного источника питания наземных пунктов дистанционного управления БЛА, методом обобщенных параметров обоснованы оптимальный тип электролита топливного элемента, а также используемые реагенты.

Ключевые слова: электрохимическая энергоустановка, беспилотные летательные аппараты.

Abstract

The article proposes a structural diagram of a promising electrochemical power plant for use as a small-sized autonomous power source for ground stations for remote control of UAVs; the method of generalized parameters substantiates the optimal type of fuel cell electrolyte, as well as the reagents used.

Keywords: electrochemical power plant, unmanned aerial vehicles.

В настоящее время в различных областях деятельности наблюдается бурное развитие беспилотной авиации. В зависимости от решаемых задач и размеров данных беспилотных летательных аппаратов (БЛА) их базирование осуществляется либо на аэродромах, либо на открытой местности. Для управления полетами БЛА используются

наземные пункты дистанционного управления (НПДУ), питание которых происходит на постоянных аэродромах от промышленной сети, а на местности – от дизель-генераторных установок (ДГУ) или аккумуляторных батарей (АКБ).

Используемые в качестве автономных источников электроэнергии ДГУ имеют высокие массо-габаритные параметры, высокий уровень шума, требуют больших эксплуатационных затрат на обслуживание в процессе работы и при хранении, низкий КПД. Поэтому вопрос об использовании автономного источника энергии для НПДУ, исключающего указанные недостатки остается актуальным.

Альтернативой ДГУ могут выступать АКБ высокой емкости, основными преимуществами которых являются способность отдавать заряд в тот момент, когда это необходимо для питания потребителей НПДУ, при работе не выделяют в атмосферу вредных веществ. Они экологически чисты, что очень важно при использовании источника вблизи обслуживаемых объектов. В этом случае увеличивается производительность труда обслуживающего персонала, не требуется установки дополнительных устройств по очистке отработавших газов. Широкому применению АКБ в качестве основных источников электроэнергии препятствует единственный, но существенный недостаток: длительный по времени процесс заряда, что понижает оперативность работы.

Развитие науки и техники позволяет использовать вместо АКБ электрохимические генераторы (ЭХГ) на топливных элементах (ТЭ). В ЭХГ отсутствуют трущиеся детали, они экологически чисты, экономически перспективны. Они легче и занимают меньший объем, чем традиционные источники, бесшумны, меньше нагреваются, более эффективны с точки зрения преобразования топлива. Такой источник способен к блочно-модульной конструкции, имеет невысокие массо-габаритные параметры, что позволит ему размещаться в контейнерах любой формы и перевозиться в любой тележке к месту использования.

Конструктивно ЭХГ состоит из батареи ТЭ, в которой происходит выработка электрической энергии, а также вспомогательных систем: хранения топлива и окислителя, диагностирования, термостатирования, преобразования энергии [1, 2]. Основным устройством ЭХГ является батарея, в которой определенным образом соединяются между собой единичные ТЭ. В ТЭ активные компоненты не закладываются изначально, а поступают извне, из систем хранения. Для повторного использования необходимо подзарядить баллоны с топливом. На выполнение данной операции тратится значительно меньше времени. К тому же в ТЭ используется прямое преобразование химической энергии в электрическую, что позволяет достичь КПД порядка 70 %. Количество единичных ТЭ определяется исходя из требуемых значений напряжения, мощности и надежности. Проведенный предварительный расчет показал, что для обеспечения пунктов управления электроэнергией достаточным является источник мощностью 20 кВт.

В настоящее время существует несколько типов ТЭ. Для выбора оптимального электролита был проведен сравнительный анализ существующих образцов ТЭ по следующим параметрам: удельная мощность, напряжение ТЭ, ресурс работы, время выхода на рабочий режим, стоимость, количество используемых реагентов, электрическая проводимость. Сравнительный анализ был проведен с использованием метода обобщенных параметров. Так как рассматриваемые параметры сравнения неравнозначны, то вводятся весовые коэффициенты, учитывающие степень важности каждого параметра при использовании энергоустановки в рассматриваемой области. Итоговый показатель определяется суммированием соответствующих произведений относительных долей и весового коэффициента. Значения весовых коэффициентов определялись путем прямого экспертного опроса, при этом учитывался уровень компетентности привлекаемых экспертов.

Результаты проведенного анализа представлены в таблице 1, в которой для каждого параметра сравнения в первой строке записаны абсолютные значения для каждого типа электролита, во второй строке – его относительное значение, а в третьей строке – относительное значение с учетом весового коэффициента.

Таблица 1

Сравнительный анализ электролитов для ТЭ

Параметр сравнения	Весовой коэффициент	Тип электролита				
		Щелочной	Твердополимерный	Фосфорнокислый	Карбонатный	Твердооксидный
1	2	3	4	5	6	7
Удельная мощность, кВт/м ²	0,25	2,25	3,75	2,3	1,4	2,8
		0,36	1,0	0,38	0,0	0,60
		0,09	0,25	0,095	0,0	0,15
Напряжение ТЭ, В	0,21	0,9	0,8	0,75	0,8	0,75
		1,0	0,33	0,0	0,33	0,0
		0,21	0,069	0,0	0,069	0,0
Ресурс работы, тыс.ч	0,18	10	20	50	20	50
		0,0	0,25	1,0	0,25	1,0
		0,0	0,045	0,18	0,045	0,18
Время выхода на рабочий режим, мин	0,14	0	0	20	60	100
		1,0	1,0	0,8	0,4	0,0
		0,14	0,14	0,112	0,056	0,0
Стоимость, тыс. дол/кВт	0,11	1	5	4	1,5	1,5
		1,0	0,0	0,25	0,88	0,88
		0,11	0,0	0,028	0,097	0,097
Количество используемых реагентов	0,07	2	4	5	6	8
		0,0	0,33	0,5	0,67	1,0
		0,0	0,023	0,035	0,047	0,07
Проводимость, $\times 10^5$ См/м	0,04	1	0,36	0,27	0,30	0,24
		1,0	0,16	0,04	0,08	0,0
		0,04	0,006	0,002	0,003	0,0
Итоговый показатель	1,0	4,36	3,07	2,97	2,61	3,48
		0,590	0,533	0,452	0,317	0,497

Из анализа данных таблицы 1 следует, что лучшими совокупными характеристиками обладают щелочные и твердополимерные электролиты, которые целесообразно использовать при проектировании батареи ТЭ для питания НПДУ БЛА. В щелочных ТЭ в качестве реагентов можно использовать чистые водород и кислород. В качестве электролита используются щелочные растворы, капиллярные мембраны, пропитанные КОН, и ионообменные мембраны катионного типа. Щелочные растворы обладают высокой электрической проводимостью, в элементах можно использовать относительно недорогие конструкционные материалы. Однако недостатком щелочных электролитов является их карбонизация углекислым газом.

В твердополимерных ТЭ электролитом служит ионообменная мембрана, обладающая проводимостью по ионам водорода. Так как электролит имеет кислотный характер, то в данном типе ТЭ возможно применение воздуха и технического водорода, что позволит снизить стоимость и упростить конструкцию всей энергоустановки. Однако при эксплуатации твердополимерных ТЭ возможно отравление катализатора монооксидом углерода, который может присутствовать в анодных газах после конверсии топлива. К тому же проблемным вопросом остается регулирование влажности мембраны, так как при недостатке воды снижается электропроводность мембраны, а при избытке воды ухудшаются характеристики катода.

Для непрерывной работы ЭХГ помимо батареи ТЭ необходима система хранения, подготовки и подачи топлива и окислителя. Запас реагентов в системе хранения определяется исходя из потребляемой мощностью и временем работы электрохимического генератора между заправками. В свою очередь, масса реагентов

зависит от их агрегатного состояния и способа их хранения. В качестве топлива для ЭХГ наибольшее распространение получили водород, гидразин, монооксид углерода, метанол, метан, пропан. Для выбора топлива также был проведен сравнительный анализ с учетом весовых коэффициентов, в котором параметрами сравнения были электрохимическая активность, массовый электрохимический эквивалент, стоимость, токсичность, удельная энергия на единицу массы, объемный электрохимический эквивалент, равновесный электродный потенциал, коэффициент тары. Из проведенного сравнительного анализа следует, что лучшими совокупными характеристиками при учете особенностей работы источника обладает газообразный водород. Самым простым способом хранения газообразного водорода является использование стальных баллонов. Расчет показывает, что при мощности источника электрической энергии 20 кВт и необходимого времени работы 2 часа потребуется около 2 кг водорода. Для хранения такого количества реагентов потребуется два 40-литровых баллона.

Для обоснования выбора окислителя для ЭХГ были выбраны кислород, воздух и перекись водорода. В качестве параметров сравнения определены доступность, массовый электрохимический эквивалент, стоимость, токсичность, объемный электрохимический эквивалент, электродный потенциал, коэффициент тары, для которых методом экспертных оценок определены весовые коэффициенты. Из проведенного анализа следует, что лучшими параметрами обладает воздух, который постоянно доступен в любое время и не требует проектирования систем хранения окисления. Необходимо предусмотреть малогабаритный компрессор с требуемыми характеристиками и воздушный фильтр.

Для питания НПДУ БЛА требуются компактные источники электроэнергии, способные выдавать переменный ток 220 В. Батарея ТЭ выдает постоянный ток, поэтому в составе ЭХГ необходимо предусмотреть систему преобразования тока. Вариант структурной схемы мобильной электрохимической энергоустановки для питания НПДУ БЛА показан на рисунке 1.

1 – батарея ТЭ; 2 – блок управления; 3 – система хранения топлива (водорода);
4 – воздушный компрессор; 5 – фильтр очистки воздуха; 6 – система преобразования тока
Рисунок 1 – Вариант структурной схемы ЭХГ для питания НПДУ БЛА

Таким образом, проведенный анализ показывает, что в качестве автономных источников электрической энергии для питания НПДУ БЛА используются дизель-генераторные установки, которые не в полной мере удовлетворяют требованиям по маскировке, ресурсу работы, эффективности преобразования энергии. В качестве альтернативных типов мобильных малогабаритных источников энергии для питания НПДУ БЛА возможно использовать ЭХГ. Особенностью работы таких энергоустановок является то, что ТЭ не требуют обслуживания в процессе хранения, ресурс их работы достигает 30–40 тысяч часов, а потребление реагентов происходит только при выработке электрического тока, процесс саморазряда ничтожно мал. В целях снижения массогабаритных размеров и устойчивой работы ЭХГ целесообразно использовать щелочные либо твердополимерные ТЭ, в которых в качестве реагентов использовать водород и воздух.

1. Коровин Н.В. Топливные элементы и электрохимические энерго-установки. – М.: Издательство МЭИ, 2005. – 280 с.
2. Лидоренко Н.С., Мучник Г.Ф. Электрохимические генераторы. – М.: Энергоиздат, 1982. – 448 с.