

Міністерство освіти України
Харківський авіаційний інститут
ім. М.Є.Жуковського

На правах рукопису

ПІГНАСТИЙ Олег Михайлович

ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ ПЛАЗМОВИХ УТВОРЕНЬ
В НАДПРОВІДНИХ ЕНЕРГОРУШІЙНИХ СИСТЕМАХ
КОСМІЧНИХ АПАРАТІВ

05.14.07 - механіка рідини, газу та плазми

Автореферат дисертації на здобуття наукового
ступеню кандидата технічних наук

Харків - 1997

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано у Харківському авіаційному інституті імені
М.С. Жуковського

Науковий керівник: доктор фізико-математичних наук
Рашкован Василь Маркович.

Офіційні опоненти:

1. Доктор фізико-математичних наук

Бастєєв Андрій Володимирович (ІПМаш НАНУ, м.Харків)

2. Кандидат технічних наук

Кісліцин Олександр Петрович (ХАІ, м.Харків)

Провідна організація: Національний науковий центр ХФТІ НАН України,
м.Харків

Захист відбудеться "27" Листопада 1997 р. о 16 годині
на засіданні спеціалізованої вченої ради Д.02.27.04
у Харківському авіаційному інституті Міністерства освіти України за адресою:
310145 м. Харків, вулиця Чкалова, 17, Лабораторний корпус, аудиторія 202.
З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Харківського авіаційного
інституту Міністерства освіти України (310123, м.Харків, вул.Чкалова, 17).

Автореферат розіслано "26" мая 1997р.

Вчений секретар спеціалізованої вченої ради,
доцент, канд. техн. наук

Незим В.Ю.

ЛНБ України ім.В.Стефаника



00751180 (M)

Загальна характеристика роботи

Актуальність теми. За весь термін освоєння космічного простору в енергорушійних системах космічних апаратів традиційно використовуються двигуни, які потребують значних запасів реактивної маси, акумульованої на борту космічного апарату ще на Землі. При активному польоті в космічному просторі велику перевагу можуть мати космічні апарати, які б використовували навколишнє середовище (міжзірковий газ, міжпланетну плазму, мікрометеоритні потоки, зовнішні магнітні поля і таке інше) для підвищення ефективності їх енергорушійних систем. Вирішення проблеми використання зовнішньої маси та її енергії дозволить з часом майже повністю зняти обмеження на термін активного польоту апарату, значно підвищити його тягову та економічну ефективність, маневреність, надійність. Навідь часткова відмова від бортових накопичень реактивної маси на Землі означає спроможність подальшого збільшення корисної маси, що виводиться в космічний простір. Крім того, накопичення зовнішнього середовища у вигляді плазмових утворень за термін орбітального або міжпланетного польоту являється актуальним не тільки з точки зору збільшення тягової ефективності космічної системи, але й з точки зору можливості використання нагромаджених елементів для ремонту і удосконалення тягової системи безпосередньо під час її польоту в космічному просторі. Космічна речовина забирається із навколишнього простору спеціальними пристроями - масозабірниками за допомогою попереднього перетворення її у плазмовий стан та подальшого фокусування у магнітному полі. Найбільш ефективними при польоті навіть у дуже розрідженому космічному середовищі є надпровідні електромагнітні масозабірники. Іонізація зустрічного потоку може протікати як природним шляхом при гальмуванні потоку у магнітному полі масозабірника, так і організовуватись штучно (опромінення електронним або іонним променем, зустрічним потоком плазми, зустрічним електромагнітним випромінюванням). Поряд з акумулюванням маси на борту космічного апарату при тривалому

міжпланетному перельоті виникає і інша проблема - захист поверхні апарату (оптика, сонячні батареї, сопла двигунів) від метеоритної ерозії, викликаній метеоритами з масою 0.001-0.0001 кг, потік яких досить великий. Це питання теж може бути вирішено за допомогою надпровідних електромагнітних масозабірників.

Перетворення кінетичної енергії плазмових потоків зовнішнього середовища, сфокусованих у електромагнітному масозабірнику, у граничному випадку може завершитись повною зупинкою останніх, що в деякій мірі вирішує як проблему захисту апарату, так і проблему рекуперації енергії потоку. У випадку, якщо захоплені та уповільнені плазмові утворення не піддаються подальшому прискоренню і не залишають космічний апарат, відбувається накопичення маси робочого тіла на борту апарату. На сьогоднішній день запропоновано досить багато схем рекуперації, але при всій різноманітності в основі їх роботи лежить один загальний принцип - пряме перетворення енергії заряджених частинок при переносі заряду проти сил електричного поля. Розгляд взаємодії плазмових утворень із надпровідними контурами дозволяє запропонувати нові схеми рекуперації та гальмування.

У свою чергу при розробці конкретних пристроїв гальмування та прискорення плазмових утворень ключовою проблемою є забезпечення радіальної та фазової стійкості їх руху.

Традиційні методи фокусування пучків заряджених частинок уже реалізовані в їх граничних варіантах, тому для подальшого удосконалення необхідно вживання принципово нових підходів. Широкі можливості в цьому напрямку відкриває використання надпровідників як елементів систем супроводження в трактах гальмування та прискорення плазмових згустків. Втілення надпровідності (в перспективі - високотемпературної) в космічну техніку потребує, на наш погляд, відмови від традиційних уявлень про використання надпровідних котушок тільки як засобу для створення надсильних магнітних полів. Виникає необхідність втілення в практику створення космічної техніки нетрадиційних підходів з використанням нових криогенних явищ. Так, принципово новим підходом до вирішення питань стабілізації, фокусування та забезпечення стійкості руху плазмових згустків у

накопичувачах, рекуператорах і колективних прискорювачах є створення надпровідних систем супроводження, що базуються на використанні нового фізичного ефекту типу “магнітна потенційна яма”. Прояв цього ефекту в динамічних системах за участю електричних зарядів та доказ стійкості таких систем дозволяє по-новому поглянути на питання стабілізації та фокусування заряджених частинок та їх сукупностей, відкриває нові перспективи в розробці та створенні енергорушійних систем космічної техніки, торкається питання підвищення ефективності перетворення енергії та її рекуперації.

Із короткого викладення аргументів витікає, що широкі перспективи практичної реалізації низькотемпературних явищ, таких як надпровідність та “магнітна потенційна яма” при створенні принципово нових методів і пристроїв космічних апаратів для захвату та накопичення плазмових утворень з наступним використанням як робочої речовини підкреслюють актуальність проведення теоретичних та експериментальних досліджень в цьому напрямку. У зв'язку з цим визначається мета дисертаційної роботи.

Мета роботи. Дослідження динаміки плазмових утворень та заряджених потоків у пристроях накопичення та перетворення плазми з врахуванням низькотемпературних явищ, таких, як надпровідність і “магнітна потенційна яма” з метою створення нових типів надпровідних енергорушійних систем космічних апаратів, які б використовували міжпланетне середовище для підвищення ефективності їх функціонування.

Основні завдання дослідження. Розробка загальної схеми та математичної моделі надпровідного масозабірника та дослідження процесу фокусування і захоплення плазмових утворень у ньому.

Розробка загальної схеми і математичної моделі багатосекційної надпровідної системи гальмування і фокусування плазмових згустків.

Розробка загальної схеми і математичної моделі для формування електронно-іонних кілець з наступним їх прискоренням у надпровідній системі супроводження. Дослідження стійкості процесу прискорення і формування

плазми у вигляді замкнених кільцевих систем. Порівняльний аналіз надпровідних і звичайних систем формування електронно-іонних кілець.

Розрахунок і аналіз основних динамічних характеристик процесу гальмування та прискорення плазмових згустків у надпровідних системах рекуперативі і прискорення.

Перевірка основних результатів за допомогою математичного моделювання і аналізу результатів чисельних та фізичних експериментів.

Методи досліджень. Загальна методика виконання дисертаційної роботи складалася з аналітичних, чисельних та фізико-експериментальних засобів досліджень. Аналітичні дослідження, проведення та аналіз чисельних експериментів базувалися на створенні фізичних та технічних схем і розробці адекватних математичних моделей надпровідних динамічних систем з електромагнітною взаємодією. Експериментальні засоби склалися з досліджень енергетичних характеристик взаємодії елементів надпровідних систем і плазмових згустків з метою перевірки основних фізичних посилок та принципів створення надпровідних систем для підтвердження адекватності математичних моделей їх фізичним і технічним зразкам.

Обґрунтування теоретичної та практичної цінності дослідження та його наукова новизна. Наукова новизна одержаних результатів полягає в тому, що в дисертації досліджено різноманітні умови прояву ефекту типу “магнітна потенційна яма” в специфічних надпровідних динамічних системах енерго-силових установок літальних апаратів з електромагнітною взаємодією, носіями електромагнітного поля в яких є плазмові зустки і утворення та системи струмонесучих контурів, що мають властивості ідеальної електропровідності. Для теоретичних досліджень розроблено адекватні математичні моделі надпровідних динамічних систем енерго-силових установок літальних апаратів за участю електричних зарядів і згустків та доведено необхідні та достатні умови стійкого руху в таких системах. Проведено аналіз конкретної схеми гальмування плазмових згустків на основі надпровідних елементів. Досліджено основні динамічні характеристики процесу гальмування і показано більш

високий коефіцієнт корисної дії у порівнянні із звичайною “теплою” системою; проведено оцінку витрат енергії при пульсуючому режимі роботи надпровідника. Проаналізовано ефективність перекачування кінетичної енергії плазмового згустку в магнітну енергію надпровідних елементів і її залежність від різних параметрів системи. Наведену та досліджену схему формування електронно-іонних кілець було покладено в основу патенту. Розглянуто та проаналізовано основні моменти і технічні проблеми інженерної реалізації запатентованої схеми формування електронно-іонних кілець.

В прикладному плані розглядалась проблема синтезу надпровідних динамічних систем з електромагнітною взаємодією з точки зору створення нових систем накопичення і прискорення плазмових згустків та рекуперації їх енергії.

Реалізація наукових розробок. Результати дисертаційної роботи впроваджуються в організаціях України по виконанню національної програми “Критичні технології”, у ННЦ ХФТІ, Інституті кібернетики, Інституті космічних досліджень, Інституті електродинаміки, ІПМаш НАН України.

Особистий внесок дисертанта у роботи, які опубліковано із співавторами. В роботах [1]-[17] автор приймав участь у постановці задач, аналітичних та чисельних розрахунках, запропонував конкретні схеми пристроїв, приймав участь у формуванні заключних висновків.

Апробація роботи. За темою дисертації опубліковано 17 робіт. Її матеріали доповідалися на 1-й÷6-й Українських конференціях по моделюванню та дослідженню стійкості систем, Київ, 1992, 93, 94, 95, 96, 97 рр.; 40-й міжнародній конференції по магнетизму та магнітних матеріалах, США, Пенсільванія, 1995; 2-й Міжнародній конференції по динаміці пучків та оптимізації, Санкт-Петербург, 1995; XVIII міжнародній конференції по лінійним прискорювачам, Женева, 1996; щорічних семінарах Харківського авіаційного інституту по дослідженню фізичних процесів у плазмових прискорювачах, Харків, 1992 - 1996.

Публікації: матеріали дисертації відображено в описі та обґрунтуванні патенту, препринті ХФТІ, опубліковано у семи статтях і восьми переліках тезисів на українських і міжнародних конференціях.

Об'єм і структура роботи. Дисертація містить вступ, три глави та заключення. Обсяг роботи складає 173 сторінки, з яких 47 малюнків, 5 таблиць та список літератури з 58 найменувань.

Зміст роботи

Вступ присвячено обґрунтуванню актуальності досліджень. Формулюється мета роботи, розглядається наукова новизна, практична цінність і основні положення, які подаються до захисту.

У першій главі розглянуто схему та принцип дії надпровідного електромагнітного масозабірника. В одностинковому наближенні досліджено динаміку плазмових утворень у електромагнітному полі надпровідних контурів.

У припущенні безконечно тонкого струмонесучого витка з точністю до членів порядку $\left(\frac{v}{c}\right)^3$ записано вираз для магнітного потоку, що створюється зарядом, через поверхню, обмежену ідеально провідниковим контуром:

$$\Psi_a = \frac{q \cdot \dot{\phi} \cdot r}{2\pi \cdot \epsilon \epsilon_0 \cdot c^2} \cdot \sqrt{\frac{\rho}{r}} \cdot \frac{1}{k} \cdot [(2 - k^2) \cdot K - 2 \cdot E] + O\left(\frac{v}{c}\right)^3$$

де q - заряд частинки; $\dot{\phi}$ - кутова швидкість зарядженої частинки в окрузі ідеально провідникового контуру; r - радіус ідеально провідникового контуру; v - швидкість руху частинки; c - швидкість світла; E, K - повні еліптичні інтеграли першого і другого роду модулю k .

Знаючи вираз для магнітного потоку рухомого заряду через поверхню, обмежену безконечно тонким ідеально провідниковим контуром, можна записати функцію Лагранжу, що описує поведінку точкового заряду в електромагнітному полі безконечно тонкого ідеально провідникового контуру:

$$L = -m \cdot c^2 \cdot \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} + \Psi_a \cdot I + \frac{L_{11} I^2}{2}, \quad \text{де}$$

L_{11} - індуктивність; I - струм контуру; m - маса зарядженої частинки.

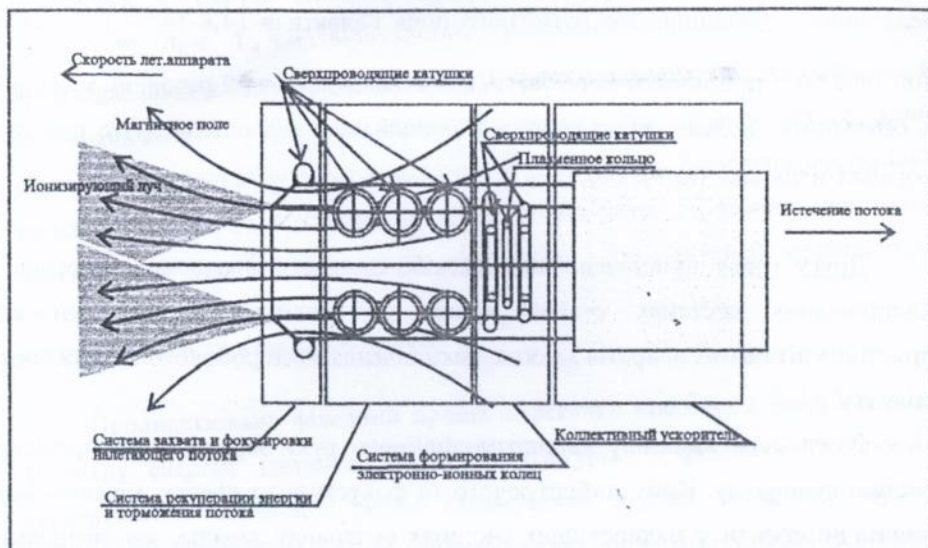


Рис.1. Схема летательного апарата з надпровідним масозаборником

Функція Лагранжу системи містить дві циклічні координати, яким відповідають узагальнені швидкості $\dot{\phi}$ та I . Цим координатам відповідають два перших інтеграли руху, які являють собою закони зберігання моменту кількості руху і постійності магнітного потокозчеплення. У зв'язку з цим при дослідженні системи виконано перехід від функції Лагранжу до функції Рауса:

$$R = \sum_n^r P_n \cdot \hat{q}_n - \hat{L}, \quad P_n = \frac{\partial L}{\partial q_n},$$

де сума записується через циліндричні координати, а знак $\hat{\quad}$ означає, що всі \hat{q}_n виражені через узагальнений імпульс. Такий перехід дає можливість зменшити порядок системи диференціальних рівнянь на $2 \cdot r$ одиниці (r - кількість циклічних координат). Аналіз останніх показує, що при використанні надпровідних масозаборників на відміну від звичайних "тепліх" систем виявляється особливість електродинамічного замикання, яка пов'язана з ідеальною надпровідністю контурів.

Враховуючи, що ефективний діаметр масозаборника, обмежений величиною навколишнього магнітного поля Галактики ($4,8 \cdot 10^{-3} \frac{\text{А}}{\text{м}}$), досягає 100-1000 км., та приймаючи до уваги, що у складі космічної речовини міститься в основному водень, захоплення зовнішньої маси складатиме 1 г/с при русі корабля зі швидкістю 10^5 км/с.

Другу главу присвячено дослідженню динаміки плазмових утворень в надпровідних системах супроводження та гальмування енерго-силових пристроїв літальних апаратів з метою накопичення маси робочого тіла на борту апарату.

Розглянуто динаміку квазіпрямолінійного руху зарядів у надпровідній системі супроводу. Крім стабілізуючого та фокусуєчого ефекту, можливі інші динамічні ефекти у надпровідних системах супроводу зарядів, які спеціально проектується так, щоб власне магнітне поле згустку вносило вагомий внесок у магнітне потокозчеплення джерел електромагнітного поля у вигляді ідеально провідникових контурів. У такій системі потік від рухомого заряду, що перетинає поверхню, обмежену ідеально провідниковим контуром, суттєвим чином залежить від їх взаємного розташування. За рахунок зміщення згустку відносно нерухомого ідеально провідникового контура в останньому збуджуються змінні у часі струми, які, в свою чергу, індують у просторі електричне поле $\vec{E} = -\frac{\partial \vec{A}}{\partial t}$, що впливає на рух зарядів. У даному випадку стає

можливим енергообмін між зарядженими частинками згустку та ідеально провідниковими елементами. Він проявляється у взаємному перетворенні кінетичної енергії згустку і магнітної енергії контурів. Для стаціонарної траєкторії отримано закон зміни швидкості фазової частинки центру інерції згустку:

$$\frac{v_{x0}^2}{(v^x)_{x0}^2} = \frac{\Gamma_0}{\left[\frac{m}{2} - \frac{1}{L_{11} - L_{12}} \left(\frac{\mu_0}{2\pi} \cdot f_1 \cdot q \cdot \sin \varphi_1 \right)^2 \right]}$$

При $\Gamma_0 > 0$ розглянуто випадок прискорення заряджених часток, які рухаються в окрузі ідеально провідникового контуру по стаціонарній траєкторії, при $\Gamma_0 < 0$ відбувається рекуперация енергії згустку. $\Gamma_0 = 0$ відповідає випадку нерухомої частинки. Стаціонарний рух згустка повздовж вісі Ox визначається тільки електричною силою, що обумовлюється зміною векторного потенціалу електромагнітного поля у часі. Відмічено, що механізм прискорення або гальмування не залежить від знаку заряджених частинок, а визначається знаком виразу Γ_0 , який являє собою різницю власної повної енергії та магнітної енергії контурів
$$\frac{\Psi_1^2}{L_{11} - L_{12}|_0}$$
.

Проаналізовано фізичний процес перекачки кінетичної енергії згустку у магнітну енергію ідеально провідних контурів. З фізичних та чисельних експериментів отримано умови гальмування згустку до повної зупинки. Встановлено основні динамічні характеристики розглянутої схеми гальмування та проведено їх аналіз. Експериментальні дослідження по перевірці основних фізичних принципів динаміки взаємодії систем надпровідних котушок дають їх розходження не більш ніж на 15 відсотків, що задовольняє вимоги до їх практичного використання.

У третій главі досліджено системи формування електронно-іонних кілець в енерго-силових пристроях літальних апаратів для подальшого прискорення їх у потенційній магнітній ямі, що рухається, з метою створення тяги апарату.

Для реалізації колективного методу прискорення захопленої зовнішньої маси необхідно сформувати електронні кільця з великою густиною заряду. При формуванні електронних кілець використовуються різні схеми компресії, радіус у яких змінюється від 18-20 см до 2.5-3.5 см. Кінцеві розміри визначаються можливістю забезпечення високої напруженості ведучого магнітного поля. Другим важливим питанням процесу стискування електронно-іонних кілець є його стійкість. У зв'язку з цим було розглянуто задачу стійкості вільного руху заряду на стаціонарній орбіті в електромагнітному полі ідеально

провідникового контуру. Необхідні умови, що забезпечують стаціонарний рух заряджених частинок радіусу ρ , мають вигляд:

$$\begin{cases} \beta = \left[\frac{a_{12} - 1/(\mathbf{m} \cdot \rho) \cdot a_{11} \cdot \partial a_{12} / \partial \rho}{a_{22} - 1/(\mathbf{m} \cdot \rho) \cdot a_{12} \cdot \partial a_{12} / \partial \rho} \right]; & a_{11} = m\rho^2; \\ \psi = \frac{\partial \psi_a}{\partial \varphi}; & a_{12} = \frac{\partial \psi_a}{\partial \varphi}; & a_{22} = L_{11}, \\ z|_0 = 0. \end{cases}$$

де β/ψ - відношення моменту кількості руху і величиною замороженого магнітного потокозчеплення.

Існування стаціонарної траєкторії у площині $z=0$ можливе лише при визначеному співвідношенні між моментом кількості руху β та величиною замороженого магнітного потокозчеплення. Цей стаціонарний рух буде, згідно з теоремою Рауса, стійким, якщо змінена потенційна енергія системи взаємодії частинки з ідеально провідниковим контуром

$$W = \frac{[\beta \cdot a_{22} - \psi \cdot a_{12}] \cdot \beta + [\psi \cdot a_{11} - \beta \cdot a_{12}] \cdot \psi}{2 \cdot [a_{11} \cdot a_{22} - a_{12}^2]},$$

$$R = W - \frac{\mathbf{m} \cdot \dot{\rho}^2}{2} - \frac{\mathbf{m} \cdot \dot{z}^2}{2}$$

має мінімум.

Це дає нам нерівності

$$\left. \frac{\partial^2 W}{\partial \rho^2} \right|_0 > 0; \quad \left(\frac{\partial^2 W}{\partial \rho^2} \cdot \frac{\partial^2 W}{\partial z^2} - \left[\frac{\partial^2 W}{\partial \rho \partial z} \right]^2 \right) \Bigg|_0 > 0,$$

які визначають достатні умови стійкості

Порівняльний аналіз системи з ідеально провідниковим елементом і системи із звичайним "теплим" струмонесучим контуром показує, що на відміну від "теплого" для ідеально провідникового контуру є можливість забезпечити стійкість стаціонарної орбіти зарядженої частинки без будь-яких додаткових пристроїв. Практичну цікавість викликає сукупність стаціонарних орбіт стійкого руху, яка пов'язує між собою радіус орбіти і параметр γ_2 , що характеризує такі властивості системи, як ступінь замороженості магнітного потокозчеплення, геометричні параметри та енергетичні характеристики згустків.

Розглянуто вплив зовнішнього магнітного поля на стійкість стаціонарної орбіти зарядженої частинки в електромагнітному полі ідеально провідникового контуру. Наявність зовнішнього магнітного поля дає поправку до необхідних і достатніх умов стійкості, змінюючи їх вигляд так:

$$\gamma_{ow} = \gamma_0 - 2 \cdot \gamma_1 \cdot \frac{x_1^2 - \gamma_2^2 \cdot D^2}{1 - \gamma_2^2 \cdot \frac{1}{x_1} \cdot D \cdot \frac{\partial D}{\partial x_1}} + \gamma_1 \cdot x_1^2,$$

де γ_1 - параметр, що характеризує зовнішнє магнітне поле. Динаміка зміни необхідних умов існування стаціонарної циклічної орбіти залежить від рівня γ_1 зовнішнього магнітного поля. Таким чином, параметр γ_1 дозволяє не тільки суттєво впливати на визначені умови стійкого руху, але в свою чергу може підвищувати ($\gamma_1 < 0$) або знижувати жорсткість системи ($\gamma_1 > 0$), суттєво змінюючи межу області стійкого руху.

Параметри системи фокусування та прискорення електронно-іонних кілець з пропускною спроможністю масозабірника 1 г/с представлено в таблиці

Кругова швидкість електронів у кільці	$10^5 - 10^7$ м/с
заряд одиниці маси апарату за рахунок інжекції електронів кільця	$5 \cdot 10^{-4} \frac{\text{Кл}}{\text{г}}$
швидкість кільця на виході	$1.36 \cdot 10^5$ м/с
тяга	136 Н
іонний струм	$5 \cdot 10^4$ А
Потужність енергетичного джерела	$8 \cdot 10^4$ кВт
Потужність на циркуляцію електронів	$3 \cdot 10^4$ кВт
Потужність, яка необхідна на іонізацію потоку	$0.75 \cdot 10^4$ кВт
Потужність на створення тяги	$4 \cdot 10^4$ кВт
ККД	50 %

На підставі аналізу чисельних експериментів отримано основні динамічні характеристики пристрою. Аналіз характеристик виявив наявність двох режимів витоку плазми: синхронний та асинхронний.. Проведене порівняння із

звичайною "теплою" системою (без надпровідної котушки) показує, що для такої схеми максимальний розрахунковий ККД перетворення сягає 50-60 %. Основною причиною зростання ефективності запропонованої схеми є факт збереження надпровідним витком своєї енергії постійною та використання додатково накопиченої енергії зовнішньої маси.

Проаналізовано залежність ККД системи від її геометричних та енергетичних параметрів. Проведено оцінки витрат енергії при імпульсному режимі роботи двигуна. Виявлено, що гістерезисні втрати в надпровідних матеріалах при імпульсних режимах роботи та втрати на віхрові струми у металоконструкціях пристрою сягають не більш ніж 0.2 % від накопиченої енергії у надпровідних котушках.

При аналізі витрат енергії на забезпечення криогенного режиму було прийнято дві схеми охолодження котушок - автономний та рефрижираторний. Отримані оцінки показали, що втрати за цикл дорівнюють приблизно 0.2 % від енергії, накопиченої у надпровідній котушці. Таким чином, було доведено, що значний вклад у витрати енергії дають процеси іонізації робочого тіла та наступне гальмування плазмового потоку перед входом у систему формування електроно-іонних кілець.

Основні результати та висновки

У дисертаційній роботі на підставі проведених систематичних досліджень нових методів і умов стабілізації та фокусування заряджених частинок і плазмових згустків в електромагнітних полях надпровідних елементів за рахунок реалізації низькотемпературних явищ надпровідності та магнітної потенційної ями розроблено систему захоплення та накопичення зовнішньої маси у формі плазмових утворень з наступним використанням її як робочої речовини двигуна літального апарату.

Основні результати, які відображені у дисертаційній роботі, заключаються у наступному.

1. Розроблено загальну схему та математичну модель надпровідного масозабірника та досліджено процес фокусування та захоплення плазмових утворень в ньому.

2. Розглянуто і теоретично обґрунтовано ефект гальмування та прискорення електричних зарядів та згустків у електромагнітному полі системи ідеально провідних контурів, розташованих симетрично відносно квазіпрямолінійної траєкторії руху зарядів, як наслідок прояву ефекту типу МПЯ при бездисипативному перетворенні кінетичної енергії зарядів в електромагнітну енергію надпровідних систем.

3. Розроблено загальну схему та математичну модель багатосекційної надпровідної системи гальмування та рекуперації енергії плазмових згустків.

4. Розроблено математичну модель та запропоновано схему формування електронно-іонних кілець з їх наступним прискоренням у "магнітній потенційній ямі", що рухається. Проведено оцінку ККД системи та її тягових характеристик.

5. Досліджено стійкість процесу формування електронно-іонних кілець та їх прискорення у надпровідній системі супроводження. Одержано необхідні та достатні умови стійкості орбітального стаціонарного руху точкових зарядів у електромагнітному полі ідеально провідного контуру. Визначена область параметрів стійкого руху зарядів на круговій стаціонарній орбіті може бути цікава з точки зору розробки та проектування прискорюючих та фокусуємих систем.

6. На прикладі ідеально провідного та звичайних контурів проведено порівняльний аналіз надпровідних та "тепліх" систем. Показано, що на відміну від "теплого" контуру, за допомогою надпровідного можливо забезпечити стійкість стаціонарних орбіт заряджених частинок без будь-яких допоміжних фокусуємих систем.

7. Доведено, що деякі особливості електромагнітної взаємодії за участю надпровідних елементів можуть бути використані для створення нових пристроїв накопичування та перетворення плазми.

8. Проведено експерименти та отримано підтвердження особливостей взаємодії плазмових утворень з надпровідними котушками, які можуть бути покладені в основу створення ефективних систем надпровідних енергорушійних систем космічних апаратів, що можуть використовувати міжпланетне середовище для забезпечення необхідних умов їх функціонування.

Основні результати дисертації досить повно відображені у наступних роботах:

1. Пигнастый О.М., Березовский В.В., Дашков А.В., Попович Д.В., Рашкован В.М. "Способ формирования электронно-ионных колец". Авторский патент 95114960 от 23.01.96.

2. Pignasty O.M., Rashkovan V.M., Repalov N.S., Tur Yu.D., Popovich D.V.. On a Superconductive Stabilization System for Charging Particle Accelerators. XVIII International Linac Conference., Geneva, 1996., p.72-73.

3. Rashkovan V.M., Pignasty O.M., Repalov N.S., Tur Jn. D. "Stability of charges motion in the superconductive system of accompaniment". - Proc. of the sec.intern. conference of Dynamics of beams and optimization. - Sn. Peterburg, 1995, - p.149-155.

4. Пигнастый О.М., Попович Д.В., Рашкован В.М., Репалов Н.С., Тур Ю.Д. К вопросу устойчивости движения зарядов в сверхпроводящей системе сопровождения. Препринт ХФТИ, 95-9/ Харьков; ННЦ ХФТИ 1995, 11 с.

5. Kozorez V.V., Rashkovan V.M., Dashkov A.B., Pignasty O.M. and Sub. S.S. Proc. of the 40 th annual conference on magnetism and magnetics materials. USA, Philadelphia, 1995, p.103.

6. Пигнастый О.М. Попович Д.В., Рашкован В.М., Зуб С.С. Устойчивость стационарных орбит зарядов в формирующих ячейках СП-ускорителей. Авиационно-космическая техника и технологии. Труды ХАИ, Харьков, 1996, - с.324-328.

7. Rashkovan V.M., Dashkov A.B., Pignasty O.M., Sub S.S.. The dynamic motion stability for the superconductive coupling system. Proceeding fourth international conference on new leadingedge technologies in machine building , - Kharkov, 1996. p.233-236.

8. Rashkovan V.M., Novosad V.A., Lyakhno V.J., Pignasty O.M., Sub S.S.. Magnetic system of space object coupling. "Proceeding fourth international conference on new leadingedge technologies in machine building", - Kharkov, 1996. p.263-266.

9.Пигнастый О.М., Попович Д.В., Рашкован В.М. Устойчивость идеальных орбит в циклическом сверхпроводящем ускорителе заряженных частиц. Моделирование и технология производства элементов ЛА. Меж. сб. научных трудов, ХАИ, 1993, с. 37-43.

10.Вачасов К.Е., Березовский В.В., Пигнастый О.М. Синтез магнитных полей систем идеально проводящих витков., Моделирование и технология производства элементов ЛА. Меж. сб. научных трудов, ХАИ, 1993, с. 47-53.

11.Пигнастый О.М., Дашков А.В., Березовский В.В., Рашкован В.М. Сравнительный анализ двух методов ускорения плазмы. Межвуз. сб. науч. трудов при секции "Физика плазмы". Харьков, 1993. с. 20-25.

12.Пигнастый О.М., Березовский В.В., Дашков А.В., Рашкован В.М. Устойчивость свободного токового витка в квадрупольной системе сверхпроводящих колец. Моделирование и исследование устойчивости процессов: Тезисы докладов конференции, - Киев, 1992 г., с. 16-17.

13.Пигнастый О.М., Дашков А.В., Попович Д.В., Рашкован В.М. Динамика плазменных сгустков в МПЯ сверхпроводящих витков. Моделирование и исследование устойчивости процессов: Тезисы докладов конференции, - Киев, 1992, с. 48-49.

14.Пигнастый О.М., Рашкован В.М., Второй метод Ляпунова для исследования устойчивости сверхпроводящих консервативных систем. Моделирование и исследование устойчивости систем: Тезисы докладов 2 -й Украинской конференции, Киев, 1993, с.28.

15.Пигнастый О.М., Попович Д.В., Рашкован В.М. Об устойчивости идеальных орбит в циклическом сверхпроводящем ускорителе заряженных частиц. Моделирование и исследование устойчивости систем: Тезисы докладов 2-й Украинской конференции, Киев, 1993.,с.37.

16.Пигнастый О.М. Устойчивость заряженных частиц в магнитном поле сверхпроводящих систем. 6-я Украинская конференция Моделирование и исследование устойчивости процессов, Киев, 1995, с.91.

17.Пигнастый О.М. Устойчивость электронных колец в адиабатическом генераторе заряженных тороидов. 7-я Украинская конференция Моделирование и исследование устойчивости процессов, Киев, 1997, с.47.

SUMMARY

Pignasty O.M. "Research of plasma formation dynamics in superconductive powerengine systems of cosmic flying vehicles".

Dissertation on receiving of a scientific degree of the candidate of technical sciences on a speciality 05.14.07 - the mechanics of fluid, gas and plasma. Physical-technological centre of the Academia of Sciences and of the Ministry of education, Kharkov, 1996.

The dissertation is devoted to the research the introduction superconductive element with magnetic interaction for creation of new devices of accumulation and transformation of a plasma onboard a flying vehicle. The researches are based on the analysis of the characteristics of electomagnetic interaction in dynamic superconductive systems, as well as experimental confirmations of received theoretical results. The particular circuits of accumulation and transformation of a plasma in superconductive engine systems of space vehicles for the account the low temperatures of the phenomena (superconductivity and magnetic potential well) are considered: superconductive massintake; a superconductive system of braking; a focusing system electron-ion rings; the analysis of optimum functioning of such systems has been conducted.

АНОТАЦІЯ

Пігнастий О.М. Дослідження динаміки плазмових утворень у надпровідних енергорушійних системах космічних апаратів.

Дисертація на здобуття наукової степені кандидата технічних наук за спеціальністю "Механіка рідини, газу та плазми".

Міністерство освіти України, Харківський авіаційний інститут, Харків, 1997 р.

0708854

Дисертаційну роботу присвячено дослідженню впровадження надпровідних елементів з магнітною взаємодією для створення нових пристроїв накопичування та перетворення плазми на борту літального апарату. Дослідження ґрунтується на аналізі характеристик електромагнітної взаємодії в динамічних надпровідних системах, а також експериментальних підтвердженнях отриманих теоретичних результатів. Розглянуто конкретні схеми накопичування та перетворення плазми в надпровідних енергорушійних системах космічних апаратів за рахунок низькотемпературних явищ (надпровідності та магнітної потенційної ями): надпровідний масозабірник; надпровідна система гальмування; система фокусування електронно-іонних кілець; проведено аналіз оптимального функціонування таких систем.

Ключові слова: плазмовий згусток, надпровідний контур, стаціонарна орбіта, надпровідний масозабірник, рекуператор.

439907

Ав 38.050

Пігнастий Олег Михайлович

Дослідження динаміки плазмових утворень у надпровідних енергорушійних системах космічних апаратів.

відповідальний за випуск професор Белан М.В.

Формат 60x84 1/16. Папір офс. № 2 Офс. друк.
Ум.друк.арк. 1,0 Т. 80 прим. Замовлення 42
Харківський авіаційний інститут
310 070, Харків-70, вул.Чкалова, 17
Ротапринт друкарні ХАІ
310 070, Харків-70, вул.Чкалова, 1