

УДК 533.9.03

Экспериментальное исследование ионно-воздушного движителя

08, август 2012

Кириянов Д.А.

Студент, кафедра «Системы автоматизированного проектирования»

*Научный руководитель: Духопельников Д.В.,
к. т. н., доцент кафедры «Плазменные энергоустановки»*

МГТУ им. Н.Э. Баумана
bauman@bmstu.ru

В данной работе приводится исследование простейшего ионно-воздушного движителя и делается попытка теоретического объяснения возникновения подъемной силы в экспериментах с данным движителем, более известным под названием «ионолет».

В настоящее время широко известны подобные аппараты самых различных конструкций, они, как правило, представляют собой легкие непроводящие каркасы, на которых закреплены параллельно друг другу анод и катод. Анодом чаще всего является тонкий медный провод (диаметром 0,1 мм и менее) или несколько таких проводов, катодом – сетка или фольга. При создании между катодом и анодом высокого постоянного напряжения (10 кВ и более) наблюдается действие на модель силы, направленной от катода в сторону анода. Для демонстрации эффекта модель располагают так, чтобы анод был расположен над катодом – в таком случае сила тяги направлена вверх и при подаче достаточно высокого напряжения на правильно собранную модель появляется возможность достижения превышения силы тяги над весом модели и, как следствие, наблюдение взлета модели. На рис. 1 приведена фотография одного из «ионолетов», сконструированных автором для описываемых опытов. Это наиболее распространенный тип модели, используемый во многих университетах мира для лабораторных демонстраций.

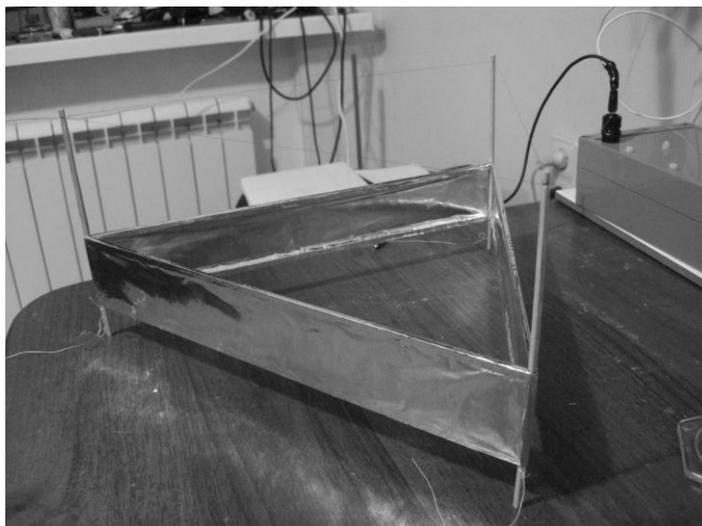


Рис 1. Традиционная модель «ионолета».

Приведенная на рис. 1 модель отличается относительно высокой грузопоемностью – во время опытов с напряжением не превосходящим 42 кВ максимальная полезная грузоподъемность достигала 6 г.

Для дальнейших экспериментов и удобства вычислений автору потребовалась более простая модель. Была создана конструкция показанная на рис.2.



Рис. 2. Модель, использовавшаяся в экспериментах по определению зависимости силы тяги от напряжения.

Габариты катода - квадрат со стороной 15 см; расстояние от анода до катода - 5 см; диаметр проволоки сетки катода - 0,3 мм; диаметр проволоки анода - 0,1 мм. Модель подвешивалась анодом вниз к одной из чаш аптечных весов, так, чтобы сила тяги «ионолета» была направлена вниз. Затем достигалось равновесие чаш, после чего на вторую чашу помещались разновесы и подбирались необходимые напряжения для возвращения равновесия чаш весов. По номиналам разновесов определялась сила тяги ионно-воздушного движителя. Для измерения напряжения применялся электростатический киловольтметр С196, способный измерять напряжение до 30 кВ. Высоковольтный источник постоянного напряжения, на основе умножителя Кокрофта-Уолтона, был собран автором специально для данного исследования. На рис. 3 приведены результаты эксперимента.

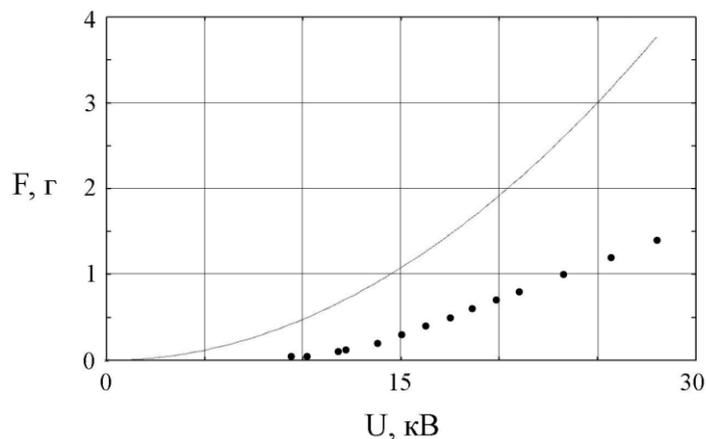


Рис. 3. Сравнение результатов эксперимента с теоретической моделью.

Зависимости силы тяги от напряжения, приведенные в найденных автором публикациях по данной теме [3-6], носили феноменологический характер, а графики, построенные по данным зависимостям, значительно расходились с результатами экспериментов (рис. 3).

Появилась гипотеза, состоящая в том, что эффект возникновения подъемной силы «ионолета» может объясняться кулоновскими силами отталкивания между положительно заряженными ионами воздуха и анодом. Электрически нейтральная молекула воздуха превращается в положительный ион, отдавая электрон аноду. Между таким ионом и анодом действуют силы Кулона. В случае равномерного распределения заряженных частиц вокруг анода равнодействующая кулоновских сил, действующих на анод, равна нулю и силы тяги нет, но если заряженные частицы распределены относительно анода неравномерно – равнодействующая кулоновских сил будет отлична от нуля и возникнет сила тяги. Считая, что концентрация ионов будет выше в зоне с большей напряженностью, и зная, что напряженность поля будет больше с той стороны анода, с которой расположен катод, можно прийти к выводу, что равнодействующая кулоновских сил будет направлена от катода к аноду, что и наблюдается в экспериментах. В такой мысленной модели принимаются допущение о ионизации воздуха лишь вблизи анода и действии на электроды «ионолета» лишь положительных ионов. Допущение обосновано наблюдениями падения силы тяги «ионолета» при появлении каких-либо неровностей или острых частей на катоде, приводящих в ионизации воздуха возле его поверхности. В то же время уменьшение радиуса кривизны анода (т.е. уменьшение его диаметра) ведет к увеличению силы тяги. Таким образом, можно сделать вывод, о том, что ионизация воздуха вблизи поверхности анода увеличивает силу тяги, а ионизация воздуха вблизи поверхности катода – напротив, уменьшает эту силу. В идеальном случае при отсутствии ионизации воздуха вблизи поверхности катода и, как следствие, отсутствии отрицательных ионов вблизи поверхности катода – сила тяги будет максимальной.

Для экспериментальной проверки гипотезы потребовался «ионолет» простейшей конструкции, для которого существовали бы простые и точные аналитические выражения для вычисления напряженности поля, электрической емкости и силы, действующая между ионом и анодом. Известные модели «ионолетов» не удовлетворяли данным требованиям, но была найдена модель, представляющая собой два прямых параллельных медных провода отстоящих друг от друга на некотором расстоянии. Один провод минимально возможного диаметра –

анод, другой значительно большего диаметра – катод. Автором был сконструирован жесткий каркас из сухих сосновых реек, на котором был закреплен катод и анод, на расстоянии 2 см друг от друга (см. рис. 5). Длина катода и анода - 30 см. Диаметр анода - 0,1 мм, диаметр катода - 3,5 мм. Электрическая емкость такого конденсатора вычислялась по формуле для емкости конденсатора, состоящего из двух проводящих параллельно расположенных цилиндров.

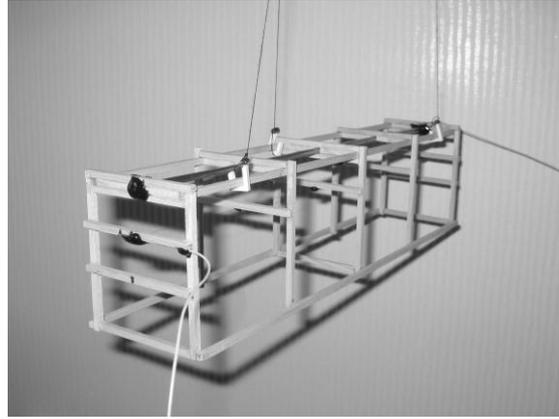


Рис. 5. «Ионолет» простейшей конструкции.

Напряженность поля вокруг анода, выраженная в полярных координатах:

$$E(r, \alpha) = \frac{C \cdot U \cdot h}{2 \cdot \pi \cdot \epsilon_0 \cdot l \cdot r \cdot \sqrt{r^2 + h^2 - 2 \cdot r \cdot h \cdot \cos(\alpha)}},$$

где α – угол между радиус-вектором и плоскостью, в которой лежат катод и анод, h – расстояние между катодом и анодом, l – длина катода (анода), C – электрическая емкость конструкции, r – радиус вектор, расстояние от анода до выбранной точки в пространстве.

Считая, что ионизация воздуха возможна при $E(r, \alpha) \geq E_{\min}$ и что суммарный заряд ионов вблизи поверхности анода не превосходит заряда анода, а также приняв, что вероятность ионизации молекулы тем выше, чем выше напряженность поля в данной точке, можно построить простую компьютерную имитационную модель. На рис. 6 представлены результаты физического эксперимента и график кривой, построенной по данной имитационной модели. Экспериментальное определение зависимости силы тяги такого ионно-воздушного движителя от напряжения выполнялось по той же схеме, что и для предыдущего «ионолета» (рис. 7).

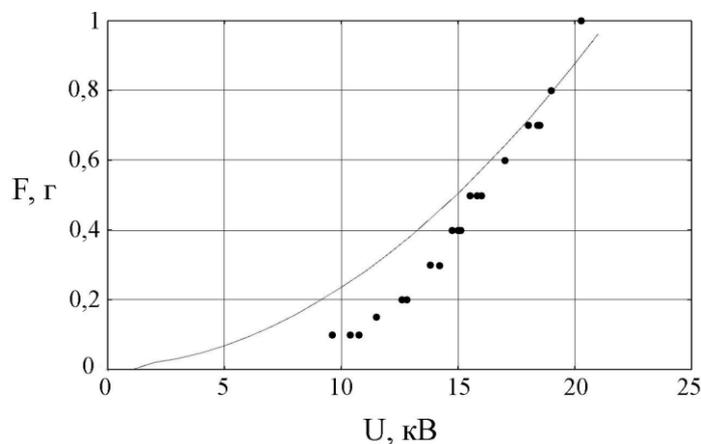


Рис. 6. Сравнение результатов эксперимента с компьютерной моделью.

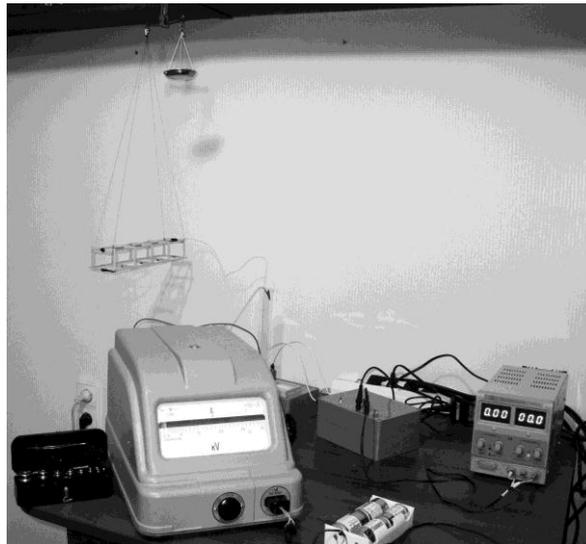


Рис. 7. Экспериментальный стенд для определения зависимости силы тяги ионно-воздушного движителя от напряжения.

Также был проведен эксперимент, в котором сила тяги «ионолета» измерялась при помощи электронных прецизионных весов Acculab Vicon VIC300d3. На рис. 8 представлены результаты двух серий такого эксперимента и результаты расчета по вышеописанной компьютерной модели для простейшего «ионолета» с расстоянием между катодом и анодом – 4 см, диаметром анода – 0,1 мм, диаметром катода – 3,5 мм, длиной катода и анода – 30 см.

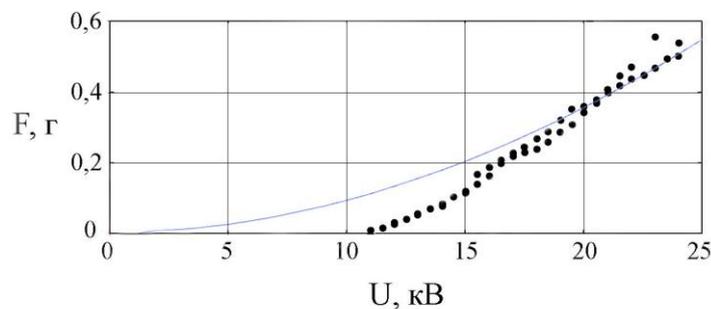


Рис. 8. Результаты экспериментов с применением прецизионных весов Acculab Vicon VIC300d3.

В ходе работы получена компьютерная иммитационная модель для вычисления силы тяги простейшего ионно-воздушного движителя и приведено ее сопоставление с результатами экспериментов. Как можно видеть по представленным графикам, данная модель достаточно точно описывает эффект возникновения подъемной силы в экспериментах с «ионолетами». В ходе дальнейших исследований автору, возможно, удастся получить и более точные аналитические уравнения, описывающие возникновение подъемной силы «ионолетов».

Литература

1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика: Учеб. Пособ.: Для вузов. В 10 т. Т. VIII Электродинамика сплошных сред. – 4-е изд., стереот. – М. ФИЗМАТЛИТ, 2005. – 656 с.
2. Райзер Ю. П. Физика газового разряда. Научное издание. 3-е изд. – Долгопрудный: Издательский дом «Интеллект», 2009. – 736 с.
3. Keaton Burns. Ionocraft Lifter. BSC Final Project. 2011.
4. Glenn E. Hagen. US Patent 3120363. Flying apparatus. 1964.
5. Alexandr P. de Seversky. US Patent 3130945. Ionocraft. 1964.
6. Xavier Borg V.Eng. Full analysis & design solutions for EHD Thrusters at saturated corona current conditions. Blaze Labs Research. 2004.