

ОТЗЫВ

официального оппонента В.М. Алашкина на диссертационную работу

Пушкина Константина Валерьевича на тему:

«Автономные электрохимические энергоустановки летательных аппаратов с алюминием в качестве энергоносителя», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности **05.07.05 – Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов**

Энергетические установки (ЭУ) на основе химических источников тока (ХИТ), предназначенные для обеспечения электропитания авиационной и космической техники, должны создаваться с учётом выполнения ряда специфических требований к энергомассовым характеристикам, надёжности и стабильности эксплуатационных параметров при работе в различных условиях окружающей среды.

В настоящее время в качестве источников автономного электропитания авиационной техники используются свинцовые и никель-кадмиевые аккумуляторы. Ракетно-космическая техника постепенно переходит на первичные литиевые ХИТ и литий-ионные аккумуляторы. В рамках проектов «полностью или более электрического самолета» ведутся разработки бортовых литий-ионных накопителей энергии и O_2-H_2 электрохимических генераторов (ЭХГ). Обладая высокими служебными характеристиками, такими как длительный срок хранения, постоянная готовность к работе в широком диапазоне температур, экологическая чистота, литиевые ХИТ, вместе с тем требуют специальных решений по обеспечению безопасности эксплуатации.

Энергетические установки на основе алюминия по удельной энергии значительно превосходят традиционные системы, обладают низкой стоимостью, безопасностью, экологической чистотой активных компонентов

и могут быть применены не только в качестве бортового источника питания, но и для резервного энергоснабжения наземного оборудования.

Для успешного проектирования ХИТ с алюминиевым анодом требуется совершенствование технологии и разработка новых материалов, необходимых для достижения высоких энергетических и ресурсных характеристик.

В связи с изложенным, диссертационная работа К.В. Пушкина, посвящённая исследованию активных компонентов, электролитов и катализаторов кислородно-алюминиевых ХИТ безусловно актуальна. Большое практическое значение имеет исследование электрохимически регулируемого генератора водорода на базе гидронного ХИТ с алюминиевым анодом для работы в составе комбинированной ЭУ с кислородно-водородным ЭХГ.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, содержит 73 рисунка, 10 таблиц, список литературы из 190 наименований. Объём работы составляет 188 страниц.

Во введении дано обоснование актуальности и научной новизны исследования, определена цель работы.

Первая глава состоит из 4-х частей и представляет собой литературно-аналитический обзор достигнутого уровня отечественных и зарубежных разработок энергоустановок с алюминием в качестве энергоносителя. В первой главе также рассмотрены пути повышения энергетических и эксплуатационных характеристик $O_2(Air)-Al$ ХИТ, сформулированы цели и задачи исследования.

Во второй главе дано описание основных методов исследования, применяемого оборудования и методики обработки результатов измерений с использованием методов математической статистики, заложенных в стандартных программных пакетах MS Excel и MathCad.

В третьей главе представлены результаты исследований электрохимических и коррозионных характеристик анодных алюминиевых

сплавов АП4Н и Al-In в щелочном электролите высокой концентрации (8М NaOH) с добавками органических ингибиторов. Показано, что оптимальным анодным материалом для $O_2(\text{Air})\text{-Al}$ ХИТ с таким электролитом является сплав АП4Н и цитрат-ион (0,01М) в качестве ингибитора коррозии.

Для гидронного ХИТ в качестве оптимальной композиции "анод-электролит" рекомендовано применение композиции: "алюминий А995 + 4М КОН + 0,08М тартрат-ион. Сочетание материалов, оптимизированное для $O_2(\text{Air})\text{-Al}$ ХИТ в этом случае не эффективно из-за негативного влияния на поляризационные характеристики катода.

В четвёртой главе приведены результаты исследования электрохимических характеристик газодиффузионных катодов ХИТ с алюминиевым энергоносителем. На основании исследований выбраны эффективные с точки зрения минимальной поляризации катода сочетания электролитов и органических ингибиторов коррозии анода для $O_2(\text{Air})\text{-Al}$ и гидронного ХИТ. Для никелевых катодов гидронного ХИТ предложен способ получения каталитического покрытия на основе дисульфида молибдена плазмодинамическим методом, исследованы состав, структура, свойства и электрохимические характеристики указанного покрытия.

Пятая глава посвящена расчётным оценкам энергомассовых характеристик ЭУ с алюминием в качестве энергоносителя. На основании анализа балансов энергии проведены расчётные оценки энергомассовых характеристик $O_2(\text{Air})\text{-Al}$ и гидронного ХИТ. Подтверждена эффективность использования $H_2\text{-}O_2$ ЭХГ в сочетании с генератором водорода на основе гидронного ХИТ.

В Заключении сформулированы основные научные результаты работы и выводы по результатам исследований.

Рецензируемая работа **обладает научной новизной**, обусловленной следующими основными результатами:

- разработан способ плазменного нанесения на никелевые катоды гидронного ХИТ нового каталитического покрытия на основе дисульфида

молибдена MoS_2 , а также исследованы его структура и электрохимические характеристики;

- предложена оптимальная с точки зрения использования алюминия композиция для $\text{O}_2(\text{Air})\text{-Al}$ ХИТ с высококонцентрированным электролитом: анод АП4Н, электролит 8М $\text{NaOH}+0.01\text{М}$ цитрат-ион;

- установлено, что для гидронного ХИТ легирующие добавки In и Zn в анодных сплавах негативно влияют на поляризационные характеристики катодов, а наиболее эффективной является композиция: анод – алюминий А995, катод – никель+ MoS_2 , электролит – 4М $\text{KOH} + 0,08\text{М}$ тартрат-ион;

- для генератора водорода на базе гидронного ХИТ разработаны основные функциональные схемы;

- показано, что масса комбинированной ЭУ космического назначения состоящей из гидронного ХИТ и $\text{H}_2\text{-O}_2$ ЭХГ, в определённых условиях на 70% меньше, чем масса такой же ЭУ на основе того же ЭХГ с газобаллонной системой хранения компонентов.

Практическая значимость работы заключается в разработке и экспериментальной проверке композиций электрохимических систем $\text{O}_2(\text{Air})\text{-Al}$ и гидронных ХИТ с высокими энергетическими характеристиками и функциональных схем электрохимических энергоустановок с генератором водорода на основе гидронного ХИТ. Использование результатов работы позволит расширить область возможного применения ХИТ с алюминиевым энергоносителем как в бортовой энергетике, так и в наземных системах автономного электроснабжения различного назначения.

Достоверность результатов, полученных в диссертационной работе, определяется применением современных методов экспериментальных исследований, сертифицированного оборудования и использованием статистических методов обработки экспериментальных данных.

По диссертации имеются замечания:

1. Исследования характеристик электродов в работе проведены только при температуре 333К без обоснования выбора этой величины.

2. В работе отсутствует обоснование выбора концентрации органических ингибиторов коррозии и, соответственно, не исследована зависимость эффективности их действия от концентрации.

3. Автор считает наиболее перспективным применение ЭУ на базе O_2 -Al ХИТ в различных космических программах, когда начало активной работы «отодвинуто от момента старта на неопределённый срок», при этом ограничивается расчётом комбинированной ЭУ с временем работы 24 ч и не рассматривает возможность использования ЭУ данного типа для средств выведения КА на околоземную орбиту с временем активной работы от 4 до 24 ч, а также энергоустановок с длительностью активного функционирования более 24 ч.

4. Автор вводит понятие эффективного КПД как отношение полезной энергии к сумме «полезной и тепловой энергии», делая вывод, что предлагаемый способ расчета КПД более точно характеризует ВА ХИТ, чем «теоретический КПД», традиционно определяемый как отношение $\Delta G / \Delta H$. По мнению рецензента для определения КПД электрохимической энергоустановки при наличии параллельно-последовательных потоков, энергии тепла и массы целесообразно использовать эксергетический метод термодинамического анализа.

5. При сравнении характеристик систем хранения водорода в таблице 5.2 приведены устаревшие данные для композитных баллонов из книги издания 1981 г. В настоящее время имеются баллоны с максимальным давлением более 40 МПа.

Приведенные выше замечания не снижают общей оценки работы.

Диссертация **полностью соответствует** требованиям пункта 9 «Положения о порядке присуждения учёных степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 года, а её автор, **Пушкин Константин Валерьевич**, заслуживает присуждения **учёной степени кандидата технических наук** по

специальности – Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов.

Кандидат технических наук, старший научный сотрудник, зам. Генерального директора АО «Научно производственный комплекс «Альтернативная Энергетика» по НИОКР



Алашкин Виталий Михайлович

142495, Московская область г. Электроугли, Центральная, 59,

Личную подпись В.М. Алашкина удостоверяю, начальник отдела кадров АО «НПК «АЛЬТЭН»



05.11.2015

М.Ю. Баранова