

Зменшення кута нутації високошвидкісних обертових рухомих об'єктів

Огляд наявної літератури, національних освітніх та аерокосмічних програм різних країн показує, що у космонавтиці знайшли широке застосування штучні супутники Землі (ШСЗ), космічні апарати (КА), положення яких у просторі стабілізується обертанням. Така стабілізація використовується на ряді супутників зв'язку, метеорологічних, дослідницьких тощо та для КА під час консервації та при міжпланетному перельоті тощо.

КА і ШСЗ при дослідженні стабілізації моделюються ізольованими механічними системами, що складаються з несучого твердого тіла (НТ) і приєднаних до нього тіл (ПТ), відносному руху яких перешкоджають сили в'язкого опору. Ці системи з часом обертатимуться як одне жорстке ціле навколо осі, на якій лежить незмінний вектор кінетичного моменту системи. В ідеальному випадку система повинна обертатися навколо подовжньої осі НТ – тобто кут нутації повинен бути усунутим. Відповідний усталений рух називатимемо основним, а всі інші – побічними. На практиці з часом здійснюватимуться тільки стійкі рухи. Тому дослідження таких систем зводиться до виділення всіх усталених рухів і дослідження їх умовної стійкості (за умов, що мають місце закони збереження руху центра мас і кінетичного моменту системи).

Обертання тіла навколо подовжньої осі заважають два фактори – неточність надання початкового обертання НТ та його незрівноваженість відносно подовжньої осі. Для зменшення першої складової кута нутації використовуються відповідні демпфери. В деяких роботах вказується, що другу складову кута нутації можна зменшувати пасивними автобалансирами (АБ), але доведення такої можливості немає.

Класична схема дослідження обертових ізольованих систем використовує для виділення усталених рухів диференціальні рівняння руху системи, а для оцінки їх стійкості – перший метод Ляпунова. Через велику кількість ступенів вільності таких систем одержувані диференціальні рівняння важко оглядові і фактично не піддаються аналітичному аналізу. Також велика кількість усталених рухів робить дослідження громіздкими. Але підхід дозволяє оцінювати швидкість протікання перехідних процесів у системі та обирати оптимальні значення її параметрів.

Інші – енергетичні підходи, започатковані Лагранжем і Раусом. До них відноситься теорія стійкості стаціонарних рухів систем з першими і циклічними інтегралами. Вони, зокрема дозволяють без складання диференціальних рівнянь руху системи виділяти всі усталені рухи і одержувати умови їх умовної стійкості.

Авторами конкретизовано застосування метода Рауса дослідження динаміки механічних систем із першими, зокрема – циклічними інтегралами для дослідження динаміки ізольованих систем з в'язким розсіюванням енергії. Конкретизований вигляд основних динамічних величин, диференціальних рівнянь руху, рівнянь усталених рухів, умов умовної стійкості стаціонарних рухів тощо.

Авторами аналітично визначаються умови існування і стійкості різних усталених рухів ізольованої системи, складеної із обертового тіла (КА) і ПТ, в якості яких можуть виступати демпфери, автобалансири, антени, панелі сонячних батарей тощо. Така система, зокрема моделює усунення або збільшення кута нутації КА маятниковими, кульовими або рідинними демпферами при правильному або неправильному встановленні їх на КА..

Для ПТ – АБ було встановлено, що: сплюснуті супутники зрівноважити динамічно неможливо; у випадку сплюсненого незрівноваженого обертового супутника АБ завжди будуть працювати демпферами кута нутації, але тільки у випадку статичної незрівноваженості, коли площина зрівноваження АБ знаходиться поблизу центра мас супутника, один АБ працюватиме і як автобалансир, і як демпфер, чим буде повністю

усувати кут нутації; у випадку витягнутого незрівноваженого (статично або динамічно) супутника АБ не будуть працювати демпферами, але можуть зменшувати складову кута нутації від незрівноваженості супутника за рахунок приходу тіл АБ в окіл положення, в якому вони зрівноважують (статично або динамічно) супутник. Отримані формули для залишкового кута нутації КА при неправильному встановленні АБ на КА.

Без будь-яких обмежень на маси ПТ, встановлено, що: для маятникових, рідинних демпферів кута нутації для стійкості основного руху необхідно і достатньо, щоб складене тіло було сплюснутим і відстань від центра мас системи до площини зрівноваження не перевищувала певне граничне значення; якщо приєднане тіло – пружно закріплений стрижень, орієнтований по подовжній осі НТ, то для стійкості основного руху необхідно і достатньо, щоб складене тіло було сплюснутим і система оберталася з кутовими швидкостями, що не перевищують певне граничне значення.

Отримані результати можна використовувати на етапах проектування ШСЗ, КА, положення яких у просторі стабілізується обертанням.

Список літератури

1. Горошко О.О. Стабілізація положення осі обертання абсолютно твердого тіла багатомаятниковим (багатокульовим) автобалансиром / О.О.Горошко, Г.Б.Філімоніхін, В.В.Пирогов, І.І.Філімоніхіна // Вісник Київського ун-ту. Серія: фізико-матем. науки. 2005. №4. – С.67-76.
2. Филимоных И.И. Условия уравновешивания автобалансирами вращающегося тела в изолированной системе / Филимоных И.И., Филимоных Г.Б. // Прикладная механика. 2007. – 43, №11. – С.113-120.
3. Филимоных Г.Б. Использование пассивных автобалансиров как демпферов угла нутации быстровращающихся спутников / Филимоных Г.Б., Пирогов В.В., Филимоных И.И. // Системне проектування та аналіз характеристик аерокосмічної техніки: Зб. пр. –Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту, 2008. – Т. VIII. – С. 105-115.
4. Застосування пасивного автобалансира як демпфера кута нутації сплюснутого обертового космічного апарата: Пат. на корисну модель № 28407 Україна, МПК В64G 1/00 / І.І. Філімоніхіна, Г.Б. Філімоніхін (Україна); КНТУ - № 200708020; Заявл. 16.07.2007; Опубл. 10.12.2007, Бюл.№20.
5. Філімоніхіна І.І. Умови стійкості основних рухів чотирьох обертових ізолюваних систем / Філімоніхіна І.І., Горошко О.О. // Вісник Київського ун-ту. Серія: фізико-матем. науки. 2008. №3. – С. 99-105.
6. Філімоніхін Г.Б. Стійкість основних рухів ізолюваної системи, складеної з обертового тіла і двох маятників / Г.Б. Філімоніхін, В.В. Пирогов, І.І. Філімоніхіна // Вісник Київського ун-ту. Серія: фізико-матем. науки. - №2. 2011. С. 63–68.
7. Филимоных Г.Б. Устойчивость установившихся движений спутника, стабилизируемого вращением, с пассивным автобалансиром-демпфером угла нутации / Г.Б. Филимоных, И.И. Филимоных, В.В. Пирогов // Міжнародна конференція “Моделирование, управление и устойчивость (MCS-2012)”, Севастополь, 2012 р.