

Московский Авиационный Институт
(государственный технический университет)

Курсовая работа на тему:

Расчет основных параметров СПД

Выполнил: студент гр. 02-412
Савельев И. В.

Проверил: Хартов С. А.

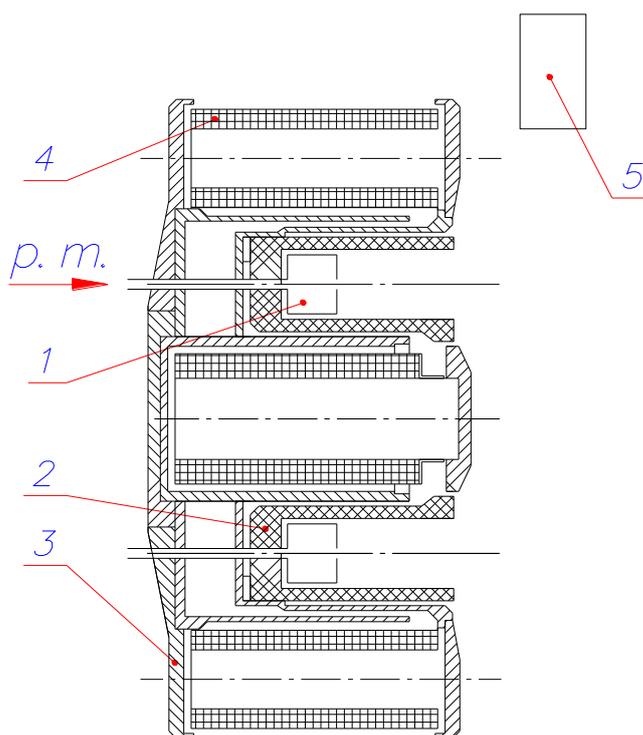
Москва, 2007

Стационарный плазменный двигатель

Стационарные плазменные двигатели (СПД) представляют собой источник ускоренного потока плазмы. В этом типе ускорителя реализуется электростатический механизм ускорения ионов при сохранении квазинейтральности плазмы, что позволяет повысить плотность тяги при небольших разностях потенциалов. Кроме того следует отметить простоту конструктивной схемы, малое количество потребленных номиналов электропитания и достаточно высокие тяговые характеристики. Наземные исследования двигательных установок (ДУ) с СПД и многократные космические испытания подтвердили эффективность использования СПД в системах коррекции орбит искусственных спутников Земли.

Традиционный СПД содержит:

- 1 – анод-газораспределитель
- 2 – керамическая разрядная камера
- 3 – магнитопровод
- 4 – соленоид
- 5 – катод-компенсатор



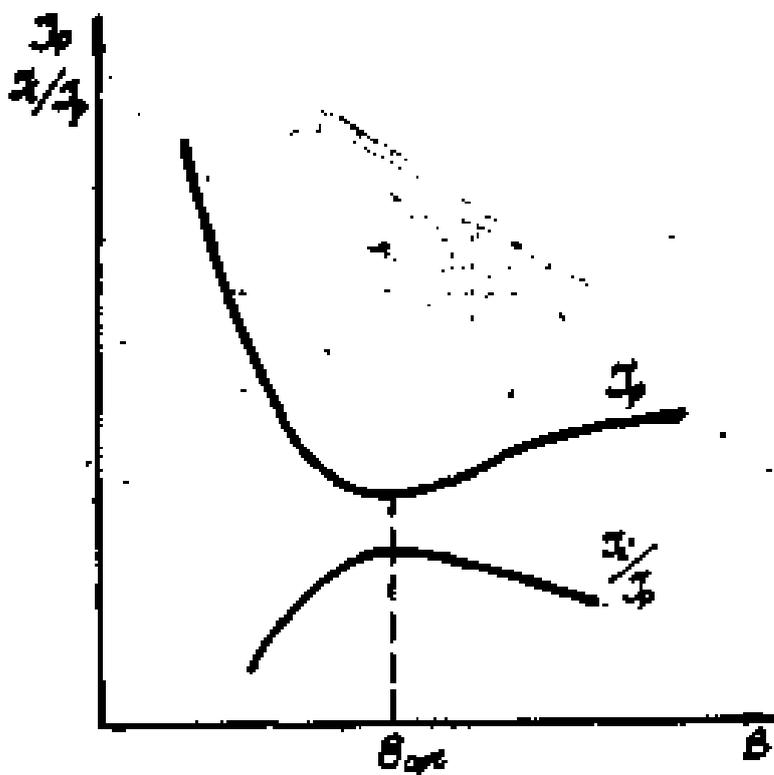
Принцип работы СПД.

СПД представляет собой источник ускоренного потока плазмы. Она образуется и ускоряется в разряде на рабочем теле, горящем в скрещенных электрическом и магнитном полях. Магнитная система спроектирована таким образом, что в кольцевом ускорительном канале реализуется преимущественно радиальное магнитное поле. Разрядное напряжение приложено между анодом и катодом, а электрическое поле в канале направлено примерно параллельно оси ускорителя. Рабочее тело подается в канал через анод. Высокий КПД можно получить в том случае, когда максимум радиальной компоненты магнитного поля реализуется вблизи среза ускорителя.

Ускоритель работает следующим образом. Рабочее тело, поступающее в канал вблизи анода, ионизуется электронами, перемещающимся под действием электрического поля от катода к аноду в поперечном магнитном поле. Преимущественное движение электронов происходит в азимутальном направлении, а т.к. она существенно больше продольной компоненты скорости, траектории электронов замыкаются.

В процессе работы происходит смещение электронов к аноду за счет столкновений с атомами рабочего вещества, ионами и со стенками, а также за счет колебаний. Ионы же практически не замагничены, движутся преимущественно вдоль электрического поля и ускоряются в этом поле. Истекающий из ускорителя поток «захватывает» с собой необходимое количество электронов и создает тягу.

Из экспериментальных исследований известно, что существует оптимальная конфигурация магнитной системы двигателя, при которой достигается наибольший к.п.д. При этом разрядный ток становится минимальным и рабочее тело максимально перерабатывается в ионы



При расчете параметров двигателя были заданы следующие значения :

Рабочее тело – Хе (ксенон)

Ресурс $\tau = 3000$

Мощность $N=700$ Вт

Удельный импульс $I_{\dot{a}i} = 16000$ м/с

Поскольку в канале СПД практически ионизуется весь расход и учитывая разброс ионов по скоростям и углам относительно продольной оси канала с достаточно высокой точностью можно считать, что :

$$P = n_i * V_i$$

$$V_i = 0.84 * I_{\dot{a}i}$$

$$e * U_{y\delta} = \frac{m_i * v_i^2}{2}$$

$$\text{Откуда } U_{y\delta} = \frac{m_i * v_i^2}{2 * e} = 268 \text{ эВ}$$

При определении напряжения разряда U_p необходимо учитывать, что часть мощности разряда затрачивается на ионизацию рабочего тела и приэлектродные потери:

$$U_{\delta} = U_{y\delta} + 3,7 * \varphi_i = 312 \text{ эВ}$$

$$N = N_{\delta} + N_i$$

$$\Delta N_i \text{ обычно составляет } 8\% \Rightarrow N_p = 648 \text{ Вт}$$

$$N_p = U_p * I_p = 648 \text{ Вт}$$

$$I_p = 2,1$$

Экспериментальные исследования вольт-амперной характеристики разряда в этом типе двигателя показали, что на рабочем режиме имеется насыщение по току разряда, ток разряда составляет $I_p = (1,2-1,3) * I_m$ и, следовательно легко может быть определен.

$$I_m = 1,48 \text{ А}$$

Расход рабочего тела m и ток ионов I_m , создающих тягу, связаны простым соотношением:

$$I_m = \frac{\dot{m}_i * e}{m_i} \Rightarrow \dot{m}_i = \frac{I_m * m_i}{e} = 2,2 \text{ мг/с}$$

, где e – заряд электрона, m_i – масса иона

Определение геометрических параметров двигателя базируется на результатах многочисленных экспериментальных и расчетных исследований.

Средний диаметр канала d_{cp} находится с помощью графика по известному значению расхода рабочего тела.

$$d_{cp} = 40 \text{ мм}$$

Ширина канала выбирается такой, чтоб двигатель работал на нормальном тепловом режиме, который обеспечивается соответствующей плотностью мощности в канале – отношением мощности двигателя к поперечной площади канала:

$$S_e = \pi * d_{\text{н\delta}} * d_e$$

$$N_{\delta} / S_e = 0,3$$

По экспериментальной зависимости по известному значению d_{cp} мощности определяем плотность мощности в канале и ширину канала d_k :

$$d_k = 15,6 \text{ мм}$$

Определив d_{cp} и d_k , находим:

$$d = d_{cp} + 0,5 * d_k$$

$$L_k = (1-2) * d_k = 30 \text{ мм}$$

$$\delta = 0,4 * d_k = 6 \text{ мм}$$

Анализируя эти результаты, мы приходим к выводу, что по своим параметрам данный двигатель ближе всего к СПД-70, и в дальнейшем будем работать с параметрами именно этого двигателя.

$$d = 70 \text{ мм} - \text{ диаметр канала ;}$$

$$N = 670 \text{ Вт} - \text{ мощность ;}$$

$$P = 40 \text{ мН} - \text{ тяга ;}$$

$$I_{\text{д\delta}} = 16000 - \text{ удельный импульс ;}$$

$$N_p = 660 \text{ Вт} ; U_p = 300 \text{ В} ; I_p = 2,2 \text{ А}$$

Ресурс двигателя определяется временем износа наружной кромки диэлектрического канала под воздействием ускоренных ионов, поскольку их вектор

скорости не параллелен стенкам канала. Анализ экспериментальных и расчетных исследований позволил вывести формулу для ресурса СПД :

$$\tau = 7 * \frac{\pi * d_{\text{н\delta}} * d_{\text{e}}^2}{U_{\delta} * I_{\delta} * K_s},$$

где K_s - объемный коэффициент распыления материала кольцевой разрядной камеры. K_s определяется из графика его зависимости от энергии ионов ксенона для различных материалов, в нашем случае БГП. $K_s = 10^{-2}$ мм³/Кл

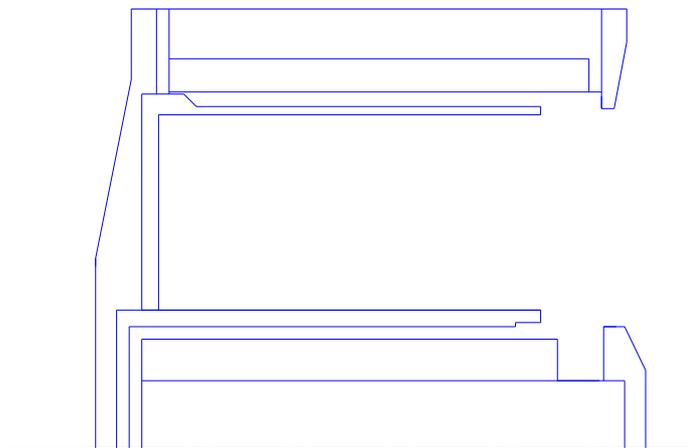
$$\tau = 3150 \text{ ч}$$

Однако ресурс двигателя должен быть в 1,5 раза больше номинального. Этого можно добиться оптимизацией двигателя. Учитывая, что допускается распыление до трети полюса и что образовавшуюся пустоту можно заполнить диэлектриком, примем $\delta = 10$ мм.

В результате этого, ресурс двигателя увеличится в 1,6 раза.

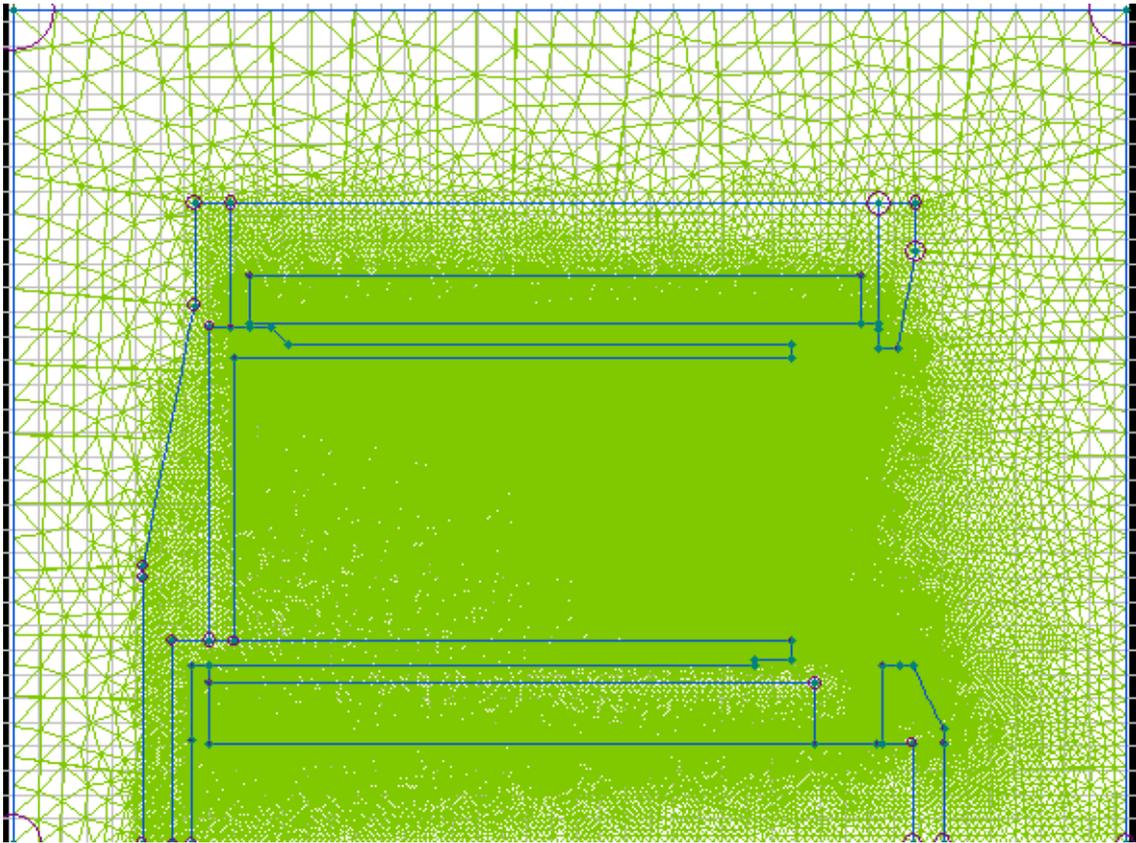
Магнитная система двигателя рассчитывается с помощью программы EICUT 5.4.

Для этого сначала создается чертеж в программе Autocad 2004, сохраняется в формате .dxf и импортируется в нелинейную задачу магнитостатики EICUT.

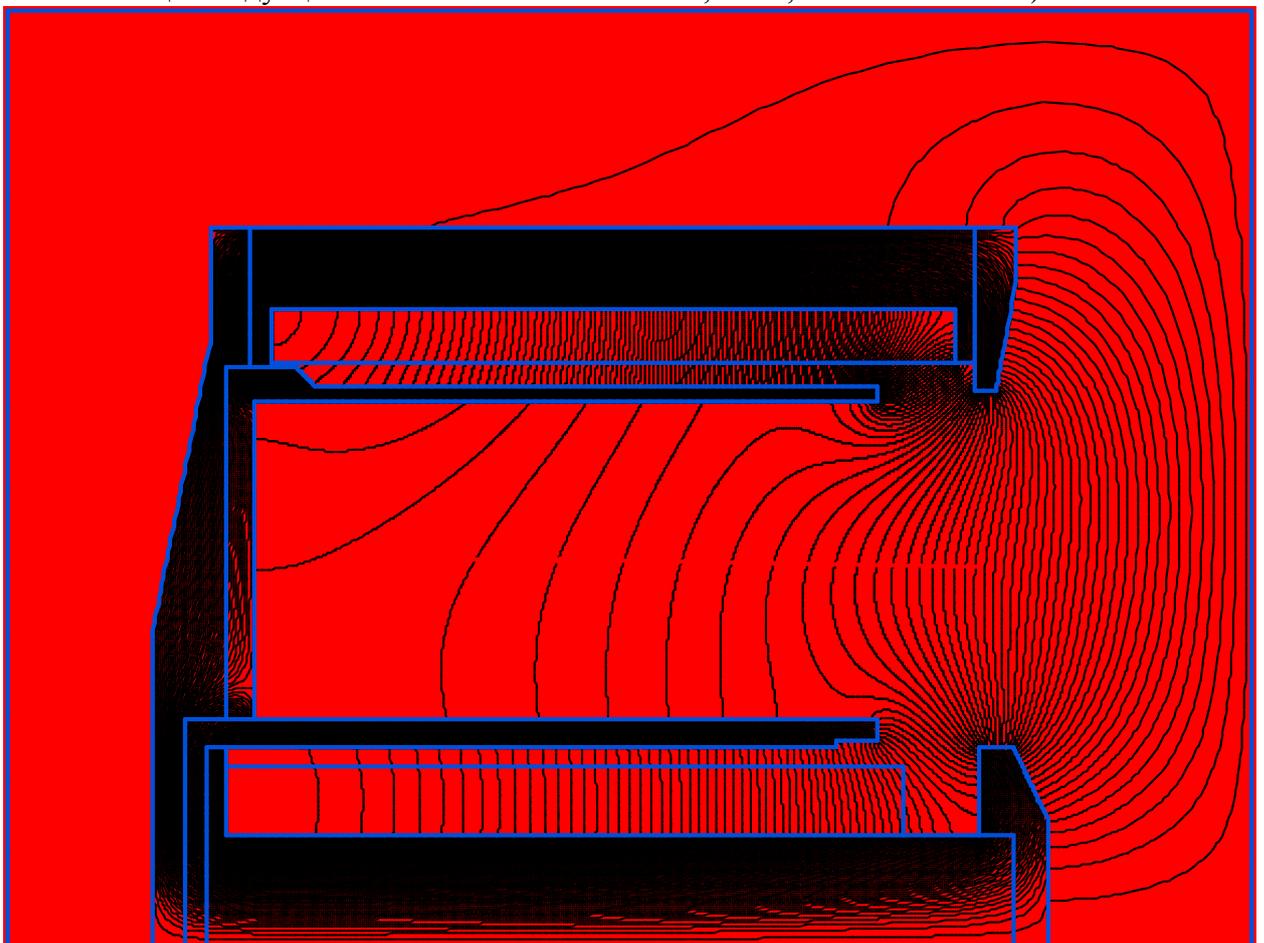


Разбиваем на элементы и задаем магнитные свойства стали-3 для магнитопровода и параметры ампервитков для наружной и внутренней катушек намагничивания (внутренняя 600АВ, наружная – 400АВ). В качестве параметров окружающей среды (вакуума) задаем магнитные свойства воздуха. Параметры копируем из стандартных примеров программы EICUT 5.4.

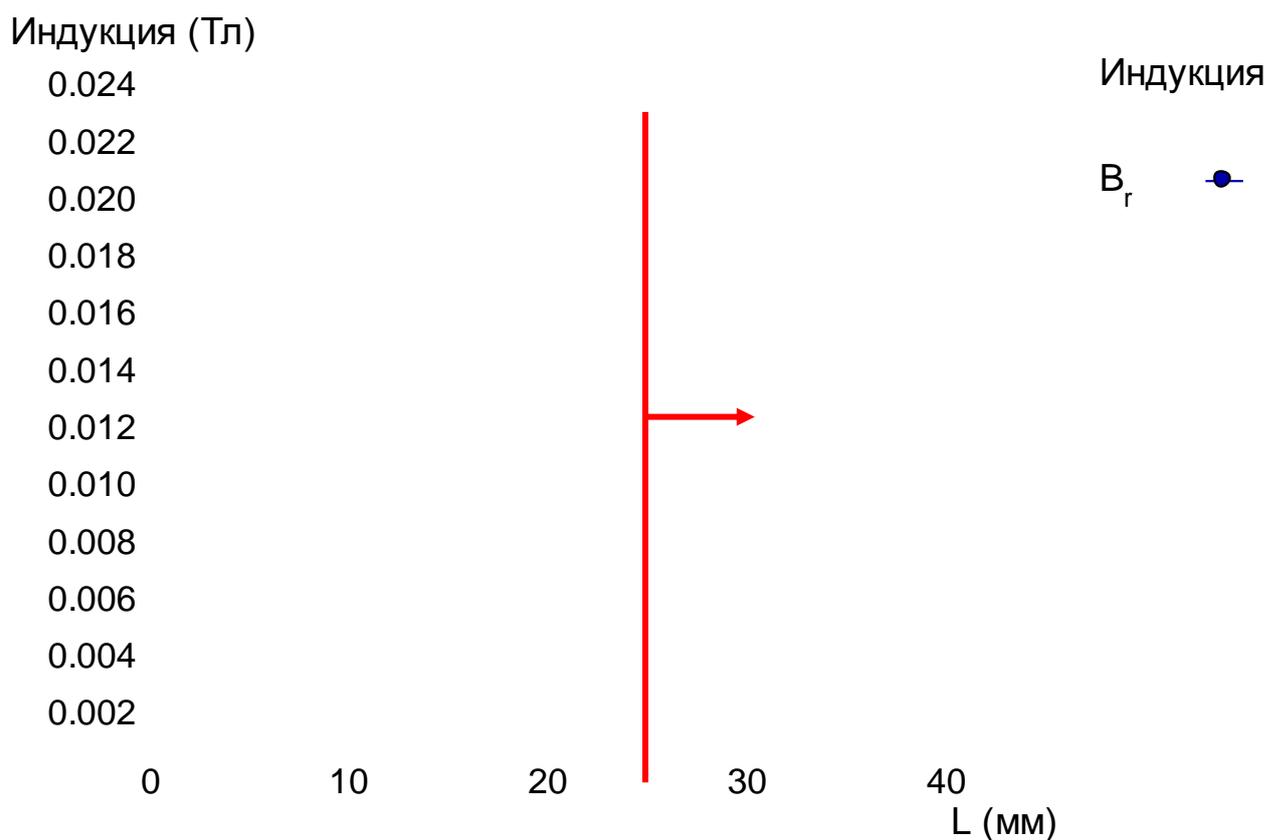
Строим сетку и проводим расчеты:



Выводим полученные результаты в виде картины магнитного поля (радиальной составляющей индукции максимальное значение 0,05 Тл, минимальное - 0)



Добавляем ребро по оси ускорительного канала и строим график распределения индукции магнитного поля в нем.



С учетом этого распределения анод двигателя можно располагать в области малых градиентов – после 25 мм от среза канала.

Таким образом мы получили все размеры двигателя необходимые для проработки конструкции.