

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ ЗАПУСКА И ВРАЩЕНИЯ ИОННОГО РЕАКТИВНОГО ДВИГАТЕЛЯ ПОСРЕДСТВОМ ГЕНЕРАТОРА ВАН ДЕ ГРААФА

Круссер Г.Ю., Комаревцев Д.Н.
Оренбургский государственный университет, г. Оренбург

Введение

Ионные реактивные двигатели нашли широкое применение в космических аппаратах для разгона их в открытом космосе. Этому типу двигателя в настоящее время принадлежит рекорд негравитационного ускорения космического аппарата в космосе — «Deep Space 1» смог увеличить скорость на 4,3 км/с, израсходовав 74 кг ксенона. Однако механизм работы таких двигателей крайне мало изучен. Они обладают бóльшим КПД по сравнению с химическими и ядерными ракетными двигателями, поэтому можно считать, что ионный двигатель – двигатель будущего. Изучение данной темы позволит сделать шаг в развитии потенциала ионных двигателей. Кроме того, созданная лабораторная установка может быть использована в учебном процессе, что будет способствовать повышению научно-исследовательского потенциала следующих поколений студентов [1].

Постановка целей

- Исследование модели ионного двигателя;
- Выбор оптимальной формы ионной вертушки по критерию КПД.

Исследование

1. Разработка генератора Ван де Граафа

Для запуска ионной вертушки требуется высоковольтный источник постоянного или переменного напряжения. Было решено использовать генератор Ван де Граафа. Его преимущество заключается в том, что он способен выдавать очень большие электростатические потенциалы при относительной простоте конструкции.

Генератор Ван де Граафа — генератор высокого напряжения, принцип действия которого основан на электризации движущейся диэлектрической ленты. Это устройство является электростатическим генератором с гибким диэлектрическим транспортёром зарядов. Впервые был разработан американским физиком Робертом Ван де Граафом в 1929 году.

Простой генератор Ван де Граафа, схема которого представлена на рисунке 1, состоит из диэлектрической ленты (4), вращающейся на роликах (3) и (6), верхний ролик диэлектрический, а нижний металлический и заземлен. Верхний ролик вместе с лентой заключён в металлическую сферу (1). Два электрода (2) и (5), в виде щеток, находятся на небольшом расстоянии от ленты сверху и снизу, причём электрод (2) соединён с внутренней поверхностью сферы (1). Через щетку (5) воздух ионизируется от источника напряжения (7), образующиеся положительные ионы под действием силы Кулона движутся к заземлённому (6) ролику и оседают на ленте, движущаяся лента переносит заряд внутрь сферы (1), где он снимается щёткой (2), под действием силы

Кулона заряды выталкиваются на поверхность сферы и поле внутри сферы создается только дополнительным зарядом на ленте. Таким образом на внешней поверхности сферы накапливается электрический заряд. Возможность получения высокого напряжения ограничена коронным разрядом, возникающим при ионизации воздуха вокруг сферы. Модель генератора Ван де Граафа, собранная автором, представлена на рисунке 2.

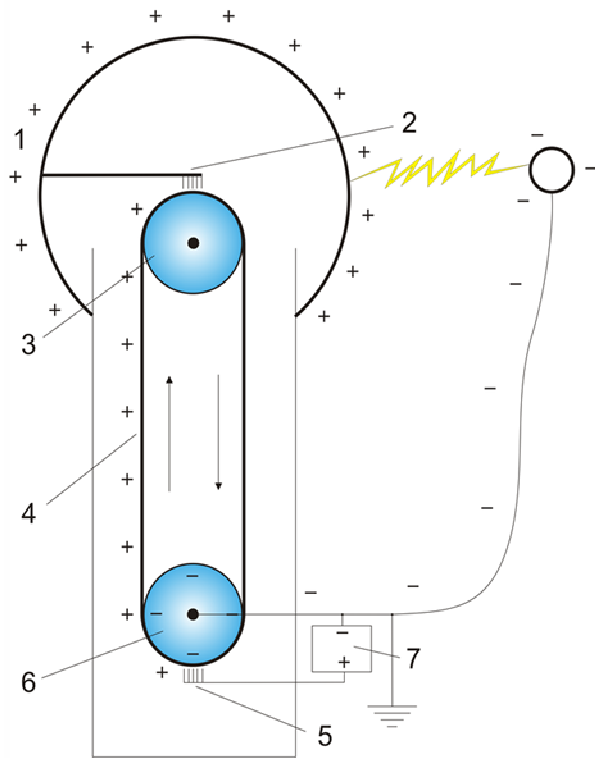


Рисунок 1 – Схема генератора Ван де Граафа



Рисунок 2 – Действующая модель генератора Ван де Граафа

Определим основные характеристики разработанного генератора:

Нахождение максимального заряда сферы [2]:

$$q_m = 8\pi R \times \sqrt{\epsilon_0 R \times \Delta R \times \sigma_{(pr)}} \quad (1)$$

$$q_m = 8\pi \cdot 0.1 \times \sqrt{8.85 \times 10^{-12} \cdot 3 \times 10^{-4} \cdot 600 \times 10^6} = 3.172 \times 10^{-3} \text{ Кл}$$

Определение максимального потенциала проводящей сферы:

Напряженность поля на поверхности шара высчитывается по формуле:

$$E = \frac{\varphi}{R} \quad (2)$$

где φ – потенциал шара, R – его радиус, E – напряженность поля. Если $R=10$ см, а напряженность для воздуха при атмосферном давлении равно 30кВ/см , то шар можно зарядить до $\varphi = E \times R = 300 \text{ кВ}$.

2. Исследование модели ионного двигателя

В качестве модели ионного двигателя в исследовании использовалась ионная вертушка. Ионная вертушка – это лабораторное устройство, ставшее предметом споров на протяжении двух столетий. В учебной физической

лаборатории иногда демонстрируют вертушку, которая приводится в движение подключением ее к высоковольтному источнику напряжения. Вращение вертушки обуславливается тем, что воздух вблизи ее острия ионизируется. В сильном электрическом поле образовавшиеся ионы и острие оказываются заряженными одинаково и отталкиваются. Ионная вертушка представляет собой изогнутую тонкую проволоку, одетую на ось из более толстой медной проволоки, подключенную к высоковольтному источнику питания. Вертушка, использованная в исследовании, представлена на рисунке 3.

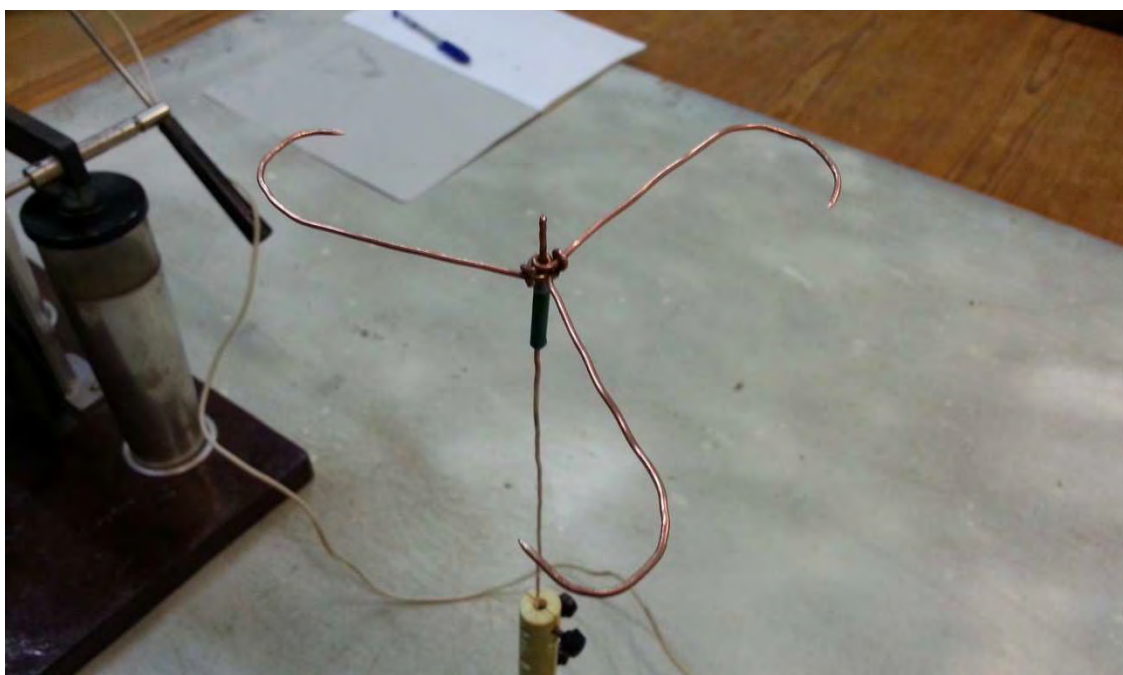


Рисунок 3 – Экспериментальная трехлопастная ионная вертушка

Для проведения эксперимента было сконструировано 3 вида вертушек: P-, Г- и S-образная. 3 исследуемых вида вертушек представлены на рисунке 4.

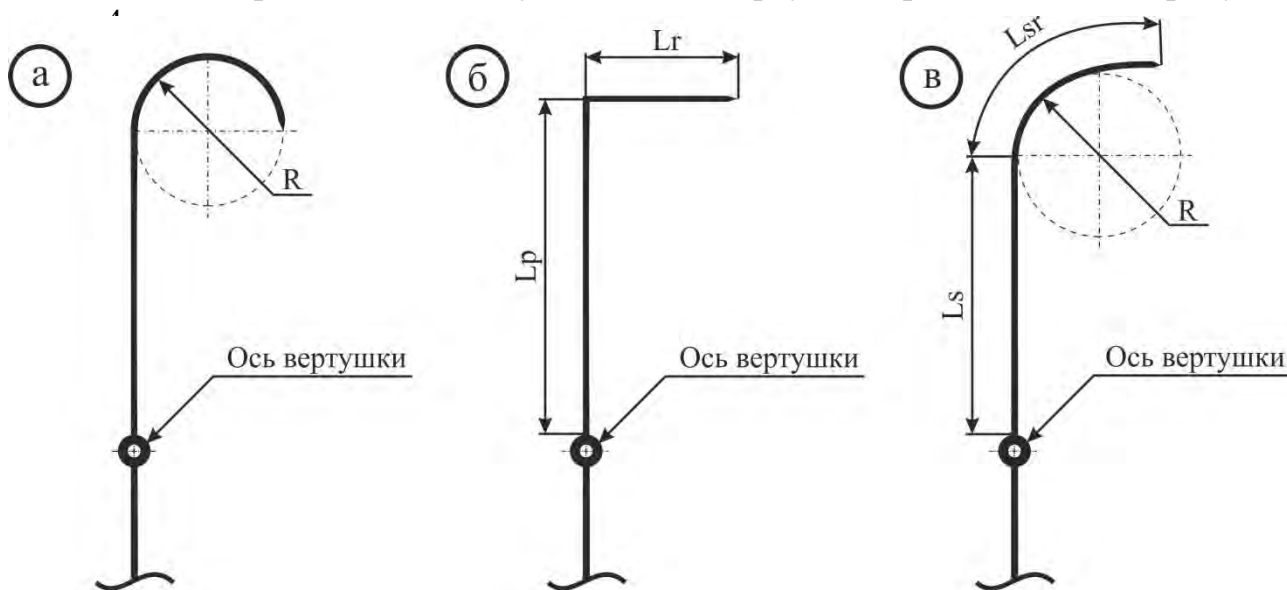


Рисунок 4 – Исследуемые формы вертушек: P-образная форма (а), Г-образная форма (б), S-образная форма (в).

Условные обозначения

1. Для Р-образной формы: R – радиус кривизны [мм].
2. Для Г-образной формы: L_r – рабочая длина вертушки [% от общей длины]; L_p – длина плеча вертушки [% от общей длины]; L_r+L_p – общая длина вертушки [мм].
3. Для S-образной формы: L_s – длина вертушки до изгиба [% от общей длины]; L_{sr} – рабочая длина вертушки [% от общей длины]; L_s+L_{sr} – общая длина вертушки [мм].

Выбор оптимальной формы вертушки осуществлялся по критерию КПД, т.е. по максимальному количеству оборотов, которое способна совершить вертушка при подаче на нее напряжения от генератора Ван де Граафа (300 кВ) в течение 20 секунд.

Рассмотрим Р-образную вертушку с концами, загнутыми по окружности (рисунок 4(а)). Результаты эксперимента представлены в таблице 1. R – радиус кривизны конца вертушки, N – количество оборотов модели ионного двигателя.

R, мм	0	6	10	15	20	25
N	0	16	20	19,5	17,5	15

Таблица 1 – результаты эксперимента с Р-образной вертушкой

Рассмотрим Г-образную вертушку с прямоугольными концами (рисунок 4(б)). Аналогично предыдущему пункту запишем экспериментальные данные в Таблицу 2. L – длина рабочего тела вертушки, N – количество оборотов модели ионного двигателя.

L, %	0	11,11	16,67	22,22	27,78	33,33	38,89	44,5	55
N	0	21.5	25	25.5	24	21.5	18	13	0

Таблица 2 – результаты эксперимента с Г-образной вертушкой

Рассмотрим S-образную вертушку (рисунок 4(в)). Аналогично предыдущим пунктам запишем экспериментальные данные в Таблицу 3. L – длина рабочего тела вертушки, N – количество оборотов модели ионного двигателя.

L, %	0	11,11	16,67	22,22	27,78	33,33	38,89	44,5	55
N	0	17	20	20,5	19	17	14,5	10	0

Таблица 3 – результаты эксперимента с S-образной вертушкой

3. Выбор оптимальной формы ионной вертушки

Изображения графиков зависимости скорости вращения от формы (от радиуса кривизны и рабочей длины вертушки) представлены на рисунках 5, 6 и 7.

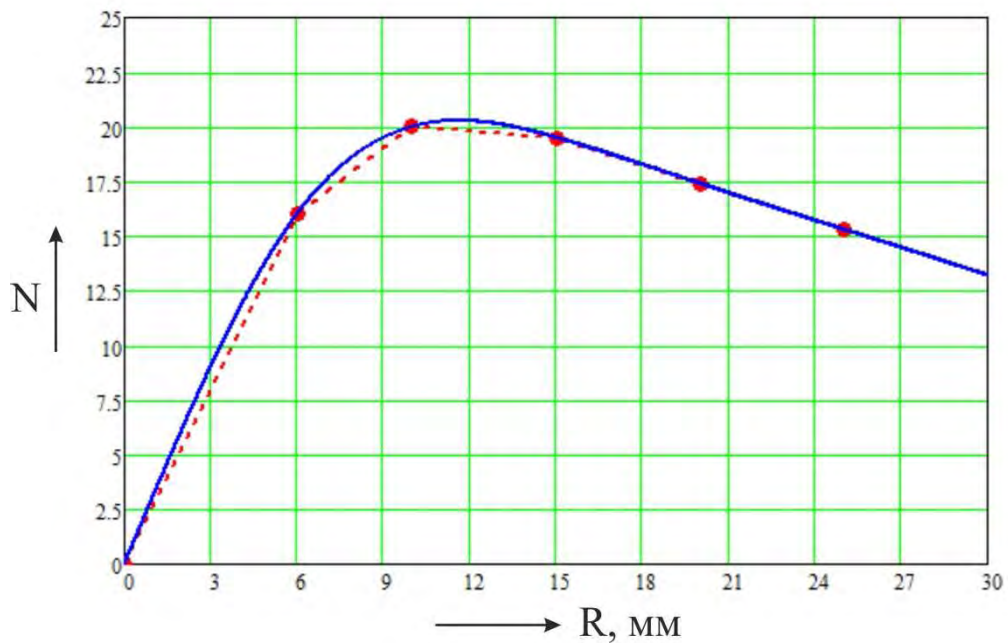


Рисунок 5 – График зависимости скорости вращения от радиуса кривизны Р-образной вертушки

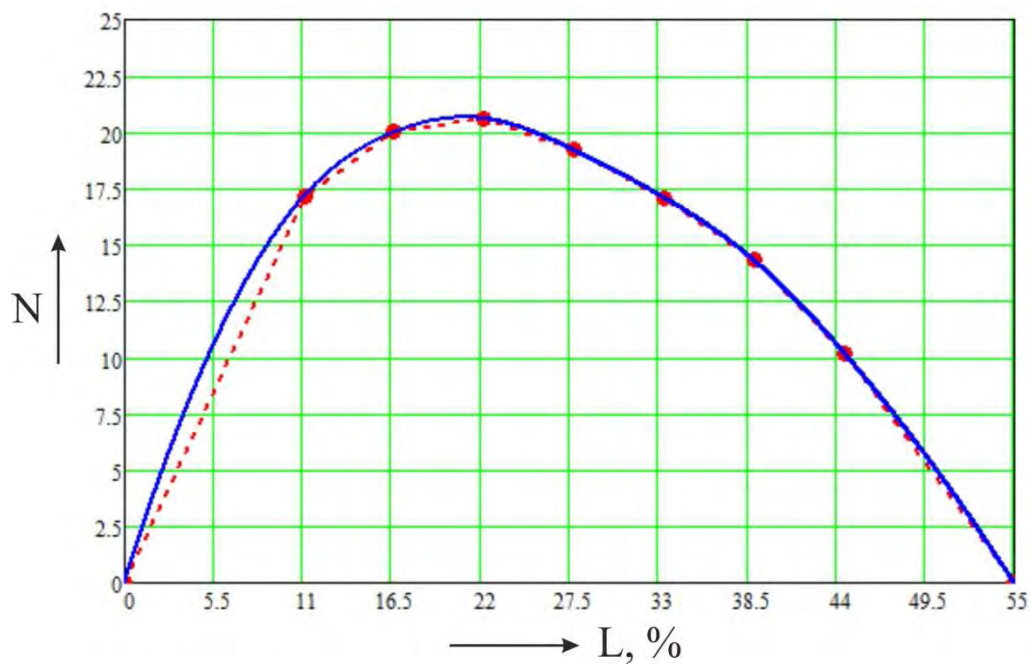


Рисунок 6 – График зависимости скорости вращения от рабочей длины Г-образной вертушки

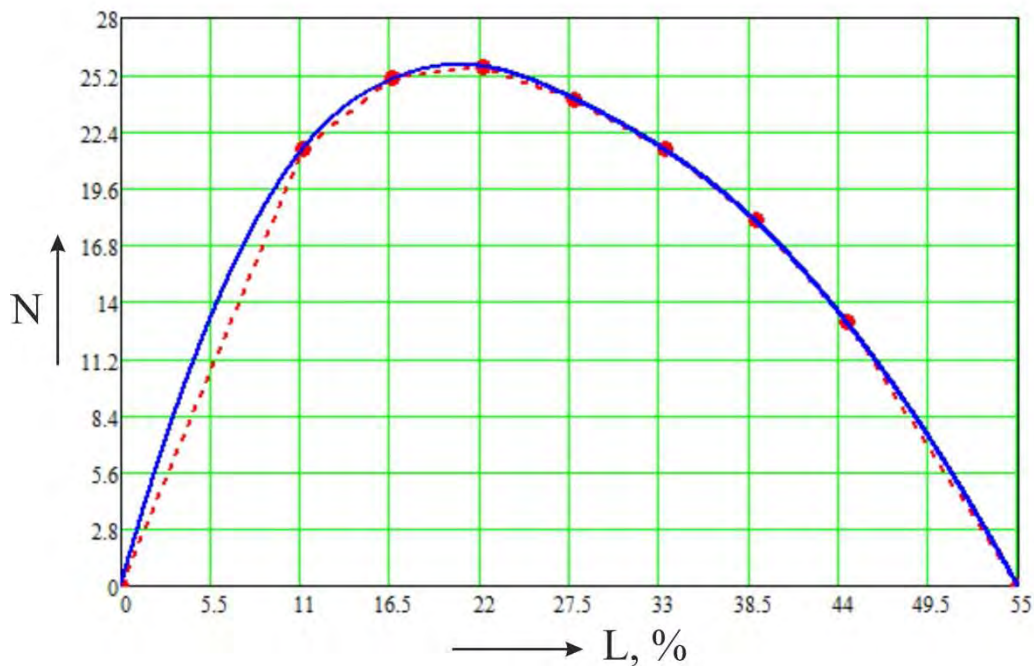


Рисунок 7 – График зависимости скорости вращения от рабочей длины S-образной вертушки

Как мы можем видеть по графикам (рисунок 3, 4, 5), для каждого вида вертушек, при изменении длины или формы ее концов, достигается пиковое количество оборотов ионного двигателя (точка максимального КПД), после чего идет равномерный спад «эффективности» вертушки. Для сравнения полученных кривых рассмотрим наложение трех графиков, представленное на рисунке 8. Черным цветом изображен график S-образной, синим – Г-образной, а красным – Р-образной вертушки.

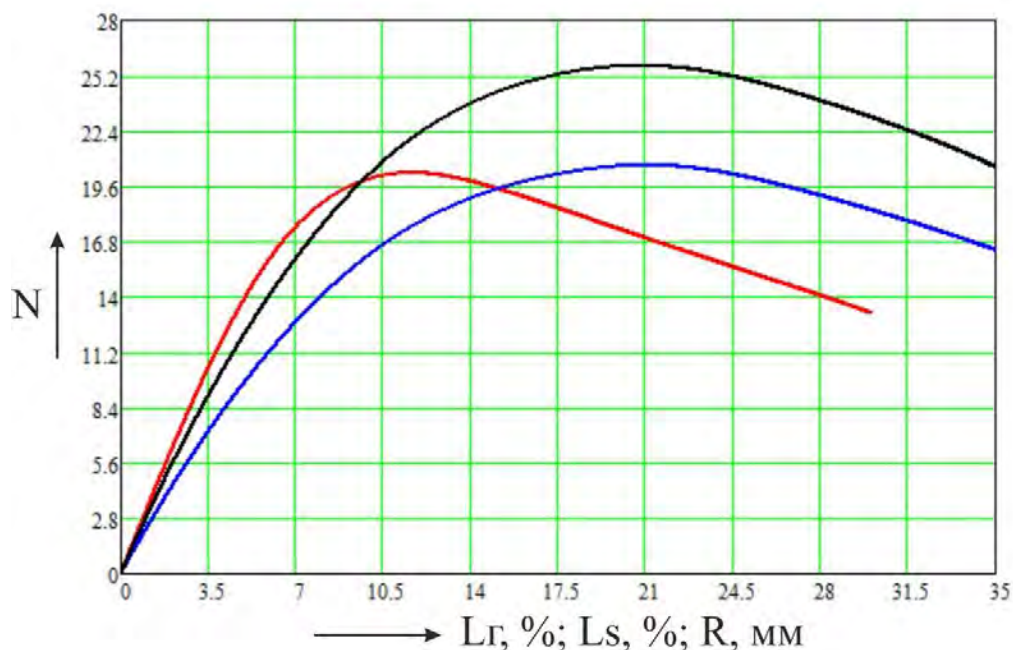


Рисунок 8 – График зависимости скоростей вращения от форм (от радиуса кривизны и рабочей длины) трех различных вертушек.

При сравнении графиков, изображенных на рисунке 8, очевидно, что наибольшим КПД (количество оборотов за 20 секунд) обладает S-образная вертушка, а наименьшим – P-образная. Отметим, что, если использовать третью форму вертушки (S-образную), по сравнению с первыми двумя, получим КПД на 25% выше. Такая форма является наиболее оптимальной и достигается при изгибе ее тела вертушки в форме буквы «S». Переход от плеча к рабочему участку вертушки должен быть максимально плавным, а ее конец направлен по касательной к траектории движения.

Вывод

1. В ходе исследования автором была разработана экспериментальная модель генератора Ван де Граафа и 3 вида ионных вертушек различной формы.
2. В результате эксперимента была выбрана оптимальная форма модели ионного двигателя – S-образная форма.

Список литературы

1. *Гуныков В.В. Об оценке эффективности развития научно-исследовательского потенциала при изучении физики (на примере Оренбургского университета) / В.В. Гуныков // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2014. – №2. – С.79-85.*
2. *Савельев И.В. Савельев И.В. Курс общей физики. В 5-и тт. Том 2. Электричество и магнетизм - Лань, 2011.*