

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, 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, ion engines?

Ключевые слова: авиадвигателестроение, ракетные двигатели, ионные двигатели.
Keywords: aviation engines, rocket engines, ion engines.

Всякая идея, будучи доведённой до технического совершенства (в границах применяемых материалов, техники и технологий), одновременно с тем исчерпывает возможности дальнейшего развития. А, следовательно, это - уже уходящая со сцены театра технического развития тема. И продолжает своё существование она только там, где её преимущества неоспоримы. В энергомашиностроении такой путь, например, прошли паровые двигатели различного рода, широко применявшиеся в различных областях техники, доведённые до совершенства, а ныне существующие почти исключительно в ядерных силовых установках да ТЭЦ. Так же точно безжалостный прогресс поступил с авиационными поршневыми двигателями, удел которых сейчас - автомобили да лёгкомоторная авиация.

Интересно: в апофеозе развития, совершенно невозможно предположить, что именно придёт на смену тому, что повсеместно используется в данный момент. И это несмотря на то, что зачатки "могильщика" так успешно применяемой системы уже существуют и вовсю развиваются. Так, теория ГТД была подробно описана в книге Стечкина по меньшей мере за 20 лет до начала их повсеместного использования. Не говоря уже о том, что реактивная паровая турбина Герона крутилась вообще более 2 тысяч лет назад. Возможно и сейчас мы столь же недалёковидны и не предполагаем, что же именно будет основным энергоприводом в технике следующих поколений из того, что уже сейчас имеется в нашем распоряжении.

Банальностью стал вывод о том, что современное авиационное двигателестроение переживает то самое непростое время совершенства газотурбинных двигателей. Путь интенсификации процессов в ГТД достиг своего практического потолка. Каждый шаг улучшения даётся всё большими затратами труда и средств учёных и разработчиков. Мало того: дальнейшее увеличение температуры газа перед турбиной и степени повышения полного давления в компрессоре ведёт к нежелательным процессам диссипации продуктов сгорания, образованию вредных окислов, вырождению процессов вследствие граничности их параметров и системного... снижения надёжности и эффективности двигателя.

Удивительно, но примерно то же самое можно сказать и о ЖРД, применяемых сейчас для перемещения в безвоздушном пространстве. То, что мы используем, также достигло своего совершенства.

Учёные разных стран сошлись на том, что в качестве перспективы развития современных летательных аппаратов наиболее рационально - изменение схемности использования энергопривода. Одно из таких решений - распределенные движительные установки. Иначе: источник энергии (скажем, тот же ГТД) работает на своём оптимальном режиме с наибольшей эффективностью, а энергия его передается различным способом к движителям (ну, например, винтовентиляторам - как сейчас это воспринимается), распределенным по летательному аппарату. Способы передачи энергии могут быть различны: механический, газодинамический или электрический. Наиболее эффективным, с наименьшими потерями

Методически на научном уровне хорошо изучены только электроракетные двигатели, рассчитанные для работы с космическими аппаратами. Ещё в 1962 году на двигательном факультете Московского авиационного института профессором А.В. Квасниковым была организована кафедра "Энергосиловые установки космических аппаратов". Там были созданы экспериментальные модели и прототипы сильноточных плазменных двигателей различных типоразмеров, проведены исследования рабочих процессов и предложены методы оптимизации стационарных плазменных двигателей, плазменно-ионных двигателей и коллоидных двигателей мощностью от 50 Вт до 3-5 кВт. Исследовались и оптические, теплофизические и термодинамические свойства плазмы и электропроводящих сред при наличии электрических и магнитных полей. В 1987 году на базе кафедры был организован Научно-исследовательский институт прикладной механики и электродинамики (НИИП-МЭ). В этот институт перешел и большой отряд сотрудников, работавших в составе коллектива научной школы кафедры. Результаты исследований научной школы кафедры нашли широкое применение при создании ЭРД, серийно выпускаемых ОКБ "Факел", космических энергетических установок, разработанных РКК "Энергия" и НПО "Квант"; энергофизических установок различного назначения, разработанных НПО "Зенит", НПО "Энергомаш", ИЦ им. М. В. Келдыша и НПО "Прикладная механика" им. М. Ф. Решетнева. По материалам сайта факультета Двигателей летательных аппаратов МАИ

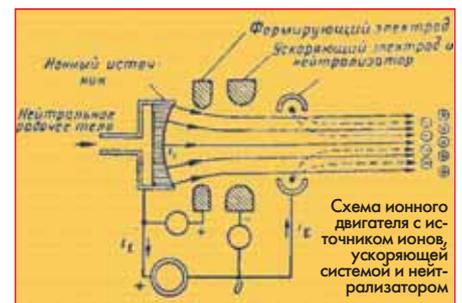
и весом передающих элементов, очевидно был бы электрический способ. Естественно - при решении целого ряда технических вопросов, связанных с передачей больших мощностей. Например, путём применения сверхпроводящих коммуникаций.

Игрушки и даже вполне полезные устройства, работающие по такому принципу, типа квадро- и поликоптеров сейчас известны достаточно широко. Перемещение с их помощью, например, телетрансляционных камер и средств слежения уже никого не удивляет.

Но ведь возможно и иное решение. Может быть и нет необходимости снова превращать электрическую энергию в механическую? И нужен ли сам винтовентилятор?

Может, стоит вспомнить о существовании, например, ионных двигателей?

Электростатическим, или ионным, двигателем называют двигатель, в котором частицы рабочего тела, обладающие электрическим зарядом, подвергаются действию ускоряющих сил в электростатических полях. Истекающие частицы могут быть атомарными ионами, молекулярными ионами, заряженными коллоидальными частицами или даже пылинками или каплями. Скорость истечения, приобретаемая частицами после прохождения ускоряющей камеры, определяется разностью потенциалов на концах камеры, зарядом частиц и их массой:



$$v = \sqrt{2 \frac{\epsilon}{\mu} * U}$$

где: ϵ - заряд частицы μ - масса частицы

Основными элементами ионного двигателя являются: ионизатор, ускоряющая камера, эмиттер электронов и нейтрализатор. В принципе, электронная пушка повсеместно выходящей из употребления электронно-лучевой трубки монитора или телевизора - хороший аналог такого двигателя. По оценке некоторых авторов (см. например Э. Штулингер. Ионные двигатели для космических полетов. М. 1968 г.), достижимы скорости 30-200 км/с! Для авиации такие скорости не нужны. Здесь достаточно иметь скорость, сопоставимую со скоростью полета. Главное условие - разница импульса по замкнутому контуру вокруг летательного аппарата в проекции к направлению движения должна быть не ниже аэродинамического сопротивления, чтобы создавать положительный импульс тяги.



В то время как ускоряющая камера ионного двигателя выбрасывает заряженные частицы только одного знака, аппарат с ионными двигателями, чтобы остаться нейтральным, должен выделять с одинаковой интенсивностью положительно и отрицательно заряженные частицы.

Совершенно ясно, что ионизировать можно либо газ, окружающий данный ускоритель частиц: например воздух атмосферы - и тогда мы имеем дело с атмосферным двигателем/движителем (отдельный случай, когда ионизируется окружающая наш аппарат токопроводящая жидкость - например, морская вода: тогда получается судовой движитель), либо специально полученные от источника ионов частицы - и тогда всё равно, в какой среде движется аппарат, приводимый в действие таким энергетическим источником. В последнем случае, как и широко применяющимся сейчас



ракетным реактивным двигателям, запас вещества для создания потока импульса надо возить с собой. Источники ионов, предназначенные для различных целей, разрабатывают и изготавливают в течение многих лет. Опыт показывает, что не существует элементов и, по-видимому, нет химических соединений, атомы и молекулы которых нельзя было бы ионизировать в лабо-

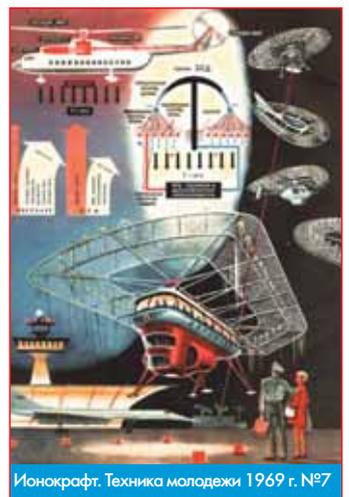
раторных условиях. Однако источник ионов электрического реактивного двигателя должен обладать следующими свойствами, которые обычно не принимаются во внимание при лабораторных исследованиях. Он должен обеспечивать почти 100% ионизацию, непрерывно работать в течение продолжительного времени, иметь затраты полной энергии не более нескольких сот электрон-вольт на ион, а также относительно малый вес.

Идеальная схема нейтрализации выполняется при введении нейтрализующих частиц в ионный поток в точно определенном месте. Эти частицы должны иметь вектор скорости и плотность тока такие же, как и у ионов. Схема основана на использовании ускоряющей-замедляющей системы; нейтрализующие электроны вводятся в плоскости замедляющего электрода.

Однако, подобную идеальную систему нельзя осуществить в действительности. Нейтрализующие электроны, эмитируемые с нагретых нитей, обладают максвелловским распределением по скоростям и будут эмитироваться во всех направлениях. Скорости большого числа электронов, эмитируемых с нагретых поверхностей, значительно превосходят скорости движения ионов. Если эмиттеры работают при температуре достаточно низкой для получения электронов с требуемой скоростью, то плотность тока эмиссии будет столь мала, что потребуются чрезмерно большая площадь эмиттеров. Даже при сравнительно малой площади эмиттеров их эрозия под воздействием попадающих ионов является серьезной проблемой.

Использование отрицательно заряженных ионов вместо электронов устраняет проблему несоответствия скоростей движения между положительно и отрицательно заряженными частицами. Действительно, если бы существовал компактный, легкий и эффективный источник отрицательных ионов, то комбинация ускорителей для положительно и отрицательно заряженных частиц в виде мозаичной структуры была бы, по-видимому, наиболее оптимальной конструкцией для ионного двигателя. Нет очевидных причин, из-за которых нельзя было бы использовать метод поверхностной ионизации для генерирования отрицательно заряженных ионов. В этом случае поверхность ионизатора должна обладать особенно низкой работой выхода, а ионизируемые атомы (например, галогены) следует выбирать по высокому потенциалу ионизации и "близкому родству" с электронами.

Отечественные популярные молодежные технические журналы "Юный техник", "Техника - молодежи", "Знания - сила" весьма и весьма много места с середины 60-х годов XX века и до середины "нулевых" века нынешнего уделяли различным электростатическим, ионным, плазменным и электромагнитным двигателям. То есть тому, чего в реальности пока не существовало. Эффект



Практически аналогичные движители пробуют применять и для движения в воде. Так, модель подлодки, созданная студентами Калифорнийского института в 2010 г. под руководством специалиста из фирмы "Вестингауз", приводилась в движение электромагнитной силой. Источником магнитного поля служила электромагнитная катушка, заложенная по внутренним обводам средней части пластмассового корпуса лодки и питаемая от аккумуляторной батареи напряжением 30 вольт. Ее магнитное поле было направлено по вертикальной оси. Электрический ток в токопроводящей морской воде создавался с помощью двух электродов, расположенных вдоль корпуса лодки по обоим ее бортам. Электроды питались от той же аккумуляторной батареи. Поскольку направление тока, текущего между электродами вокруг верхней и нижней половин корпуса, совпадало, то результирующая электромагнитная сила стремилась отбросить морскую воду как проводник с током вдоль его продольной оси. В результате создавалась реактивная сила, приводившая в движение модель. Стоит отметить, что в упомянутых советских детских технических журналах данная схема была описана ещё в конце 60-х гг. XX века.



Страница "Юного Техника" 1968 г.

рат на эффекте Бифульда-Брауна". Его представляли ребята из Детского и молодежного центра "Сокольники" под руководством энтузиаста "электромагнитного движения" М.М. Лавриненко.

Агрегат выглядел следующим образом: сотовая конструкция (три шестиугольника с общими сторонами) выполненная из пенопласта и фольги, штанга (пластиковая трубка) служащая для крепления одного из проводов и высоковольтный источник питания, который в свою очередь подключался к блоку питания постоянного тока.

По периметру сотовой конструкции на расстоянии примерно 1см от фольги протянута тонкая проволока (знакомый нам по представляемой выше теоретической схеме эмиттер). К ней присоединялся провод от штанги (скорее всего - минус). К фольге подключался второй провод от высоковольтного источника (видимо + плюс или "земля"). Источник постоянного тока был регулируемый, и, когда напряжение на выходе поднимали, сотовая конструкция отрывалась от стола. Т.е. просто парила в воздухе.

По утверждению создателей конструкции, весит она 35 г, но может поднять еще около 50 г груза (что и было продемонстрировано на одной из последующих экспозиций, когда агрегат поднимал маленькую видеокамеру). Движение модели обеспечивал источник с постоянным напряжением около 17 000 В при токе 200 мкА. Иначе, потребляемая мощность - 3,4 Вт. Получается, что каждый киловатт мощности, подведенной к модели, создает подъемную силу в 25 кгс. Эта величина... многократно превышает используемое сейчас в двигателях другого рода.

Под руководством одного из авторов данной статьи А.В. Ефимова, в школе "Интеллектуал" провели более подробное исследование. В его ходе постарались замерить различные параметры устройства: электрический потенциал в различных точках, возникающую силу, протекающие токи и др. Журнал "Двигатель" писал об этом в №4 2009 и №3 2010 года. Этот коллектив уже имел опыт исследования подобных устройств, когда работал над проектом электростатического двигателя ("Двигатель" № 2 2008 и №2 2009). Ими были проведены испытания электростатического двигателя в вакууме и получены довольно интересные результаты. Стало очевидно, что электростатический двигатель использует как ионный ветер, так и явления, с ним непосредственно не связанные.

Величина силы зависит от напряжения и силы тока. При 20 киловольтах и 0,15 микроамперах избыточная сила на отдельном элементе со стороны 200 мм составила 50 миллиграмм.

Использование более мощного источника позволило увеличить силу, и в конструкции из трех элементов (правильный треугольник) сила составила уже 3 грамма. Треугольная конструкция возникла, когда авторам конструкции попала книга Боба Янини "Удивительные электронные устройств. Электроника для начинающего гения". М. Press. 2008 г. В этой книге устройство описано довольно подробно. Конструкция несколько отличается от той, что мы видели

был, а объяснения его не находилось. В результате такой упорной просветительской деятельности что-то стало проясняться, а отдельные конструкции вошли в границы не только исследуемой, но даже изготавливаемой техники.

Достаточно долгое время на выставках серии НТТМ и "Архимед" изобретатели представляли разнообразные модели, использующие идеи ионного двигателя.

Так, на НТТМ-2005 был представлен "Гравитационный двигатель", транспортное средство на сверхпроводящих керамических магнитах и "Летательный аппарат

на НТТМ однако принципиальным является то, что хоть и упоминается "эффект Бифульда - Брауна", но устройство называется ионолетом.

Эта конструкция заработала 2 ноября 2008 г. При весе около 3 г подъемная сила составляет 7 г. Расчеты показывают что для этого достаточно отбрасывать 38 г воздуха в секунду со скоростью 1,81 м/с.

Любопытная картина открылась при выключенном свете: по всему периметру на проволоке эмиттера наблюдалось характерное для коронного разряда свечение.

Следует напомнить, что и на электростатических двигателях наблюдалось аналогичное характерное свечение коронного разряда. Причем в барокамере, при понижении давления воздуха вокруг аппарата, его можно было наблюдать и при слегка затемненной комнате.

В 2010 г. в ЦИАМ, в отделе 10 были произведены методом PIV измерения скорости движения потоков ионизированного воздуха в школьном ионолете. Правда, при напряжении, меньшем "рабочего".

В результате измерения получено максимальное значение скорости - 0.77 м/с. Из соображения сохранности аппаратуры напряжение выше не поднималось, но раз наш аппарат летает, то при 30-37 кВ скорость должна быть порядка - 1.33...1.4 м/с. Необходимо только помнить, что для ионизации и последующего разгона ионов нужно напряжение не менее 2 кВ (желательно - выше 30 кВ).

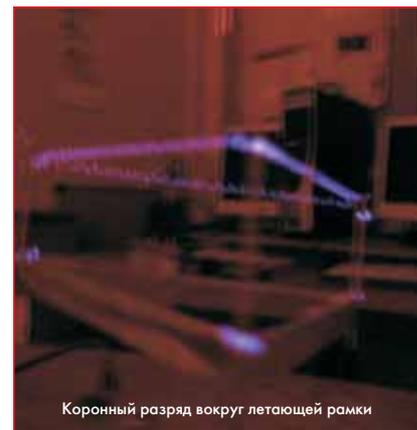
Ионный двигатель, возможно, будет весьма эффективен для привода, скажем, высотных беспилотников различного рода. В частности - аппаратов легкого воздуха с дистанционной беспроводной передачей энергии. Надо только перестать заморачиваться на "двигателе для левитации", выбросить из головы наработанное прессой представление о "летающих тарелках" и воспринимать устройство как нормальный тяговый двигатель. Таким ионным двигателем может быть и все крыло целиком, когда источником ионов - эмиттером является передняя кромка, а поверхность крыла, превращенная в совокупность коллекторов, последовательно разгоняет ионы до требуемых скоростей. В качестве двигателя (или совокупности большого числа таких двигателей) может выступать и вся внешняя поверхность летательного аппарата.

Минимальная мощность, на которой уже летают спортивные и экспериментальные самолёты с электродвигателем, работающим на пропеллер - порядка 50 киловатт. Мощные ВСУ для "полностью электрического" самолёта, типа представленных на салоне МАКС 2015 года - 200 кВт. Мощность, которую можно получить от маршевых ГТД, используя их как ГТУ привода электрогенератора на борту летательного аппарата - от 2 до 20 мегаватт. Это мы о том, какие имеются запасы мощности у перспективных двигателей для атмосферных летательных аппаратов.

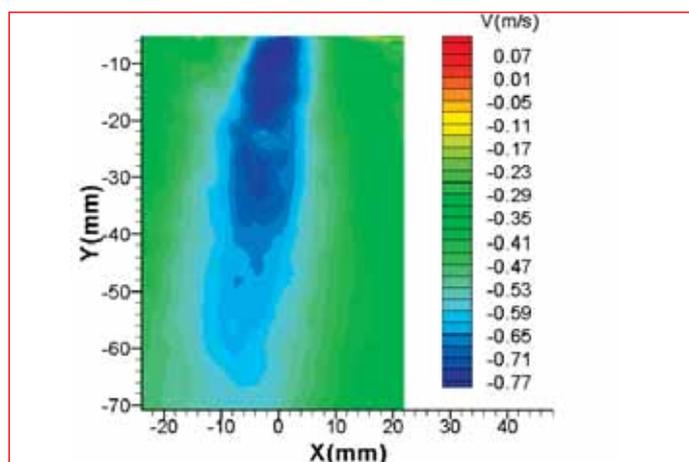
И, конкретизируем: наши исследования по футурологии двигателей, приведены исключительно для того, чтобы показать, что и тут есть над чем поразмышлять. До тех пор, пока поднимаемая только на любительском дилетантском уровне тема не станет объ-



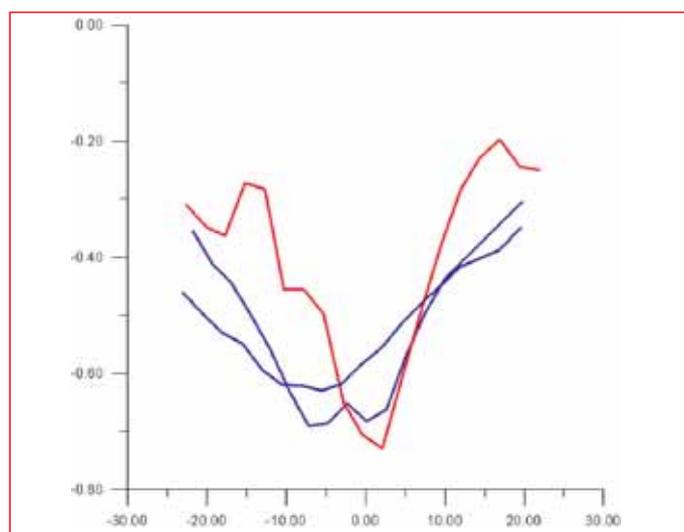
"Гравитационный двигатель" в лаборатории школы "Интеллектуал" в 2008 г.



Коронный разряд вокруг летающей рамки



V м/с. Напряжение 21.4 киловольта. Ток 0.15 микроампер.



Распределение скорости по ширине на разных высотах, мм:
10 (красная); 30 (фиолетовая); 60 (синяя)

ектом регулярного исследования профессионалов - как это стало с электроракетными двигателями - невозможно ни утверждать ни отрицать перспективы **Авиационного Ионного двигателя - АИД.**

Поживём - увидим...

Связь с автором: boeff@ciam.ru

ЛИТЕРАТУРА

1. Работа ведущих авиадвигателестроительных компаний в обеспечении 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. Ионолет 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. Шукин, А.В. Ефимов. Научно-технический журнал "Двигатель" № 3 2010.
6. Удивительные электронные устройства. Электроника для начинающего гения. Б. Яннини М Press 2008 г.
7. Ионные двигатели для космических полетов. Э. Штулингер. М. Машиностроение. 1968 г.

starrag

Starrag Group

**Ваш персональный эксперт
в области металлорежущих станков
и технологий**

Berthiez
Bumotec
Dorries
Droop+Rein
Heckert
Scharmunn
SIP
Starrag
TTL
WMW



Московское представительство общества STARRAG AG (Швейцария)

Зубарев пер. 15, корп. 1, офис 342

129164, Москва

Россия

Тел. +7 495 745 80 41/42

Факс +7 495 745 80 43

info-russia@starrag.com

www.starrag.com