

Б.Є. Журиленко, к.ф.-м.н., с.н.с.,
(Національний авіаційний університет, Україна)

Принцип роботи механічного імпульсного інерційного рушія

В результаті досліджень показано принцип роботи механічного імпульсного рушія для замкнутих систем, який може застосовуватись для розгону космічного апарату при міжпланетних перельотах, збільшити тривалість польоту та зменшити час перельоту в космосі, швидкий розгін до значних швидкостей. В цьому випадку для двигуна космічного апарату необхідні: генератор електричного струму, електродвигун та механічний імпульсний рушій.

Для переміщень у космічному просторі космічних апаратів з космонавтами на великі відстані необхідні ефективні двигуни і рушії, щоб розігнати апарат до потрібних швидкостей, зменшити час перельоту, і, відповідно, перебування космонавтів за умов шкідливих для їхнього здоров'я, де є радіація та інші шкідливі впливи. Крім того, ефективні двигуни та рушії дозволять досягати планет сонячної системи за більш короткий час.

На сьогодні для розгону космічних апаратів використовується в основному принцип реактивного руху, який потребує великого запасу палива хімічного складу і, отже, збільшення маси космічного апарату. Збільшення маси апаратів тягне застосування більш потужних реактивних двигунів і ще більшого запасу палива або з малопотужними двигунами збільшує час розгону. З іншого боку, необхідність великого запасу палива обмежує перельоти в космічному просторі на великі відстані.

Крім реактивних хімічних двигунів розроблені іонні, плазмові та інші двигуни [1-4], що працюють на реактивній тязі і теж потребують запасу палива, хоча меншого ніж хімічні. Їхня ефективність по розгону космічного апарату є досить малою величиною через малу величину реактивної тяги. Ці двигуни через малий реактивний імпульс застосовуються в основному для коригування руху космічних апаратів.

Таким чином, щоб забезпечити тривалі перельоти на великі відстані за допомогою реактивного двигуна необхідно мати досить великий запас хімічного палива або двигун з рушієм, який забезпечив би ефективну його роботу з малою витратою палива [1-4], або з достатньою витратою для завершення тривалого польоту.

З іншого боку, можна запропонувати ідеальний варіант космічного апарату, де можна використовувати як двигун – електродвигун, а як рушій – механічний імпульсний інерційний рушій. Як джерела електричної енергії для живлення електродвигуна з тривалим терміном роботи можуть використовуватися сонячні панелі або атомний реактор з електрогенератором, що в даний час вже розроблені і встановлюються на космічному апараті. В запропонованому випадку немає необхідності запасати велику кількість хімічного палива для реактивних двигунів, а джерелом енергії буде атомний

реактор для живлення електродвигуна з імпульсним інерційним рушієм. Крім того, маса в конструкції такого космічного апарату буде практично постійною протягом тривалого часу перельоту. Електродвигун [5] можна реалізувати із досить економічним використанням електроенергії від генератора. Однак принцип роботи механічного імпульсного інерційного рушія для космічного апарату потребує додаткових теоретичних розрахунків та досліджень.

Космічний апарат з інерційним імпульсним рушієм, з фізичної точки зору, є замкнутою системою, і щоб забезпечити розгін апарату необхідно розглянути теоретичну можливість створення механічного імпульсу для рушія.

Відомо [6], що повна енергія механічної системи складається з потенційної та кінетичної енергій системи. У замкнутій системі при переході системи з одного стану в інший можуть змінюватися кінетичні та потенційні енергії, взяті окремо, але їхня сума залишається постійною. Для космічного апарату в космосі можна вважати, що він переміщається за відсутності силового поля, тобто за відсутності сил тяжіння, та його потенційна енергія дорівнює нулю, а кінетична буде постійною. Отже, якщо в системі, що складається з електродвигуна та інерційного рушія, присутній обертальний рух, то він за певних умов може перетворюватися на інерційний поступальний рух. Наприклад, якщо тіло рухається по кривій при криволінійному русі, то буде виконуватися робота по переміщенню тіла, отже, при обертовому русі при переміщенні тіла по радіусу, що змінюється, за певних умов може виникати імпульс у певному напрямку для замкнутої системи.

Також відомо, що кількість руху замкнутої системи дорівнює константі

$$\vec{K} = m \cdot \vec{V} = \text{const.} \quad (1)$$

Зміна кількості руху за одиницю часу пропорційно докладеній силі і відбувається у тому напрямі, у якому діє вектор сил. З іншого боку, можемо записати

$$\Delta \vec{K} = \vec{f} \cdot \Delta t, \quad (2)$$

де $\vec{f}$ - середнє значення сили за діючий проміжок часу Δt . Величина дорівнює добутку середнього значення сили f на проміжок часу Δt , що діє, називається імпульсом сили. Таким чином, згідно із законом збереження кількості руху замкнутої системи, якщо в запропонованій системі створити зміну обертальної кількості руху $\Delta \vec{K}_b$, то за певних умов і компенсації обертового руху може виникнути імпульс сили для поступального руху $\Delta \vec{K}_n$ всієї системи

$$\vec{f} \cdot \Delta t = (m_1 + m_2) \cdot \Delta \vec{V}, \quad (3)$$

де m_1 , m_2 - маси тіла, що обертається в інерційному рушії, і космічного апарату відповідно, $\Delta \vec{V}$ - зміна поступальної швидкості космічного апарату. Таким чином, зміна повної кількості руху системи тіл визначається імпульсом рівнодіючої зовнішніх сил.

Розглянемо принцип роботи механічного імпульсного інерційного двигуна на наступній схемі рис.1.

На схемі представлені такі параметри: m_1 - маса тіла, що обертається в інерційному рушії; m_2 - маса космічного апарату; f_u - відцентрова сила, прикладена до маси m_1 ; α - кут, на який перемістилася маса m_1 за час Δt ; f - відцентрова сила у напрямі координати У. У цій схемі передбачається, що

електродвигун перебуває у масі космічного апарату m_2 , а маса в інерційному русії m_1 може вільно переміщатися вздовж по радіусу, який змінюється при обертанні ротора рушія і, за рахунок відцентрової сили, впливає на коло, що належить масі m_2 .

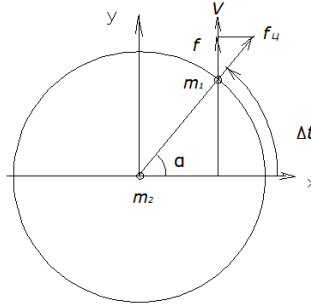


Рис.1. Схема для складання імпульсу інерційного рушія та зміни кількості руху у напрямку координати Y.

Для складання рівняння (3) та виконання розрахунків необхідно ввести наступні параметри: $f_{ц} = m_1 \cdot \omega^2 \cdot R$ - значення відцентрової сили, ω - кутова швидкість обертання маси m_1 , R - радіус, яким переміщається m_1 ; $f = f_{ц} \cdot \sin \alpha$ - відцентрова сила діюча в напрямку Y; $\Delta t = \frac{2\pi}{\omega} \cdot \Delta \alpha$ - діючий проміжок часу для середньої сили f_u ; $\Delta \alpha$ - значення кута, при якому f_u залишається постійним, $T = \frac{2\pi}{\omega}$ - час повного оберту рушія. Використовуючи введені позначення, отримаємо вираз (3), що описує дію імпульсу у напрямку координати Y

$$m_1 \cdot \omega^2 \cdot R \cdot (\sin \alpha) \cdot \frac{2\pi}{\omega} \cdot \Delta \alpha = (m_1 + m_2) \cdot \Delta V. \quad (4)$$

Звідси для приросту швидкості системи ΔV , що діє у напрямку Y, отримаємо рівняння

$$\Delta V = \frac{m_1}{m_1 + m_2} \cdot \omega \cdot R \cdot (\sin \alpha) \cdot 2 \cdot \pi \cdot \Delta \alpha. \quad (5)$$

Середня швидкість за один повний оберт двигуна буде

$$V = \int_0^{2\pi} \frac{m_1}{m_1 + m_2} \cdot \omega \cdot R \cdot (\sin \alpha) \cdot 2 \cdot \pi \cdot d\alpha. \quad (6)$$

З виразу (6) видно, що при $R = \text{const}$ імпульс і середня швидкість за оберт, дорівнюватимуть нулю. Щоб імпульс і середня швидкість не дорівнювали нулю, необхідно в процесі оберту змінювати радіус. Як приклад виберемо зміну радіусу за наступним законом:

від 0 до π радіус змінюється за формулою

$$R(\alpha) = r - \Delta r \cdot \sin \frac{\alpha}{2}, \quad (7)$$

від π до 2π радіус залишається постійним і рівним мінімального значення, отриманого у формулі (7)

$$R1(\alpha1) = r - \Delta r \cdot \sin \frac{\pi}{2}. \quad (8)$$

На рис.2 представлено зміну радіусу в інерційному русії за оберт. У побудові приймалися такі параметри $r=l$, $\Delta r=0,5$ у метрах, кут α змінюється від 0 до π ; $\alpha 1$ – від π до 2π .

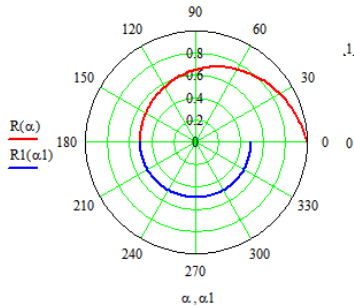


Рис.2. Зміна радіуса в імпульсному інерційному двигуні за один оберт

У відповідність до (5) розглянемо, як змінюється приріст швидкості залежно від кута оберт. У розрахунках використовувалася кутова швидкість $\omega=315$ (рад/с) або $k=50$ обертів за секунду, маса $m_1=0,001$ і $m_2=1$ у відносних одиницях, оскільки у розрахунках важливим є відношення маси інерційного русія до маси всього космічного апарату з русієм, $\Delta\alpha=0.01\cdot\pi$. На рис.3 представлений графік зміни швидкості залежно від кута оберт ротора двигуна.

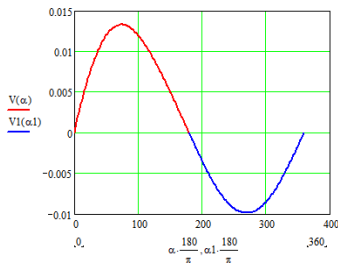


Рис.3 Залежність приросту швидкості залежно від кута оберт ротора двигуна

З графіка рис.3 видно, що за допомогою різниці в радіусах імпульсу сили і швидкості при обертанні ротора інерційного русія залежно від кута змінюються на протилежний напрям з різними значеннями. І якщо проінтегрувати приріст швидкості, то залишається результуюче значення імпульсу сили і приросту швидкості в напрямку $+Y$. У зв'язку з тим, що результуючий імпульс сили виникає періодично та імпульсно, то звідси і назва «механічний імпульсний інерційний русій».

Обчислимо середню зміну швидкості за один оберт

$$\Delta V = \int_0^\pi V(\alpha) \cdot d\alpha + \int_\pi^{2\pi} V1(\alpha1) \cdot d\alpha1. \quad (9)$$

В результаті отримаємо $V=6,591 \times 10^{-3}$ (м/с) за один оберт рушія. Цей результат виходить, якщо маса космічного апарату буде, наприклад, 1 тонна, маса інерційного рушія буде 1 кг, радіус інерційного рушія $R=1$ (м), а максимальна зміна радіуса $\Delta r=0,5$ (м). Збільшення маси рушія пропорційно збільшуватиме імпульс сили, і збільшуватиме приріст швидкості системи.

За секунду електродвигун робить $k=50$ обертів, отже, буде 50 інерційних імпульсів сили. За секунду отримаємо приріст швидкості $V \cdot k=0,33$ (м/с). Шлях, який пройде за секунду космічний апарат $\Delta S=\Delta V \cdot [k \cdot (1+k)/2] \cdot T=0,168$ (м), де час одного оберту $T=0,02$ секунди.

Слід зауважити, що обрана в дослідженнях зміна радіусу може бути не оптимальною для отримання максимального імпульсу сили. Оптимальна зміна радіусу для отримання максимального імпульсу сили потребує додаткових досліджень.

В результаті виконаних теоретичних досліджень показано принцип роботи механічного імпульсного рушія для замкнених систем, який, зокрема, може застосовуватись для розгону космічного апарату при міжпланетних перельотах. В цьому випадку для двигуна космічного апарату необхідні сонячні панелі або атомний генератор електричного струму, електродвигун та механічний імпульсний рушій, що забезпечить тривалий політ без значного збільшення маси апарату, швидкий розгін до значних швидкостей, що зменшить час перельоту в космосі. Маса космічного апарату протягом польоту практично не змінюватиметься. Теоретично показано високу ефективність механічного імпульсного рушія.

Використання механічного інерційного рушія за наявності силового поля, тобто за присутності сили тяжіння, потребує додаткових досліджень.

Список літератури

1. https://www.youtube.com/watch?v=OSG_xWLSnHg
2. <https://thealphacentauri.net/61706-ionnye-raketnye-dvigateli-proshloe-nastoyashchee-i-budushchee/>
3. <https://ua.news/ru/technologies/v-harkove-uspeshno-vspytaly-yonno-plazmennyy-dvigatel-dlya-dalnego-kosmosa>
4. <https://www.youtube.com/watch?v=xVKHwGzhaU>
5. Журиленко Б.Є., Ніколаєва Н.К. Економія електроенергії автономних джерел живлення електродвигунів транспортних систем. INTEGRATED INTELLECTUAL ROBOTECNICAL COMPLEXES (IIRTC-2024) 17th INTERNATIONAL SCIENCE AND TECHNICAL CONFERENCE MAY 21-22ND, 2024 KYIV, UKRAINE с. 315-318
6. Фріш С.Е., Тиморьова А ,В . Курс загальної фізики, том1. - Л., Фізматгіз , 1962, стор 468.