

Заключення. Показана можливість застосування методики кінцево-елементного синтезу багаторівневих конструкцій у просторі перетворень Фур'є для аналізу нестационарних коливань, визначення динамічних характеристик і синтезу оптимальних конструкцій із в'язкопругих і електров'язкопругих матеріалів. Розглянуто приклад проектування оптимальної багаторівневої пластини із в'язкопругих і електров'язкопругих матеріалів.

Література

1. Савченко Е. В. Пасивне демпфювання коливань композитних конструкцій: монографія / Е. В. Савченко. – Нежин : Аспект-Поліграф, 2006. – 232 с.
2. Шульга Н. А. Колебания пьезоэлектрических тел / Н. А. Шульга, А. М. Болкисев. – Киев : Наукова думка, 1990. – 227 с.
3. Механика связанных полей в элементах конструкций. Т. 5. Электроупругость / В. Т. Гринченко, А. Ф. Улитко, Н. А. Шульга, отв. ред. А. Н. Гузь. – АН УССР, Ин-т механики. – Киев : Наукова думка, 1989. – 280 с.
4. Термомеханическая связанная теория гармонических колебаний слоистых оболочек с физически нелинейными неупругими слоями и распределенными пьезоэлектрическими включениями для контроля колебаний / В. Г. Карнаухов, В. И. Козлов, Я. О. Жук, Т. В. Карнаухова // Математические методы и физико-механические поля, 2001. – 44. – № 4. – С. 113-122.
5. Савченко О. В. Метод пошуку глобального екстремуму в задачах оптимізації конструкцій з композиційних матеріалів / О. В. Савченко, І. О. Савченко // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. – Чернігів : ЧДТУ, 2009. – № 36. – С. 72-81.

УДК 531.36:62-752+62-755

КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІКИ ОБЕРТОВОГО НЕСУЧОГО ТІЛА З ДВОХМАЯТНИКОВИМ АВТОБАЛАНСИРОМ

І.І. Філімоніхіна

Кіровоградський національний технічний університет, Україна

Процес усунення (чи збільшення) пасивними демпферами кута нутації космічних апаратів (КА), положення яких у просторі стабілізується обертанням, досліджується у рамках оберткових ізольованих механічних систем (ІС), складених з оберткового несучого тіла (НТ) і приєднаних до нього тіл, відносним рухам яких перешкоджають сили в'язкого опору. З часом рух таких ІС встановлюється і вони починають обертатися як одне ціле навколо осі, на якій лежить незмінний вектор кінетичного моменту системи. На основних усталених рухах НТ обертається навколо подовжньої осі, а на побічних – ні. Оскільки на практиці будуть здійснюватися тільки стійкі рухи, то 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).

В роботі [1] запропоновано використовувати у якості демпферів кута нутації КА пасивні автобалансири (АБ). На сьогодні це єдиний пасивний спосіб усунення кута нутації КА як від неточного надання йому початкового обертання, так і від незрівноваженості. Було встановлено [2-6], що АБ будь-якого типу здатні усунути кут нутації від цих двох факторів тільки у випадку сплюсненого, статично незрівноваженого НТ за умови, що площа зрівноваження АБ співпадає із площиною статичної незрівноваженості і відстань від центра мас НТ до площини зрівноваження не перевищує певного граничного значення.

В роботі [7] було досліджено залишковий кут нутації, що виникає при встановленні АБ на більшу за граничну відстань до центру мас. При перевищенні цієї відстані навіть маятники нескінченно малої маси приводять до втрати стійкості основного руху.

В цій роботі, у програмному середовищі SolidWorks з використанням модуля Cosmos Motion змодельована динаміка ІС, складеної з незрівноваженого обертового НТ і двохмаятникового АБ. Метою комп'ютерного моделювання є перевірка якісної поведінки ІС при певних співвідношеннях між її параметрами. Так, здійснювалася перевірка того, чи буде основний рух певної ІС стійким, якщо виконуються одержані теоретично умови стійкості, і нестійким – у протилежному випадку. Також спостерігали за тенденціями, що проявляються під час руху ІС.

Змодельовано рухи ІС у випадках, коли АБ знаходиться на відстані від центра мас, що не перевищує і перевищує граничну. При цьому моделювалися випадки відсутності незрівноваженості і статичної незрівноваженості у площині маятників.

Методика моделювання містить такі основні етапи.

1. Створення в SolidWorks окремих тіл (деталей), що утворюють ІС – незрівноважене НТ, приєднані тіла, що утворюють АБ. На рис. 1 показані створені окремі тіла ІС.

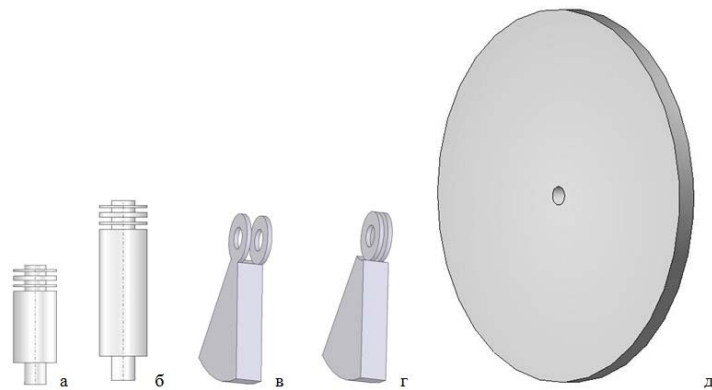


Рис. 1. Тіла, що моделюють статичне зрівноваження сплюсненого обертового НТ двохмаятниковим АБ (а – вісь коротка, б – довга; в, г – пара маятників; д – диск)

2. Створення в SolidWorks зборки, у якій з'єднані разом тіла, що утворюють ІС. Варіанти ІС зображені на рис. 2.

3. Обробка зборки модулем Cosmos Motion і завдання: виду кріплення приєднаних тіл до НТ; виду відносних рухів, які можуть здійснювати приєднані тіла; сил, діючих на приєднані тіла при їх відносному русі; початкових умов.

4. Тестування моделі задачами, що мають відомі розв'язки.

5. Моделювання динаміки системи при різних співвідношеннях між параметрами системи та при різних початкових умовах.

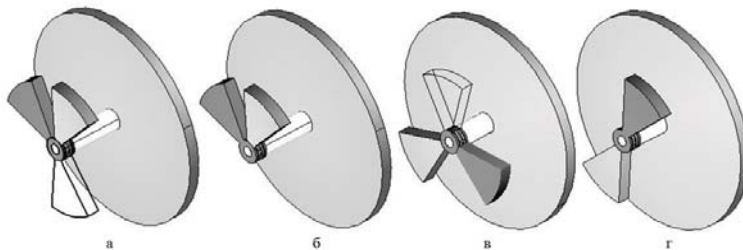


Рис. 2. Механічна система у зборі (зборка) (а – довга вісь, незрівноваженість статична (півпрозорий маятник); б – довга вісь, незрівноваженості немає; в – коротка вісь, незрівноваженість статична (півпрозорий маятник); г – коротка вісь, незрівноваженості немає)

У зв'язку з обчислювальними труднощами, виникаючими на межах областей, у всіх експериментах масо-інерційні і геометричні параметри системи змінювалися в межах, що забезпечують виконання відповідних умов із запасом 3% і більше.

Результати моделювання, висновки.

1. Для того, щоб з часом встановився рух ІС, у вигляді перманентного обертання навколо вектора кінетичного моменту достатньо, щоб сили в'язкого опору діяли принаймні на один маятник.

2. Величини моментів сил в'язкого тертя, діючих на маятники, впливають на час перебігу перехідних процесів, але не впливають на усталений рух системи, який з часом встановиться.

3. При русі системи проявляються дві тенденції – до демпфірування кута нутації у випадку сплюсненого складеного тіла і до автобалансування – у випадку сплюсненого складеного тіла з одним АБ, встановленим поблизу центра мас системи.

4. Дві тенденції проявляються разом тільки у випадку сплюсненого складеного тіла з одним АБ, встановленим поблизу центра мас системи. Тому тільки в цьому випадку повністю усувається кут нутації.

5. При встановленні маятників на відстань до центру мас НТ, більшу за граничну, з'являється залишковий кут нутації, викликаний незрівноваженістю ІС (не настає автобалансування).

Література

1. Застосування пасивного автобалансира як демпфера кута нутації сплюсненого 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.
2. Філімоніхіна І.І. Умови зменшення автобалансирами кута нутації обертового супутника Землі // Всеукраїнський н.-т. журнал „Вібрації у техніці та технології”. –2007. №1 (46), С. 34-37.
3. Филимоных Г.Б. Стабилизация маятниковыми демпферами пространственного положения оси вращения несущего тела / Г.Б. Филимоных, В.В. Пирогов, И.И. Филимоных // Прикладная механика, т.43, №10, 2007. – С.120-128.
4. Филимоных И.И. Условия уравнивания автобалансирами вращающегося тела в изолированной системе / И.И. Филимоных, Г.Б. Филимоных // Прикладная механика, т.43, №11, 2007. –С.113-120.
5. Філімоніхіна І.І. Усталені рухи і умови само зрівноваження одного типу ізольованої системи // Вісник Київського ун-ту. Серія: фізико-матем. науки. 2007. №3. –С.103-107.
6. Філімоніхіна І.І. Умови стійкості основних рухів чотирьох обертових ізольованих систем / І.І. Філімоніхіна, О.О. Горошко // Вісник Київського ун-ту. Серія: фізико-матем. науки. – 2008. №3. – С. 99-105.
7. Филимоных Г.Б. Устойчивость установившихся движений спутника, стабилизируемого вращением, с пассивным автобалансиrom-демпфером угла нутации / Г.Б. Филимоных, И.И. Филимоных, В.В. Пирогов // Міжнародна конференція “Моделирование, управление и устойчивость (MCS-2012)”, Севастополь, 2012 р. – С. 151-153.