

Федеральное государственное унитарное предприятие  
«ОПЫТНОЕ КОНСТРУКТОРСКОЕ БЮРО «ФАКЕЛ»  
ФГУП «ОКБ «ФАКЕЛ»

*Заместитель генерального конструктора*

Россия 236001, г. Калининград, Московский проспект, 181,  
Факс: 8-(4012) 538-472, e-mail: info@fakel-russia.com  
ОКПО 07556982, ОГРН 1023901002927, ИНН 3906013389, КПП 390601001/392550001

*21.11.18 № 301-02-655*

На №\_08-2018-10\_от\_15.10.2018\_

Ученому секретарю диссертационного совета  
Д212.125.08 доктору технических наук, профессору  
Федерального государственного бюджетного  
образовательного учреждения высшего образования  
«Московский авиационный институт (национальный  
исследовательский университет)» МАИ  
Ученый совет МАИ  
Зуеву Ю. В.

125993, г. Москва, А-80, ГСП-3, Волоколамское шоссе,  
дом 4

Уважаемый Юрий Владимирович!

Направляю Вам отзыв Федерального государственного унитарного предприятия «Опытное конструкторское бюро «Факел» (ФГУП «ОКБ «Факел») на автореферат диссертации Суворова М.О. «Тяговый узел прямоточного воздушного электрореактивного двигателя», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.05 — «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов» в двух экземплярах, заверенных печатью.

Приложение: Отзыв, 2 экз. на 5 л. каждый

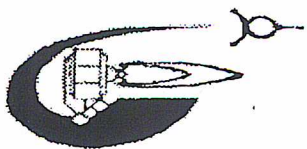
Заместитель генерального конструктора  
ФГУП «ОКБ «ФАКЕЛ»



А.И. Корякин

Исполнитель Нятин А.Г.  
Р.т. 4012-55-69-60

ОБЩИЙ ОТДЕЛ МАИ  
Вх. № 2  
28.11.2018.



Федеральное государственное унитарное предприятие  
«ОПЫТНОЕ КОНСТРУКТОРСКОЕ БЮРО «ФАКЕЛ»  
ФГУП «ОКБ «ФАКЕЛ»

*Генеральный конструктор*

Россия 236001, г.Калининград., Московский проспект, 181,  
Факс: 8-(4012) 538-472, e-mail: info@fakel-russia.com  
ОКПО 07556982, ОГРН 1023901002927, ИНН 3906013389, КПП 390601001/392550001

№ \_\_\_\_\_

На № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

«УТВЕРЖДАЮ»



Заместитель Генерального конструктора  
ФГУП «ОКБ «Факел».

*А.И. Корякин*

А.И. Корякин

« 21 » \_\_\_\_\_ 11 \_\_\_\_\_ 2018 г.

**ОТЗЫВ**

на автореферат диссертационной работы Суворова Максима Олеговича «Тяговый узел проточного воздушного электрореактивного двигателя», представленной к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук в диссертационный совет Д212.125.08 при Московском авиационном институте (государственном техническом университете) по специальности 05.07.05 «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов» (технические науки).

Для коррекции орбиты искусственных спутников Земли (ИСЗ) часто используют электроракетные двигатели (ЭРД). Наиболее применяемыми типами ЭРД на сегодняшний день являются стационарные плазменные двигатели (СПД) и ионные двигатели (ИД). Данные типы ЭРД отличаются конструктивными схемами, принципами генерации плазмы, однако имеют общую характерную черту – электростатический механизм ускорения заряженных частиц, ионов, для создания тяги.

ОБЩИЙ ОТДЕЛ МАИ  
Вх. № \_\_\_\_\_  
" 21 " 11 \_\_\_\_\_ 2018

Настоящая диссертационная работа посвящена вопросам создания двигательной установки (ДУ) для низкоорбитальных спутников дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Высоты орбит, рассматриваемых в работе, колеблются в диапазоне 200÷250 км над поверхностью Земли. На таких высотах КА испытывает значительное аэродинамическое сопротивление остаточной атмосферы. Такие условия накладывают серьезные ограничения на использование ДУ с ЭРД, т.к. во-первых, для аппаратов малой массы значительная часть полезной нагрузки может приходиться на долю запасенного рабочего тела (РТ), а во-вторых, срок активного существования будет так же зависеть от количества РТ на борту. Для решения данной проблемы, автор предлагает использовать прямоточную компоновку КА, а в роли тягового узла использовать перспективный тип ЭРД – высокочастотной ионный двигатель (ВЧИД). В качестве РТ предлагается использовать остаточную атмосферную среду. Главной особенностью ВЧИД является безэлектродная схема ионизации РТ, что позволяет данному двигателю функционировать на агрессивных химически-активных газах.

Таким образом, диссертация посвящена исследованию тягового узла прямоточного воздушного электрореактивного двигателя (ПВЭРД). Актуальность работы обусловлена высоким интересом современной российской космонавтики в аппаратах ДЗЗ, а так же слабой изученностью функционирования выбранного типа ЭРД на атмосферных компонентах.

**Научная новизна** в данной работе заключается в том, что диссертант показал возможность стабильного зажигания и горения высокочастотного разряда на доступных концентрациях азот-кислородной смеси, соответствующих реальным условиям полета ПВЭРД на высоте около 220 км. Стоит отметить, что поджиг разряда осуществлялся без дополнительных пусковых добавок инертных газов.

В диссертационной работе рассмотрены альтернативные компоновки тягового узла, а также впервые предложена схема с установленным в поток ионизатором. Использование данной схемы способствует увеличению

мощности вводимой в плазму за счет повышения эффективности ионизации атмосферных газов в РК.

Так же стоит отметить математическую модель, предложенную автором. При работе ПВЭРД на высотах 200...250 км, доступные концентрации атмосферного рабочего тела могут меняться в зависимости от высоты орбиты, солнечной и геомагнитной активности и др. факторов. В свою очередь от величины доступного массового (объемного) расхода РТ на входе в РК сильно зависят интегральные характеристики тягового узла. Для быстрой оценки влияния этой зависимости, автором была разработана и предложена упрощенная математическая модель, связывающая концентрацию РТ с тягой и потребной для работы двигателя мощностью. Уникальностью данной модели является ее расчет относительно двухкомпонентной азот-кислородная смеси, выступающей в качестве РТ ПВЭРД.

#### **Практическая значимость результатов работы.**

Для проведения экспериментальных исследований автором был изготовлен лабораторный ВЧИД – прототип тягового узла ПВЭРД, а также две его модификации. Автором было получена 2 патентных свидетельства по тематике диссертационной работы.

По результатам исследований были предложены рекомендации для создания тягового узла ПВЭРД. Рекомендации относятся к элементам конструкции тягового узла.

Автором разработана и предложена балансовая модель для быстрой оценки влияния доступных концентраций атмосферного РТ с интегральными характеристиками тягового узла.

**Достоверность полученных результатов** подтверждается тем, что эксперименты, приведенные в работе, были выполнены на сертифицированном оборудовании с применением современных методик сбора и обработки данных. Численное моделирование параметров разряда хорошо согласуется с данными экспериментальных исследований.

К недостаткам работы следует отнести следующее

1 Так как низколетящие КА половину времени находятся в тени Земли, а источником энергии являются солнечные батареи, тяга двигателя должна, по крайней мере быть вдвое выше, чем аэродинамическое торможение. Соответственно, потребуется вдвое выше мощность двигателя и необходимый расход рабочего газа, что не было учтено в оценках.

2 Модель ВЧИД-15-2 со стороны входа представляет собой замкнутую систему, в результате чего достигалось полное использование подаваемого плазмообразующего газа. Реальная же система прямоточного двигателя будет иметь открытый вход, через который будет уходить значительная часть, поступающего газа. В работе не представлены оценки по газовой эффективности воздухозаборника, с учетом гидравлического сопротивления разделительной решетки, что может стать принципиальным ограничением для эффективной организации рабочего процесса или потребует увеличения массы и габарита устройства.

3 Схемы ВЧИД и его модификаций, приведенные в автореферате, являются лабораторными прототипами тягового узла и обладают низкой степенью конструкторской проработки.

Тем не менее, сделанные замечания не снижают высокого научно-технического уровня выполненной работы.

Личный вклад и апробация работы подтверждаются публикациями автора. По теме диссертации опубликовано: пять научно-технических отчетов, пять статей, в том числе три - в изданиях из списка ВАК. По результатам работы сделано 10 докладов на международных и всероссийских научно-технических конференциях, получено два патентных свидетельства: на полезную модель и на изобретение.

Диссертационная работа «Тяговый узел прямоточного воздушного электрореактивного двигателя» удовлетворяет всем требованиям Положения ВАК о порядке присуждения ученых степеней, предъявляемых к кандидатским диссертациям, а ее автор, Суворов Максим Олегович,

заслуживает присуждения степени кандидата технических наук по специальности 05.07.05 - «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов».

Отзыв на автореферат диссертационной работы Суворова Максима Олеговича утвержден на заседании секции №1 НТС ОКБ «Факел» \_12 ноября 2018 г. Протокол № 12-11-2018с1.

Отзыв составили

Начальник отдела № 301




Вертаков Н.М.

Ведущий научный сотрудник  
отдела № 301, к.т.н.



Нестеренко А.Н.

Ученый секретарь НТС ОКБ «Факел»

 А.Г. Нятин

Подписи Н.М. Вертакова и А.Н. Нестеренко удостоверяю

Начальник общего отдела



Л.Г. Шевченко

Полное название организации: Федеральное государственное унитарное предприятие «ОПЫТНОЕ КОНСТРУКТОРСКОЕ БЮРО «ФАКЕЛ».

Почтовый адрес: 236001, РФ, г. Калининград, Московский проспект, 181.

Телефон: 8(4012) 53-84-72

Электронная почта: [info@fakel-russia.ru](mailto:info@fakel-russia.ru)