

# В РАЗВИТИЕ СТАТЬИ ("ДВИГАТЕЛЬ" №4 2015) "Заметки к вопросу о перспективных движителях"

**Дмитрий Александрович Боев**, помощник генерального директора ГНЦ РФ ФГУП "ЦИАМ им. П.И. Баранова"  
**Александр Владимирович Ефимов**, научный сотрудник ГНЦ РФ ФГУП "ЦИАМ им. П.И. Баранова"

*Современное авиационное двигателестроение переживает время совершенства своей основной тяги – газотурбинных двигателей. Путь интенсификации процессов в ГТД достиг своего практического потолка. Может быть и нет необходимости снова превращать электрическую энергию в механическую и стоит вспомнить о существовании, например, электрических или ионных двигателей?*

*Modern aviation engine-buildings is experiencing a time of perfection of their main energy source – gas turbine engines. The methods of processes intensification in GTE have reached its practical limit. Maybe there is no need to convert electrical energy into mechanical and it is worth remembering the existence of, for example, electric or ion engines?*

**Ключевые слова:** авиадвигателестроение, ракетные двигатели, электродвигатели, ионные двигатели.

**Keywords:** aviation engines, rocket engines, electric engines, ion engines.



В нашей предыдущей статье [8] описывались некоторые результаты исследования модельной установки ионного двигателя, работающего в условиях атмосферы. Исследования проводились в рамках совместной работы ЦИАМ - школы "Интеллектуал", см. [3,4,5].

Школьниками была сконструирована и изготовлена модель летательного аппарата на основе описания, взятого из [6]. Модель поднималась в воздух с помощью ионного движителя.

Замеры усилия, развиваемого макетом ионного движителя ( $U = 30$  Кв и ток  $I = 0,15$  ма), проведенные в школе "Интеллектуал", показали, что при принятых авторами параметрах конструкции подъемная сила составляет 10 г. Учитывая, что вес модели составлял 3 г, избыточная подъемная сила составила 7 г. При уменьшении напряжения до 21,4 Кв и тока в 0,15 ма, подъемная сила составила 1,427 г.

Если отнести полученные величины избыточных подъемных сил к суммарной площади ячеек модели, выяснится, что с каждого квадратного метра поверхности аппарата, применяя те же параметры, какими мы оперировали в эксперименте, можно получить, соответственно, 250 г и 106,6 г. Для сравнения: если отнести суммарные тяги двигателей существующих типичных летательных аппаратов к суммарной площади их поверхности, то получим для взлетного режима 11 кг/м<sup>2</sup> и 2,5 кг/м<sup>2</sup> для крейсерского режима полета. Таким образом, если бы всю площадь реального летательного аппарата превратить в электростатическое устройство, аналогичное использованному в нашем эксперименте, то для того, чтобы он мог обеспечить полёт, следовало бы увеличить эффективность ионного двигателя минимум в 10 раз для крейсерского режима, и в 44 раза - для взлетного режима.

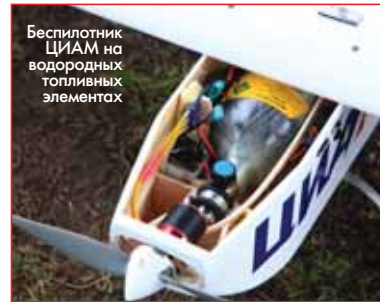
Мы хотели показать в этой и предыдущих статьях, что в принципе, существующие методы энергетических приводов атмосферных летательных аппаратов, применяемые сейчас - с помощью тепловых двигателей различного класса - не являются единственно возможными. Другое дело, что для того, чтобы реально использовать, скажем, "ионный ветер" как привод для атмосферного летательного аппарата, нужно весьма немалые силы и средства вложить в исследование процесса. Без этого все эти рассуждения так и останутся профанацией и пустым фантазёрством.

То, что для прогресса в приводах летательных аппаратов нужны

новые идеи, многим становится ясно. Как следствие - поиск различных кандидатов на роль тяговых двигателей для перспективных летательных аппаратов. Отсюда же - появление немалого количества проектов и

даже уже летающих машин с распределёнными силовыми установками. В роли тяговых двигателей применяются в разных конструкциях различного типа электромоторы. Практически почти все они являются экспериментальными аппаратами. Многие из них используют

солнечные энергетические элементы для производства весьма длительных перелётов. Так, совсем недавно совершён на подобных устройствах полёт вокруг Земли. Для реального применения в серийных моделях летательных аппаратов предстоит ещё решить ряд серьёзных проблем, связанных с передачей энергии от двигателя к движителю, типа потерь при передаче, возникновения мощных электрических полей вокруг бортовой силовой сети, весовых несовершенств. Естественно, одной из проблем будет и преобразование низковольтного сгенерированного тока в более высоковольтный. А главный вопрос - где все это разместить и как передать? Пока неясно: способны ли мы, с нашим состоянием техники достойно закрыть эти вопросы.



Беспилотник ЦИАМ на водородных топливных элементах

Во всех этих упомянутых (и не упомянутых) современных поисках нового источника тяги для летательных аппаратов прослеживается одна общая тенденция: разделение двигателя и движителя. Если ГТД максимально возможно объединил эти машины, причём до такой степени, что и сами движители не смогут вам толком

указать границу между ними, то идеи, возобладавшие на новом витке спирали прогресса, вновь сделали вопрос открытым. В качестве перспективного силового привода летательных аппаратов, разрабатываемого ОКБ мира, весьма часто видятся уже упомянутые нами распределённые силовые установки, где работающий в спокойной обстановке (по типу очень большого ВСУ или газотурбинной установки) на борту ГТД посредством различного рода трансмиссий - механической, газовой, гидравлической, электрической - снабжает энергией множество распределённых по ЛА движителей.

С другой стороны, весьма распространённым стал и класс БПЛА и масштабных моделей, использующих тяговые электродвигатели, аккумуляторные, конденсаторные накопители энергии, или же водородные и иные топливные элементы, выраба-



Solar Impulse-2



9-двигательный Самолёт Капрони 1921 г.



Проект многомоторного аппарата darpa-vtol-1500-ed



Американский беспилотник Global Hawk

тывающие электроэнергию для этих двигателей. Некоторые из этих моделей находятся на грани пилотируемых и беспилотных летательных аппаратов. Впрочем, последнее - пока экзотика.

В проектах аналогичных машин, имеющих в качестве источника энергии бортовой ядерный реактор, недостатков в недавнем прошлом не было. Однако, ни одна из таких машин, в том числе и те, где бортовой ЯРД работал как маленькая электростанция, так и не полетела. Хотя некоторые дошли уже до стадии летающей лаборатории (мы об этом писали ранее в журнале "Двигатель" - [10, 11]).

Заметим, кстати, что история изобретательства явно замыкает некий виток: первыми двигателями (не считая мускулолётов), которые пытались применить на летательных аппаратах ещё в XIX веке, наряду с паровыми, были электрические. И изобретатели оставили попытки их применения - как выяснилось, на время - в связи с появлением работоспособных двигателей внутреннего сгорания: поршневых, а после и газотурбинных.



Проект дирижабля с атомной силовой установкой и распределёнными тяговыми двигателями (по журналу "Техника-молодёжи" конца XX века)

Впрочем, надо оговориться, что в обширной классификации патентного ведомства, разделы "двигатели" и "летательные аппараты" уже который век являются одними из наиболее пополняемых.

С другой стороны, уже не один десяток лет разрабатывается тема электроракетных двигателей различного класса: ионно-плазменных, на ячейках Холла и иных конструкций. Эти двигатели работают



Микро - беспилотник с видео камерой большого разрешения

в условиях вакуума, для внеатмосферных летательных аппаратов и в качестве рабочего тела используют ускоряемую плазму из газов различного рода (обычно - инертных, например - ксенона), запас которых хранится на борту [9]. Двигатели этого типа, при мощности в десятки киловатт, обеспечивают удельные импульсы тяги в тысячи и десятки тысяч секунд (за счёт крайне высокой скорости рабочего тела, разгоняемого магнитным полем. Время огневой работы таких двигателей - тысячи и десятки тысяч часов при многократном включении. При всём том, для использования в атмосферных летательных аппаратах они не пригодны, вследствие того, что воздух, как смесь разных газов, да ещё и водяных паров попросту гарантирует пробой системы высокого напряжения движетеля.

В монографии института им. Курчатова [9], представлено исследование ионных двигателей в условиях вакуума (как и все прочие исследования этой группы двигателей). Для повышения в таких двигателях проницаемости для рабочего тела ("прозрачности") плазменного электрода на большую величину, чем 60-70 %



Ионный двигатель

(как у обычно применяемых), можно использовать в них ускоряющие системы со щелевыми апертурами. В таких системах электроды представляют собой пластины с прорезанными в них длинными тонкими щелями.

Двигатель ЭРД-50, разработанный в Центре Келдыша, предназначен для марсианского экспедиционного комплекса. Единичный модуль должен иметь мощность 30 кВт, обеспечивать удельный импульс тяги 7000 с и время огневой работы не менее 15 000 ч. При этом суммарная мощность ЭРДУ у поверхности планеты должна составлять 15 МВт. Каждый электрод состоит из 170 стержней, растягиваемых пружинами для сохранения геометрических параметров при нагреве системы. Для проверки правильности принятых решений, а также в целях отработки технологии изготовления щелевых ИОС и изучения особенностей работы, разработана и изготовлена лабораторная модель ионного двигателя ИД-180П.

Другим вариантом щелевой конструкции электродов является набор параллельных стержней или натянутых струн. Основой этих материалов в перспективе могут быть сетки из графитовых волокон. И конструкция ионного двигателя (например, ИОС-250 разработки института им. Курчатова) очень сильно похожа на ту "рамочку", что испытывали школьники из "Интеллектуала". И, может быть, стоит поискать вариант такой конструкции и для работы в атмосфере, на воздухе? Благо, что здесь рабочего тела предостаточно и с собой возить не надо. Другое дело, что очевидного решения поставленных здесь вопросов не находится, и в первую очередь, именно потому, что в таком разрезе эту проблему пока всерьёз не рассматривали. Возможно, это дело нашего будущего. И, может быть и не столь уж отдалённого.

**Поживём - увидим...**

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Работа ведущих авиадвигателестроительных компаний в обеспечение создания перспективных авиационных двигателей. Под ред. В.А. Скибина, В.И. Солонина. ЦИАМ М. 2004 г.
2. Развитие авиационных ГТД и создание уникальных технологий. В.И. Бабкин, М.М. Цховребов, В.И. Солонин, А.И. Ланшин. Научно-технический журнал "Двигатель" № 2 2013 г.
3. Некоторые результаты исследования электростатического двигателя. Д. Власенко, В. Квитко, В. Кузнецов, А.В. Ефимов. Научно-технический журнал "Двигатель" № 2 2008.
4. Ионлет или к вопросу об "эффекте Бифульда-Брауна". В. Кузнецов, А. Роговский, А.В. Ефимов. Научно-технический журнал "Двигатель" №4 2009.
5. Поиски "Эффекта Бифульда-Брауна". М. Щукин, А.В. Ефимов. Научно-технический журнал "Двигатель" №3 2010.
6. Удивительные электронные устройств. Электроника для начинающего гения. Б. Яннини М Press 2008 г.
7. Ионные двигатели для космических полетов. Э. Штулингер. М. Машиностроение. 1968 г.
8. Заметки к вопросу о перспективах ионных движителей в авиации. Д.А. Боев, А.В. Ефимов, ФГУП "ЦИАМ им. П.И. Баранова Научно-технический журнал "Двигатель" №4 2015.
9. Холловские и ионные плазменные двигатели для космических аппаратов / О.А. Горшков, В.А. Муравлёв, А.А. Шагайда; под ред. академика РАН А.С. Коротева. М.: Машиностроение, 2008. 280 с
10. История атомного самолета в кратком изложении. Н. Александров, Научно-технический журнал "Двигатель" № 1, 2004 (31), С. 22
11. Вклад ОКБ Н.Д. Кузнецова в создание атомного самолета. Г.М. Горелов, Л.М. Ширкин, Научно-технический журнал "Двигатель", № 2 2011 (7 4), С. 28

Связь с автором: boeff@yandex.ru  
krylat@mail.ru

**Как мы и предполагали последние десять и более лет, следующим двигателем/движителем для летательных аппаратов, очевидно, будет электростатический, интерес к работе над которым только-только начинает пробуждаться. Но ведь начинается же, коллеги! Этот путь, очевидно, непрост и долг, но мы по нему уже пошли.**

От редакции: Дм. Боев