

РАКЕТНО - КОСМИЧЕСКАЯ КОРПОРАЦИЯ

141070

г. Королев

Московской области,

ул. Ленина, 4-а

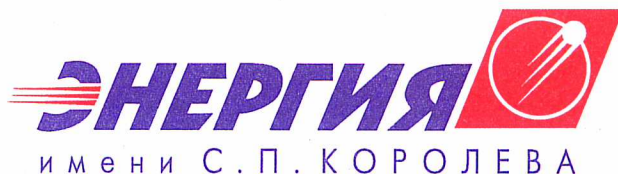
Телеграфный "ГРАНИТ"

Телефон: (495) 513-86-55

Факс: (495) 513-88-70, 513-86-20, 513-80-20

E-mail: post@rsce.ru

http://www.energia.ru



05.12.2018 № ГК-20/448

На № \_\_\_\_\_

Учёному секретарю

диссертационного совета Д 212.125.08

Ю.В. Зуеву

Российская Федерация, 125993,  
г. Москва, А-80, ГСП-3,  
Волоколамское шоссе, д.4  
МАИ, Учёные совет

Уважаемый Юрий Владимирович!

В ответ на Ваш Исх. №08-2018-10 от 15.10.2018 высылаю Вам отзыв на автореферат диссертации Суворова Максима Олеговича на тему: «Тяговый узел прямоточного воздушного электрореактивного двигателя», представленной на соискание учёной степени кандидата технических наук.

*уважаемому*

Генеральный конструктор

ПАО «РКК «Энергия», академик РАН

Е.А. Микрин

ОБЩИЙ ОТДЕЛ МАИ  
Вх. №  
" 07 12 20 18 "

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Суворова Максима Олеговича  
«Тяговый узел прямоточного воздушного электрореактивного двигателя»,  
представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по  
специальности 05.07.05 – Тепловые, электроракетные двигатели и  
энергоустановки летательных аппаратов.

Диссертационная работа Суворова М.О. посвящена актуальной  
проблема разработки двигательной установки (ДУ) для перспективного типа  
космических аппаратов (КА) – спутников дистанционного зондирования  
Земли (ДЗЗ).

На сегодняшний день аппараты ДЗЗ являются незаменимым средством  
исследования Земной поверхности, а так же важным стратегическим  
ресурсом. Объем и качество получаемой с них информации в первую очередь  
зависит от устанавливаемой на борт целевой аппаратуры, однако  
значительную роль также играет и высота пролета аппарата над  
поверхностью Земли. Использование низкоорбитальных аппаратов, с  
высотой орбиты ниже 250 км, затруднительно, в первую очередь из-за  
наличия остаточной атмосферы, создающей значительное аэродинамическое  
сопротивление. Для коррекции орбиты обычно используют электроракетные  
двигатели (ЭРД). Они обладают высоким удельным импульсом и высокой  
надежностью работы. В настоящей работе автор предлагает использовать  
высокочастотный ионный двигатель (ВЧИД) – перспективный тип сеточных  
ионных двигателей, работающий на газах, забираемых прямо из среды  
функционирования аппарата. Это становится возможным благодаря главному  
преимуществу ВЧИД: ионизация рабочего тела (РТ) происходит при помощи  
безэлектродного высокочастотного разряда, что делает данный тип ЭРД  
практически нечувствительным к работе на химически активных газах, таких

как кислород. Использование прямоточной схемы ДУ с забором РТ из атмосферной среды – изящное решение сложной технической задачи повышения срока активного существования низкоорбитальных КА, которое, в первую очередь, способствует увеличению полезной нагрузки аппарата за счет отсутствия баков с РТ на борту, а так же делает возможным длительное функционирование аппарата на орбите в целом.

В качестве объекта исследования в настоящей работе выступал тяговый узел прямоточного воздушного электрореактивного двигателя (ПВЭРД). В ходе работы, автором были изготовлен прототип тягового узла с несколькими модификациями, проведена обширная экспериментальная работа, а так же предложена балансовая модель, верификация которой производилась по эмпирическим результатам исследований.

Таким образом, **актуальность работы** определяют высокий интерес российской аэрокосмической промышленности к аппаратам ДЗЗ, а так же к способам повышения их эффективности.

Положения диссертационной работы, представляющие **научную новизну**:

1. Стоит отметить, что работа ВЧИД на неклассических рабочих телах, в частности, на композициях азота и кислорода, является слабоизученным вопросом. В настоящей работе же, автор провел большой объем экспериментальных исследований, обосновывающих возможность создания тягового узла ПВЭРД, стабильно функционирующего на атмосферных телах, при расходах РТ, соответствующих условиям полета КА на высоте орбиты 220 км. В результате анализа модификаций прототипа тягового узла, была впервые предложена компоновка ВЧИД, предполагающая установку ионизатора внутрь разрядного объема двигателя.

2. Автором была предложена балансовая модель, устанавливающая связь между количеством РТ на входе в ионизационный объем ВЧИД и его интегральной характеристикой (тягой). Подобные балансовые модели не рассматривались ранее для композиций молекулярных газов, в частности, азота и кислорода.

**Практическая значимость результатов работы:**

1. В ходе проводимых исследований, автором была создана модель ВЧИД – прототип тягового узла ПВЭРД, а так же несколько его модификаций.
2. Были выработаны и предложены рекомендации по созданию тягового узла ПВЭРД.
3. Предложена балансовая модель, связывающая интегральные характеристики двигателя с доступной концентрацией РТ на входе в тяговый узел. Данная модель и результаты моделирования могут быть использована в дальнейшем для проработки концепции ПВЭРД, например, при конкретизации рабочего диапазона высот низкоорбитальных КА ДЗЗ.

В работе применялись корректные методики исследования работы ВЧИД, основанные на апробированных ранее подходах. Все исследования проводились на сертифицированном оборудовании, а применяемые методики сбора и обработки данных, приведенных в работе, являются современными и хорошо зарекомендовавшими себя в подобных работах других авторов. Таким образом, можно говорить о том, что полученные результаты, научные положения выводы в диссертационной работе являются **достоверными и обоснованными.**

К работе имеются следующие замечания:


1. Для экспериментальных исследований был изготовлен прототип тягового узла – высокочастотный ионный двигатель с диаметром пучка ускоряемых ионов 15 см, а также две его модификации: с дополнительной термализаторной емкостью и с внутренним индуктором. В работе им присвоены названия ВЧИД-15-1, -15-2 и -15-3 соответственно. В автореферате представлены схемы первых двух компоновок, однако схема ВЧИД-15-3 отсутствует. Вместо нее автор приводит фотографии внутренних индукторов разных геометрических конфигураций. Для более наглядного понимания альтернативных компоновок стоило привести схему ВЧИД-15-3 или, по крайней мере, привести фотографию тягового узла с внутренним индуктором в собранном состоянии.

2. Автор характеризует методику экспериментальных исследований построением семейства подобных гиперболических «изо-кривых», в то время как на самом деле, кривые не являются гиперболическими, а носят скорее параболический характер.


3. В автореферате автор не указывает, насколько приведенная балансовая модель применима для двигателей других размеров

Несмотря на сделанные замечания, диссертационная работа Суворова Максима Олеговича «Тяговый узел проточного воздушного электрореактивного двигателя», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.07 - «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов», является законченной научно-квалификационной работой, выполненной на высоком научном уровне с использованием современных технических средств. Работа соответствует требованиям Положения ВАК о порядке присуждения ученых степеней, предъявляемых к кандидатским диссертациям, а ее автор, Суворов Максим Олегович, заслуживает присуждения искомой степени.

Советник Генерального директора, д.т.н.

 Б.А. Соколов

Руководитель научно-технического центра

 П.П. Стриженко

Начальник лаборатории проектирования  
перспективных двигательных установок

 П.А. Щербина

Подписи П.А. Щербина, П.П. Стриженко, Б.А. Соколова удостоверяю

Ученый секретарь ПАО «РКК «Энергия»;

к.ф.-м.н.



О. Н. Хатунцева

ПАО «Ракетно-космическая корпорация «Энергия»

Почтовый адрес: 141070, РФ, Московская область, г. Королев,  
ул. Ленина, д 4а

Телефон: 8(495) 513-65-82

Официальный сайт: <https://www.energia.ru/>

Электронная почта: [post2@rsce.ru](mailto:post2@rsce.ru)