

СВЕДЕНИЯ О РЕЗУЛЬТАТАХ ПУБЛИЧНОЙ ЗАЩИТЫ ДИССЕРТАЦИИ

Диссертационный совет: Д 212.125.08

Соискатель: Пушкин Константин Валерьевич

Тема диссертации: Автономные электрохимические энергоустановки летательных аппаратов с алюминием в качестве энергоносителя

Специальность: 05.07.05 - "Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов"

Решение диссертационного совета по результатам защиты диссертации:

На заседании 23 ноября 2015 года диссертационный совет пришёл к выводу о том, что диссертация представляет собой научно-квалификационную работу, которая соответствует критериям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, и принял решение присудить Пушкину Константину Валерьевичу учёную степень кандидата технических наук.

Присутствовали: *председатель диссертационного совета* Равикович Ю.А., *ученый секретарь диссертационного совета* Зуев Ю.В., члены диссертационного совета: Абашев В.М., Агульник А.Б., Демидов А.С., Каторгин Б.И., Козлов А.А. Коротеев А.А. Кочетков Ю.М., Краев В.М., Кулешов Н.В., Марчуков Е.Ю., Мякочин А.С., Надирадзе А.Б., Назаренко И.П., Ненарокомов А.В., Никитин П.В., Новиков А.С. Попов Г.А., Светлов В.Г., Тазетдинов Р.Г., Тимушев С.Ф., Хартов С.А.

Ученый секретарь диссертационного совета Д 212.125.08, д.т.н., профессор



Зуев Ю.В.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 212.125.08
на базе федерального государственного бюджетного образовательного
учреждения высшего образования «Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет)» по диссертации на
соискание ученой степени кандидата технических наук**

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от «23» ноября 2015 № 36

О присуждении Пушкину Константину Валерьевичу, гражданину РФ,
учёной степени кандидата технических наук

Диссертация «Автономные электрохимические энергоустановки летательных аппаратов с алюминием в качестве энергоносителя» по специальности 05.07.05 – «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов» принята к защите 21 сентября 2015 г, протокол № 21 диссертационным советом Д 212.125.08 на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» (МАИ) Министерства образования и науки Российской Федерации (Минобрнауки РФ), 125993, Волоколамское шоссе, д. 4, г. Москва, А-80, ГСП-3, приказы Минобрнауки РФ: о создании диссертационного совета - №2249-1460 от 02.11.2007 г., об изменении состава диссертационного совета - №1986 – 540/1460 от 21.11.2008 г., о продлении срока действия диссертационного совета - №1925-601 от 08.09.2009г., о соответствии диссертационного совета Положению о совете по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук - №105/нк от 11.04.2012г., об изменении состава диссертационного совета 508/нк от 22.08.2012г., об изменении состава диссертационного совета - №548/нк от 06.10.2014г.

Соискатель Пушкин Константин Валерьевич, 1989 года рождения, работает ассистентом в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» Министерства образования и науки РФ.

В 2012 году соискатель окончил федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» Министерства образования и науки РФ. В 2015 году соискатель окончил аспирантуру федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» Министерства образования и науки РФ.

Диссертация выполнена на кафедре «Электроракетные двигатели, энергетические и энергофизические установки» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» Министерства образования и науки РФ.

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор, **Назаренко Игорь Петрович**, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский авиационный институт» (национальный исследовательский университет), кафедра «Электроракетные двигатели, энергетические и энергофизические установки», заведующий кафедрой.

Официальные оппоненты:

Смирнов Сергей Евгеньевич – доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Национальный исследовательский университет "МЭИ", кафедра «Химия и электрохимическая энергетика», профессор.

Алашкин Виталий Михайлович – кандидат технических наук, АО "НПК "АЛЬТЭН", заместитель генерального директора по НИОКР.

Ведущая организация федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт высокотемпературной электрохимии Уральского отделения Российской академии наук» (ИВТЭ УрО РАН), г. Екатеринбург, в своем положительном заключении, подписанном Баталовым Н.Н., кандидатом химических наук, ведущим научным сотрудником лаборатории химических источников тока ИВТЭ УрО РАН; Елшиной Л.А., доктором химических наук, заведующей лабораторией химических источников тока ИВТЭ УрО РАН и утвержденном Степановым В.П., доктором химических наук, профессором, заместителем директора по научным вопросам ИВТЭ УрО РАН, указала, что, по своему содержанию, объему выполненной работы, актуальности, новизне полученных результатов, их научной и практической значимости диссертационная работа полностью отвечает требованиям пункта 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 года как научно-квалификационная работа, в которой на основании результатов выполненных электрохимических и коррозионных исследований решена задача повышения энергетической эффективности автономных энергоустановок на основе воздушно-алюминиевых и алюминий-гидроновых химических источников для летательных аппаратов, а её автор, Пушкин Константин Валерьевич, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.07.05 - Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов.

Соискатель имеет 51 опубликованную работу, в том числе по теме диссертации – 51 общим объемом 14,25 п.л.; работ, опубликованных в рецензируемых научных журналах – 18; тезисов докладов на научных конференциях – 31; патента РФ на полезную модель – 2; работ опубликованных в соавторстве – 48, работ опубликованных единолично – 3. В работах

приводятся результаты исследований и разработок химических источников тока с алюминием в качестве энергоносителя – воздушно-алюминиевых химических источников тока (ХИТ) и гидронных ХИТ, а также энергоустановок (ЭУ) летательных аппаратов на их основе.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Огорокова Н.С., Пушкин К.В., Севрук С.Д., Фармаковская А.А. Влияние состава алюминиевого анода гидронного источника тока на эффективность его работы в режиме генератора водорода // Вестник Московского авиационного института. 2011. Т. 18. № 3. С. 65-72.
2. Кравченко Л.Л., Огорокова Н.С., Пушкин К.В., Севрук С.Д., Фармаковская А.А. Влияние свойств катода гидронного источника тока с алюминиевым анодом на эффективность его работы в режиме генератора водорода // Вестник Московского авиационного института. 2011. Т. 18. № 3. С. 74-81.
3. Огорокова Н.С. Пушкин К.В. Управляемый генератор водорода на базе гидронного химического источника тока // Труды МАИ. 2012. № 51. URL: <http://www.mai.ru/science/trudy/published.php?ID=29175> (дата последнего обращения 22.11.2015)
4. Огорокова Н.С., Пушкин К.В., Севрук С.Д., Фармаковская А.А. Моделирование физико-химических процессов, протекающих при работе химических источников тока с алюминиевым анодом // Вестник Московского авиационного института. 2012. Т. 19. № 5. С. 65-71.
6. Огорокова Н.С., Пушкин К.В., Севрук С.Д., Фармаковская А.А. Баланс энергии и КПД воздушно-алюминиевых химических источников тока для авиационной и космической техники // Вестник Московского авиационного института. 2013. Т. 20. № 3. С. 104-109.
7. Назаренко И.П., Огорокова Н.С., Пушкин К.В., Севрук С.Д., Фармаковская А.А. Плазменный метод получения каталитического покрытия из дисульфида молибдена на катоде электрохимического генератора водорода для космической энергетики // Технология металлов. 2015. № 9. С. 42-47.

8. Назаренко И.П., Прокофьев М.В., Пушкин К.В., Севрук С.Д., Суворова Е.В., Фармаковская А.А. Исследование состава, структуры и свойств каталитического покрытия из дисульфида молибдена на катоде электрохимического генератора водорода для космической энергетики // Технология металлов. 2015. № 10. С. 21-26.
9. Огорокова Н.С., Прокофьев М.В., Пушкин К.В., Севрук С.Д., Суворова Е.В., Фармаковская А.А. Возможность применения щелочно-станнатных электролитов в гидронном химическом источнике тока как генераторе водорода // Труды МАИ. 2015. № 83. URL: <http://www.mai.ru/science/trudy/published.php?ID=62119> (дата последнего обращения 22.11.2015)
10. Огорокова Н.С. Пушкин К.В. Севрук С.Д. Фармаковская А.А. Комбинированный источник тока // Патент на полезную модель № 105528, приоритет 24.12.2010. Оpubл. 10.06.2011. Бюл. № 16.
11. Огорокова Н.С. Пушкин К.В. Севрук С.Д. Фармаковская А.А. Комбинированный источник тока с параллельным подключением батарей // Патент на полезную модель № 116275, приоритет 07.12.2011. Оpubл. 20.05.2012 Бюл. № 14.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

Отзыв на диссертацию ведущей организации ФГБУН «Институт высокотемпературной электрохимии Уральского отделения Российской академии наук» (ИВТЭ УрО РАН), подписанный Баталовым Н.Н., кандидатом химических наук, ведущим научным сотрудником лаборатории химических источников тока ИВТЭ УрО РАН; Елшиной Л.А., доктором химических наук, заведующей лабораторией химических источников тока ИВТЭ УрО РАН и утвержденный Степановым В.П., доктором химических наук, профессором, заместителем директора по научным вопросам ИВТЭ УрО РАН. В отзыве отмечены следующие замечания:

1. В работе мало уделено внимания специфике работы в невесомости электрохимических систем с жидким электролитом.
2. Не вполне понятно, чем руководствовался автор при выборе ингибиторов коррозии алюминия, хотя исследовано достаточно большое количество солей органических кислот.
3. Было бы целесообразным обсудить в диссертации следующие вопросы:
 - а) насколько методика расчетов характеристик комбинированной энергоустановки " O_2/H_2 ЭХГ + гидронный ХИТ" (результаты расчетов, полученные с учетом изменения параметров протекающих электрохимических процессов и расхода анодного материала, ограничены 24-часовым временным интервалом) применима к оценке энергетической эффективности таких устройств, эксплуатирующихся более длительное время;

б) можно ли использовать предложенную методику расчета при масштабировании энергоустановки или при анализе ее «батареинового» варианта.

Отзыв на диссертацию официального оппонента Смирнова Сергея Евгеньевича, доктора технических наук, профессора, профессора кафедры «Химия и электрохимическая энергетика», федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ».

В отзыве отмечены следующие замечания:

1. Одним из основных требований к работе источника тока является его стабильность в широком температурном интервале. Следовало бы расширить температурный интервал исследования характеристик электродов: в работе приведены данные только при одной температуре.
2. В диссертации приведены поляризационные характеристики электродов, которые автор почему-то называет ВАХ, но полностью отсутствуют разрядные. Хотя все расчеты ХИТ и энергоустановок на их основе проводят с учетом именно разрядных характеристик.

3. При проведении коррозионных исследований диссертант выбрал добавки органических веществ: 0,06М ацетат-иона; 0,06М оксалат-иона; 0,01М и 0,015М бензоат-иона; 0,07М тартрат-иона, 0,01М цитрат-иона. Однако обоснование почему выбраны конкретные концентрации, а не их диапазон в работе отсутствует.

Отзыв на диссертацию официального оппонента Алашкина Виталия Михайловича, кандидата технических наук, заместителя генерального директора по НИОКР акционерного общества «НПК «АЛЬТЭН».

В отзыве отмечены следующие 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.

Все отзывы, поступившие на автореферат, положительные.

Отзыв на автореферат ОАО «Ракетно-космическая корпорация "Энергия" имени С.П. Королёва», составленный Соколовым Б.А. доктором технических наук, профессором, советником президента ОАО РКК «Энергия», и Щербаковым А.Н., зам. начальника отделения, начальником отдела ОАО РКК «Энергия», содержит замечание о несколько расширенной (по мощности) области рационального применения найденного решения – до 3кВт. Более правильно говорить о мощности комбинированной установки до 1кВт (время работы до 24 ч), поскольку на этом уровне существует выигрыш предложенного решения относительно современных композиционных баллонов высокого давления.

Отзыв на автореферат ФГУП «Центральный научно-исследовательский институт машиностроения» (ФГУП ЦНИИмаш), составленный Хоминым Т.М., начальником лаборатории ФГУП ЦНИИмаш; Мельниковым В.М., доктором технических наук, профессором, главным научным сотрудником ФГУП ЦНИИмаш и утвержденный Хартовым В.В., доктором технических наук, профессором, генеральным конструктором по автоматическим космическим системам и комплексам – заместителем генерального директора – начальником центра системного проектирования ФГУП ЦНИИмаш. Содержит следующие замечания:

- из текста не следует, исследовались ли разрядные характеристики источников тока с предложенными композициями рабочих тел.

- также вызывает вопрос, каким образом выбиралась величина концентрации антикоррозионных добавок в электролит. Не ясно, являются ли предложенные к применению составы электролитов оптимизированными.

Отзыв на автореферат Семенкина А.В., доктора технических наук, начальника отделения 3 ГНЦ ФГУП «Центр Келдыша» содержит следующие замечания:

- не приведено детального сравнительного анализа характеристик различных ХИТ;

- недостаточно подробно представлено описание использованного экспериментального оборудования;

- из содержания автореферата не совсем понятно, почему при расчетной оценке энергомассовых характеристик генератора водорода на базе гидронного ХИТ был выбран O_2/H_2 ЭХГ мощностью именно 3 кВт.

Отзыв на автореферат Деньщикова К.К., доктора технических наук, главного научного сотрудника ФГБУН «Объединённый институт высоких температур Российской академии наук» содержит следующие замечания:

- к сожалению, из автореферата не ясно, исследовались ли ресурсные характеристики источников тока с предложенными автором композициями рабочих тел. Данные по ресурсу являются необходимыми при проектировании любых технических систем;

- также представляется излишним педантизм автора в определении общепринятых терминов, таких как поляризация электрода или перенапряжение выделения водорода.

Отзыв на автореферат Марахтанова М.К., доктора технических наук, профессора, заведующего кафедрой "Плазменные энергетические установки" ФГБОУ ВПО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана», содержит следующие замечания:

- из автореферата не ясно, имеются ли данные по разрядным характеристикам исследованных ХИТ;

- также не понятно, исследовалось ли влияние температуры на их характеристики и почему выбрана температура именно 333 К.

Отзыв на автореферат Кассюры В.П. кандидата технических наук, заместителя генерального конструктора по направлению АО «НПП «Квант» и Полунеева М.М., главного конструктора по ХИТ АО «НПП «Квант», содержит следующее замечание: к недостаткам можно отнести терминологические неточности, в частности, вышеупомянутые гидронные ХИТ относятся к классу щелочных ХИТ, в данном случае - с инертными катодами, а традиционно, гидронные ХИТ - это погружные батареи с инертными катодами, работающими в воде, как правило - в морской.

Отзыв на автореферат Филатова Ю.А., доктора технических наук, главного научного сотрудника ОАО «Всероссийский институт легких сплавов» содержит следующее замечание: к сожалению, из автореферата не ясно, проводились ли ресурсные испытания источников с рекомендованными композициями рабочих компонентов для получения экспериментальных данных, необходимых для расчетов, а также ничего не говорится о том, проводились ли какие-либо конструктивные разработки такой комбинированной энергоустановки (ЭУ).

Отзыв на автореферат Ершова Б.Г., доктора химических наук, процессора, член-корреспондента РАН, профессора ФГБУН «Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина Российской академии наук», содержит следующее замечание:

- покрытие было получено автором впервые путем нанесения дисульфида молибдена на катоды плазмодинамическим методом. Хотя, не совсем понятно, из каких соображений был выбран именно этот метод, так как на данный момент известны и другие, менее трудоёмкие, методы получения этого высокоэффективного катализатора выделения водорода.

- в работе представлены данные исследований электролитов на основе NaOH и KOH. Однако не указывается причин заметного влияния типа щелочи

на электрохимические показатели.

Отзыв на автореферат Амирхановой Н.А., доктора технических наук, заслуженного деятеля науки РФ, заслуженного химика Башкортостана, профессора кафедры Общей химии ФГБУ ВПО «Уфимский государственный авиационный технический университет», содержит следующее замечание: из автореферата не ясно где и с каким экономическим эффектом внедрены предложения Пушкина К.В.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что официальные оппоненты являются высокопрофессиональными специалистами в данной области, что подтверждается наличием у них публикаций по теме диссертации. Ведущая организация выбрана в соответствии с её широко известными достижениями в области разработки электрохимических энергоустановок и способностью определить научно-практическую ценность работы.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработаны эффективные композиции рабочих компонентов для химических источников тока с алюминием в качестве энергоносителя; функциональные схемы генератора водорода на основе гидронного химического источника тока (ХИТ); новый способ получения каталитических покрытий на основе дисульфида молибдена (MoS_2) методом плазмодинамического нанесения;

предложены: методика расчета КПД для энергоустановок (ЭУ) с алюминиевым энергоносителем с учетом энергии алюминия, израсходованного на коррозию; способ использования гидронного ХИТ как генератора водорода для космического энергоустановок на основе кислород-водородных электрохимических генераторов (O_2/H_2 ЭХГ);

доказана: эффективность применения щелочного электролита 8М NaOH для воздушно-алюминиевых ХИТ; эффективность применения в гидронном ХИТ анода из чистого алюминия марки А995 совместно с электролитом 4М КОН и

ингибирующей добавкой тартрат-иона концентрации 0,08М; эффективность применения плазмодинамического метода для нанесения катодного каталитического покрытия MoS_2 для выделения водорода из воды.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказано что: для гидронного ХИТ, как генератора водорода, целесообразно применять 3 основные функциональные схемы; для воздушно-алюминиевого (кислород-алюминиевого) ХИТ учёт расхода алюминия на коррозию приводит к увеличению КПД;

использованы: электрохимические и физико-химические методы исследования, метод плазмодинамического нанесения, рентгеноструктурный и элементный анализ, сканирующая электронная микроскопия (СЭМ), методы математической статистики;

изложен: способ получения каталитического покрытия из MoS_2 на катоде гидронного химического источника тока плазмодинамическим методом;

изучены электрохимические и коррозионные характеристики большого ряда рабочих компонентов ХИТ с алюминиевым энергоносителем, а также связь этих характеристик с энергомассовыми характеристиками энергоустановок на основе воздушно-алюминиевых ХИТ и комбинированной энергоустановки «Гидронный ХИТ + O_2/H_2 ЭХГ»;

проведена модернизация стенда для изучения энергоустановок с алюминиевым энергоносителем.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждены тем, что:

разработаны и внедрены полезные модели комбинированной ЭУ на базе гидронного ХИТ и O_2/H_2 ЭХГ – комбинированный источник тока и комбинированный источник тока с параллельным подключением батарей, который также внедрен в ОКР по созданию ЭУ на основе алюминия в рамках выполнения работ по государственному контракту № 16.526.12.6002 от 10 мая 2011 г.;

определены основные пути повышения энергомассовых характеристик ХИТ с алюминием в качестве энергоносителя, и возможности применения гидронных ХИТ, как генераторов водорода в комбинированных ЭУ «Гидронный ХИТ + O_2/H_2 ЭХГ» космического назначения;

представлены рекомендации для опытно-конструкторских разработок, которые позволяют на ранних этапах проектирования более точно оценивать необходимые энергомассовые характеристики ХИТ с алюминиевым энергоносителем, а также иметь более точные представления о гидронном ХИТ, как управляемом генераторе водорода для O_2/H_2 ЭХГ.

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что:

для экспериментальных работ достоверность результатов обеспечивается применением современной сертифицированной и поверенной измерительной аппаратуры, большим объёмом результатов экспериментов, подвергнутых статистической обработке и хорошей воспроизводимостью результатов экспериментов;

в теоретической части выводы и рекомендации подтверждаются полученными экспериментальными данными, а также использованием известных электрохимических и физико-химических аналитических и экспериментально-теоретических методов исследования;

установлено качественное совпадение авторских результатов с результатами других авторов;

использованы современные методы сбора и обработки информации по исследованию характеристик ХИТ и протекающих в них физико-химических процессов.

Личный вклад соискателя состоит в том, что: определены основные пути повышения энергомассовых характеристик гидронного ХИТ, как генератора водорода, поставлена цель и определены задачи данной диссертационной работы; модифицирована электрохимическая ячейка открытого типа, усовершенствован и автоматизирован испытательный стенд по

измерению электрохимических и коррозионных характеристик компонентов ХИТ с алюминиевым энергоносителем; предложена новая схема организации стенда плазменного нанесения и разработана методика проведения эксперимента; проведены электрохимические эксперименты; проведён анализ состава, структуры и свойств катодного покрытия MoS₂; проведены расчёты энергетических характеристик ЭУ.

На заседании «23» ноября 2015 года диссертационный совет принял решение присудить Пушкину К.В. учёную степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 23 человека, из них 10 докторов наук по профилю рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 28 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за - 23, против - нет, недействительных бюллетеней - нет.

Председатель

диссертационного совета Д 212.125.08
д.т.н., профессор

 Ю.А. Равикович

Ученый секретарь

диссертационного совета Д 212.125.08
д.т.н., профессор

 Ю.В. Зуев

Ученый секретарь

ученого совета МАИ, к.т.н.



А.Н. Ульяшина

23 ноября 2015