

ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА РЕАКТИВНЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Чашко М.В. к.т.н., доц.

Донецкий национальный технический университет, г. Донецк

Артема, 58, Донецк, 83000, Украина

E-mail: mark@pautina.dn.ua

Доведені параметри прискорення заряджених часток електричним та магнітним полями.

Ключові слова: електричне поле, магнітне поле, електромеханічне перетворення.

Power parameters of electromechanical transformation of energy electric and magnetic by fields are submitted.

Key words: electromechanical transformation of energy, electric field, magnetic field.

Введение. Работа посвящена созданию силы путем ускорения свободных (не связанных в проводнике) частиц, обладающих электрическим зарядом.

В традиционной электромеханике источником силы является проводник с током в магнитном поле. В живых организмах источником силы является электрическое поле, воздействующее на заряженные частицы – электроны, ионы, молекулы [1, 2]. Эффективность этого преобразования такова, что удельная (Вт/м^3) мощность преобразователя в миллионы раз выше, чем у традиционных преобразователей, а КПД приближается к 100%.

Особенность электродвигателей живых организмов в том, что преобразование энергии происходит на расстояниях, соизмеримых с длиной свободного пробега заряда, порядка $10^{-8} \div 10^{-7}$ м. Это обстоятельство принципиально: привод живых организмов эффективен именно потому, что заряды, преобразующие электрическую энергию в механическую, движутся без столкновений с элементами окружающей среды.

Областью техники, в которой возможно электромеханическое преобразование посредством воздействия поля на свободные заряды и, следовательно, высокая эффективность, являются космические аппараты, перемещение которых производится электрическими реактивными двигателями.

Анализ предыдущих исследований. В работах [3 – 5] показана зависимость параметров космического аппарата от материалоемкости устройств, обеспечивающих функционирование электрических реактивных двигателей. Показано, что существенное влияние на удельный импульс и энергетическую стоимость оказывает способ ускорения рабочего вещества в двигательной установке.

Известно [6, с.442], что частицу, обладающую зарядом, можно ускорить электрическим полем, магнитным полем или их сочетанием. Указанные способы ускорения рассмотрены в настоящей статье с точки зрения необходимых энергетических затрат.

Цель работы – оценить тягу, которую могут обеспечить различные способы ускорения заряженных частиц в электрических реактивных двигателях.

Материалы и результаты исследования.

Ускорение электрическим по-

ле м. При ускорении электрическим полем используется сила, которая действует на частицу, обладающую электрическим зарядом (ион), в электрическом поле. Рассматривается модель ускорения, представленная на рис.1.

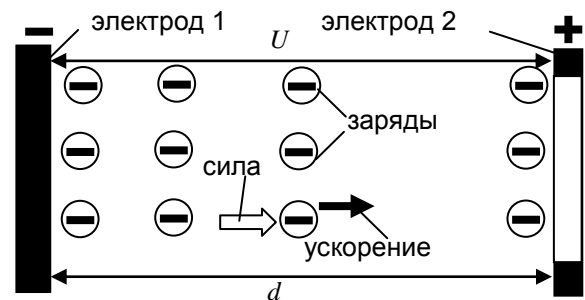


Рисунок 1 – Схема ускорения электрическим полем.

Модель содержит электроды 1 и 2 на расстоянии d один от другого. Между электродами приложено электрическое напряжение U , создающее электрическое поле. В этом поле находятся частицы с зарядом. На частицу с зарядом в электрическом поле действует сила, в результате возникает электрический ток как поток заряженных частиц между электродами.

Плотность реактивной тяги, которую создают ионы у электрода 2,

$$f_E = \frac{j_i}{e} m_i v_i. \quad (1)$$

Здесь обозначено: f_E – плотность тяги, Н/м^2 ; j_i – плотность тока, А/м^2 ; e – значение единичного заряда, Кл; m_i – масса частицы с единичным зарядом, г.

Плотность тока определяется законом «трех вторых» [6, с.423]:

$$j_i = \frac{4}{9} \epsilon_0 \sqrt{\frac{2e}{m_i}} \frac{U^{3/2}}{d^2}. \quad (2)$$

Здесь обозначено: ϵ_0 – электрическая постоянная, Ф/м ; U – напряжение между электродами, В; d – расстояние между электродами, м.

Скорость иона обусловлена его энергией eU и массой m_i :

$$v_i = \sqrt{\frac{2eU}{m_i}}. \quad (3)$$

После подстановки в выражение (1) плотности тока из выражения (2), скорости из (3) и значений единичного заряда $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл и электрической постоянной $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м получается выраженный для плотности тяги в функции напряженности электрического поля:

$$f = 7,87 \cdot 10^{-12} E^2, \quad (4)$$

где $E = U/d$.

В настоящее время наибольшие значения E , допустимые по пробою, $E \approx 10^6 \div 10^7$ В/м, следовательно, электрическим полем могут быть получены тяги $f_E \approx 8 \div 800$ Н/м².

Ускорение магнитным полем.

При ускорении магнитным полем используется сила, которая действует на движущуюся частицу, обладающую электрическим зарядом, в магнитном поле. Рассматривается модель ускорения, представленная на рис. 2.

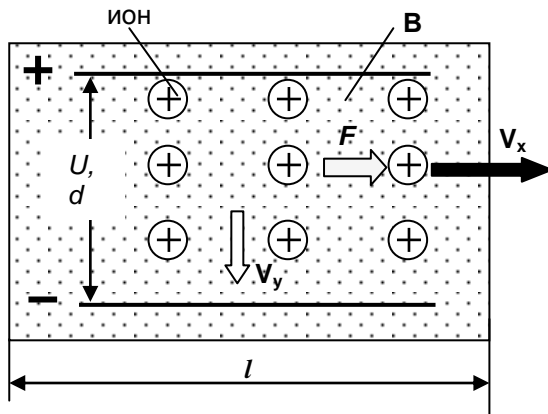


Рисунок 2— Схема ускорения магнитным полем.

Модель содержит электроды на расстоянии d один от другого. между электродами приложено электрическое напряжение U , создающее электрическое поле напряженностью E . В этом поле находятся частицы с зарядом. Перпендикулярно вектору напряжения существует магнитное поле индуктивностью B .

На частицу с зарядом в электрическом поле действует сила, в результате частица движется от одного электрода к другому со скоростью v_y . При движении в магнитном поле на частицу действует сила в направлении, перпендикулярном направлениям обоих полей, которая и создает реактивную тягу. Плотность тяги определяется выражением

$$f_M = n v_x^2. \quad (5)$$

где f_M — сила, действующей на движущиеся ионы в магнитном поле, на единицу сечения потока ионов, Н/м²; n — плотность частиц с зарядом, г/м³; v_x — скорость частиц в направлении силы, м/с.

Плотность частиц обусловлена плотностью тока j , созданного напряжением U :

$$n = \frac{j_i m_i}{v_y e}. \quad (6)$$

Здесь $v_y = v_i$ в формуле (3), остальные условные обозначения представлены выше.

Из известных зависимостей механики определено

$$v_x = \sqrt{\frac{2IF}{m_i}}. \quad (7)$$

Здесь F — сила, действующая на заряд в магнитном поле [6, 442], Н:

$$F = e v_y B.$$

На основании приведенных выражений тяга как функция напряженности электрического поля:

$$f_M = 4,5 \cdot 10^{-21} (E)^{3/2} \frac{Bl}{\sqrt{dm_i}}. \quad (8)$$

Принимается максимально возможная напряженность электрического поля $E = 10^7$ В/м, значение индукции в воздушном зазоре электрических машин $B \approx 1$ Тл, масса иона $m_i \approx 10^{-22}$ г. Приняты для ориентировочной оценки расстояние между электродами $d = 0,01$ м и длина разгона ионов $l = 1$ м. Подстановкой этих значений в формулу (8) получается возможное значение плотности тяги при ускорении магнитным полем:

$$f_M = 14 \text{ Н/м}^2.$$

Выводы

1. Наибольшую плотность тяги позволяет получить ускорение ионов электрическим полем. Это ускорение обеспечивает и наименьшую энергетическую стоимость единицы тяги, так как потери энергии при получении электростатического поля минимальны. Это ускорение обеспечивает минимальную материалоемкость ускорения, так как не требует преобразования энергии электрической в магнитную.

2. Ускорение ионов магнитным полем может обеспечить соизмеримое значение тяги, но оно более энергоемко из-за необходимости преобразования электроэнергии в энергию магнитного поля — если источником магнитного поля являются электромагниты. По той же причине этот способ ускорения является более материалоемким.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ

1. Скулачев В.П. Электродвигатель бактерий // Соросовский Образовательный Журнал. 1998. N 9. С. 2-7.
2. Тихонов А.Н. Молекулярные преобразователи энергии в живой клетке // Там же. 1997. N 7. С. 10-17.
3. Arkhipov B.A., Bober A.S., Gnizdov R. // IPEC-95-39, 24-th International Electric Propulsion Conference. — Moscow, Russia, September 19 — 23, 1995.
4. Белан Н.В. и др. Стационарные плазменные двигатели: Уч. пособ. — Харьков, - 1989, - 200 с.
5. Кулагин С.Н. Выбор типа ЭРД для двигательных установок космических установок малой массы. Проблемы высокотемпературной техники: Сб. научн. тр. - Д.: Вид-во ДНУ, - 2004, С.71.
6. Яворский Б.М., Детлаф А.А. Справочник по физике. - М.: «Наука», - 1968. - 940 с.