

Винахід відноситься до галузі ракетно-космічної техніки, а точніше до електроракетних двигунів, і може бути використаним при створенні рушійних установок для космічних апаратів із малою енергооснащеністю (0,1-0,2 кВт).

Відомі холодовські двигуни середньої і великої потужності (0,5-5 кВт), які використовуються на борту космічних апаратів із відповідною енергооснащеністю. Двигуни містять розрядну камеру (РК), анод-газорозподільник, розміщений всередині камери, катод-компенсатор, розміщений за зрізом розрядної камери, та магнітну систему, що створює в розрядній камері магнітне поле [1]. Вони відрізняються конструктивною простотою, легкістю керування, високим рівнем вихідних характеристик.

При зміні потужності в діапазоні 0,5-5 кВт які-небудь якісні зміни в характері роботи таких двигунів не відбуваються, але при зменшенні потужності нижче 0,5 кВт, що супроводжується зниженням витрати робочої речовини через анод двигуна, з'являються масштабні чинники, які впливають на характер його роботи і характеристики. Це пояснюється тим, що для забезпечення високого ступеня іонізації при малих витратах робочої речовини необхідно зменшувати площу перерізу розрядної камери двигуна, що призводить до збільшення втрат іонів на стінках РК і, як наслідок, до зниження ККД.

Із відомих холодовських двигунів найбільш близьким за технічною суттю є двигун середньої потужності з порожнистим анодом [2]. Відомий двигун містить кільцеву розрядну камеру, утворену стінками порожнистого анода і полюсними наконечниками, магнітну систему з, як мінімум, двома джерелами магніторушійної сили, магнітопроводом, зовнішнім і внутрішнім магнітними полюсами та катод-компенсатор, установлений за вихідним перерізом розрядної камери. Використання порожнистого анода призводить до поліпшення характеристик двигуна за рахунок проникнення плазми в порожнину анода. Проте, дана конструктивна схема має природні обмеження мінімальної потужності, що пов'язані зі зниженням імовірності іонізації атомів робочої речовини при зменшенні витрати робочої речовини.

Відомо, що для ефективної іонізації робочої речовини необхідно, щоб довжина пробігу атомів до іонізації λ_i , була менша протяжності шару іонізації і прискорення L_c [1], тобто $\lambda_i < L_c$.

Оскільки

$$\lambda_i = \frac{v_a}{(\sigma_i v_c) n_c} \sim \frac{v_a}{(\sigma_i v_c) \frac{\dot{m}}{S_K M v_s}} \quad (1)$$

де v_a , v_c , v_i - характерні значення швидкостей атомів, електронів та іонів;

n_c - концентрація електронів;

σ_i - переріз іонізації;

M - маса атома робочої речовини;

\dot{m} - витрата робочої речовини;

S_K - площа перерізу розрядної камери,

то:

$$L_c > \frac{v_a}{(\sigma_i v_c) \frac{\dot{m}}{S_K M v_s}} \quad (2)$$

Із співвідношення (2) витікає, що для зниження витрати робочої речовини m при зберіганні високої ефективності іонізації необхідно зменшувати швидкість атомів робочої речовини, що рухаються в порожнині анода і на виході з нього з тепловими швидкостями, які визначаються робочою температурою його стінок [3]:

$$v_a = \sqrt{\frac{2kT_a}{M}} \quad (3)$$

де T_a - температура аноду;

k - постійна Больцмана.

Отже для зниження v_a необхідно знижувати T_a , яка визначається тепловими потоками з плазми на внутрішню поверхню анода та випромінюванням з його зовнішньої поверхні.

Теплове випромінювання ізотермічного тіла з поверхні F_B , може бути записане формулою Стефана-Больцмана:

$$Q = F_B \varepsilon \sigma T^4, \quad (3)$$

де ε - коефіцієнт випромінювання (ступінь чорноти поверхні);

σ - константа, що дорівнює $5,7 \cdot 10^{-8} \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{ К}^4)$.

Звідси витікає, що для збільшення теплового потоку з поверхні анода необхідно збільшувати випромінюючу площу поверхні анода F_B та величину коефіцієнта випромінювання (ступеня чорноти поверхні) ε . Проте площа F_B , в конструкції відомого двигуна обмежена глибиною і зовнішнім діаметром анода, а ступінь чорноти поверхні анода визначається матеріалом, з якого він виготовлений.

У основу винаходу поставлена задача зниження потужності холодовського двигуна при зберіганні високого ККД.

Поставлена задача вирішується тим, що у відомій конструкції двигуна, який містить кільцеву розрядну камеру, утворену стінками порожнистого анода і полюсними наконечниками, магнітну систему з, як мінімум, двома джерелами магніторушійної сили, магнітопроводом, зовнішнім і внутрішнім магнітними полюсами та катод-компенсатор, установлений за вихідним перерізом розрядної камери, між порожнистим анодом і

деталлями магнітної системи розташований електричний екран, виготовлений із металевої сітки з високою оптичною прозорістю, при цьому зовнішня поверхня анода з боку електричного екрану має штучно створені шорсткість і більшу, ніж у матеріалу анода, ступінь чорноти, а усі внутрішні поверхні анода покриті шаром речовини з високою відбивною здатністю.

Штучна шорсткість на зовнішній поверхні аноду створена шляхом нарізування різі трикутного профілю з кутом профілю 60° .

Зовнішня поверхня аноду з боку електричного екрану покрита шаром нафтової сажі.

Усі внутрішні поверхні аноду покриті полірованим нікелем. У запропонованій конструкції електричний екран перешкоджає виникненню "паразитних" розрядів між анодом і деталями магнітної системи, при цьому використання в якості екрану металевої сітки з високою оптичною прозорістю забезпечує ефективне скидання тепла випромінюванням з поверхні анода.

Штучна шорсткість циліндричної зовнішньої поверхні аноду може бути створена шляхом нарізування різі трикутного профілю з кутом профілю 60° , бо вона має максимальну площу поверхні при мінімальному перевипромінюванні між протилежачими поверхнями, що призведе до інтенсифікації тепловіддачі, яка відбувається за рахунок збільшення фактичної площі випромінюючої поверхні F_B .

Для збільшення ступеня чорноти зовнішньої поверхні анода може бути використане тонкошарове покриття з речовини з високим ступенем чорноти, наприклад, нафтової сажі.

Для зменшення теплових потоків із плазми розряду на внутрішні стінки аноду останні покриті речовиною з високою відбивною здатністю і відповідною робочою температурою, наприклад, полірованим нікелем.

Новизна полягає в тому, що для ефективного скидання тепла випромінюванням з поверхні анода в конструкції двигуна використано електричний екран, виготовлений із металевої сітки з високою оптичною прозорістю, при цьому додаткове зниження температури анода досягається за рахунок створення штучної шорсткості на його зовнішній поверхні з боку електричного екрану шляхом нарізування різі трикутного профілю, а також покриттям цієї поверхні шаром речовини з високим ступенем чорноти, а усіх внутрішніх поверхонь - з низьким.

На рисунку наведено конструктивну схему холовського двигуна малої потужності.

Холовський двигун малої потужності містить кільцеву розрядну камеру, утворену стінками порожнистого анода 1 і полюсними наконечниками 2, магнітну систему із джерелами магніторухливої сили 3, магнітопроводом із зовнішнім і внутрішнім магнітними полюсами 4, електричний екран 5 і катод-компенсатор 6, установлений за вихідним перерізом розрядної камери.

Двигун працює таким чином. Робоче тіло, що подається в розрядну камеру, утворену стінками порожнистого анода 1 та полюсними наконечниками 2, поблизу анода, який відділений від деталей магнітної системи електричним екраном 5, іонізується електронами, що переміщуються під дією електричного поля від катода-компенсатора 6 до анода в магнітному полі. Магнітна система (3,4) спроектована таким чином, що в розрядній камері реалізується переважно радіальне магнітне поле. В процесі роботи відбувається зміщення електронів до анода за рахунок зіткнень з атомами робочого тіла, іонами та стінками, а також через плазмові коливання. Іони практично не замагнічені, рухаються переважно вздовж електричного поля і прискорюються в цьому полі. Потік, що витікає з двигуна, захоплює за собою необхідну кількість електронів і створює тягу.

За рахунок штучно створеної шорсткості та зміни ступеня чорноти поверхні анода в процесі роботи двигуна відбувається більш ефективне охолодження анода, що дає можливість знизити витрату робочої речовини, а відповідно і потужність двигуна.

Експериментальні дослідження показали, що використання даної конструкції дозволяє знизити потужність відомого двигуна на 10 % при зберіганні характерного для нього ККД.

Використані джерела інформації

1. Бежан Н. В., Ким В. П., Оранский А. И., Тихонов В. Б. Стационарные плазменные двигатели. — Харьков: ХАИ, 1989. - 316 с.

2- Афонин В. М., Ивашкин А. Б., Марахтанов М. К., Решетников Н. Н. Одноступенчатый плазменный ускоритель с азимутальным дрейфом электронов на инертных газах // Шестая Всесоюзная конференция "Плазменные ускорители и ионные инжекторы": Тезисы докладов. —Днепропетровск, 16-18 сентября 1986 г. - С. 3-4.

3- Гришин С. Д., Лесков Л. В., Козлов Н. П. Электрические ракетные двигатели. - М.: Машиностроение, 1975. - 272 с.

