

## Застосування пасивних автобалансирів у якості демпферів кута нутації обертових супутників

Розглянуті особливості застосування пасивних автобалансирів у якості демпферів кута нутації обертових супутників. Зроблений огляд супутників, для яких застосовний вказаний спосіб демпфірування. Наведені основні теоретичні результати, отримані авторами з зазначеної теми. Наведені практичні рекомендації з застосування пасивних автобалансирів як демпферів кута нутації.  
**обертовий супутник, кут нутації, демпфер кута нутації, автобалансир**

**Вступ.** Пасивні автобалансири (АБ) знайшли широке застосування для зрівноваження на ходу швидкообертових роторів [1]. Корегувальні вантажі (КВ) цих АБ на певних швидкостях обертання ротора самі приходять в те положення, в якому зрівноважують ротор і далі обертаються з ним як одне ціле, поки не з'являться збурення різного походження. У роботах [2-13] вивчена можливість і способи використання АБ для усунення кута нутації швидкообертового супутника. На відміну від призначених для цього відомих демпферів кута нутації, АБ за певних умов здатні не тільки зменшувати кут нутації, викликаний неточним наданням початкового обертання супутнику, але і здатні зменшувати кут нутації, викликаний незрівноваженістю супутника щодо повздовжньої осі. Для різних супутників залишковий кут нутації (від незрівноваженості) може досягати  $0,5^0 \dots 5^0$ , що значно погіршує роботу апаратури супутника, а саме якість сканування поверхні Землі, фотознімків, приводить до непостійної флуктуації радіосигналу і т.д. [14-18]. Тому зрівноваження супутника з одночасним демпфуванням нутаційних коливань є актуальною задачею. В даній роботі вказані типи супутників, для яких застосовний розроблений спосіб демпфірування. Наведені основні теоретичні результати, отримані авторами з зазначеної теми, а також рекомендації з застосування АБ як демпферів кута нутації.

**Область застосування розробки.** Огляд літератури [19-29], національних освітніх та аерокосмічних програм різних країн показує, що пасивне демпфірування нутаційних коливань обертових супутників, стабілізованих обертанням, отримало широке розповсюдження на практиці. Цей метод використовувався і використовується на ряді метеорологічних, дослідницьких та супутниках зв'язку серії «Pioneer», «Explorer», «TIROS», «TELSTAR», «Сінком», «ATC», «ESSA», «Meteosat», «Gms», «SCD», «HESSI», «THC-0». На доцільність використання пасивного демпфірування на сучасних мікро і наносупутниках вказують сьогодишні освітні, аерокосмічні, та інші програми, зокрема США - «CubeSat», «ION-F», «Constellation Pathfinder»; Японії – «TokyoTech»; Канади – «CanX»; Італії – «UniSat»; Росії – «ПСИНОМ»; України – «Освіта-КА» та ін.

В залежності від вирішуваних задач вісь обертання супутника спрямовують перпендикулярно площині орбіти або до центра орбіти (рис. 1). В першому випадку для орієнтації осі використовується магнітне поле Землі, у другому – сили гравітації чи сонячний вітер. Це – пасивні способи орієнтації. Разом із пасивними способами демпфування кута нутації ці методи не потребують витрати енергії на орієнтацію і

стабілізацію (а деякі – і розкручування) супутника, тому довговічні і забезпечують тривале (до 5 і більше років) функціонування таких супутників.

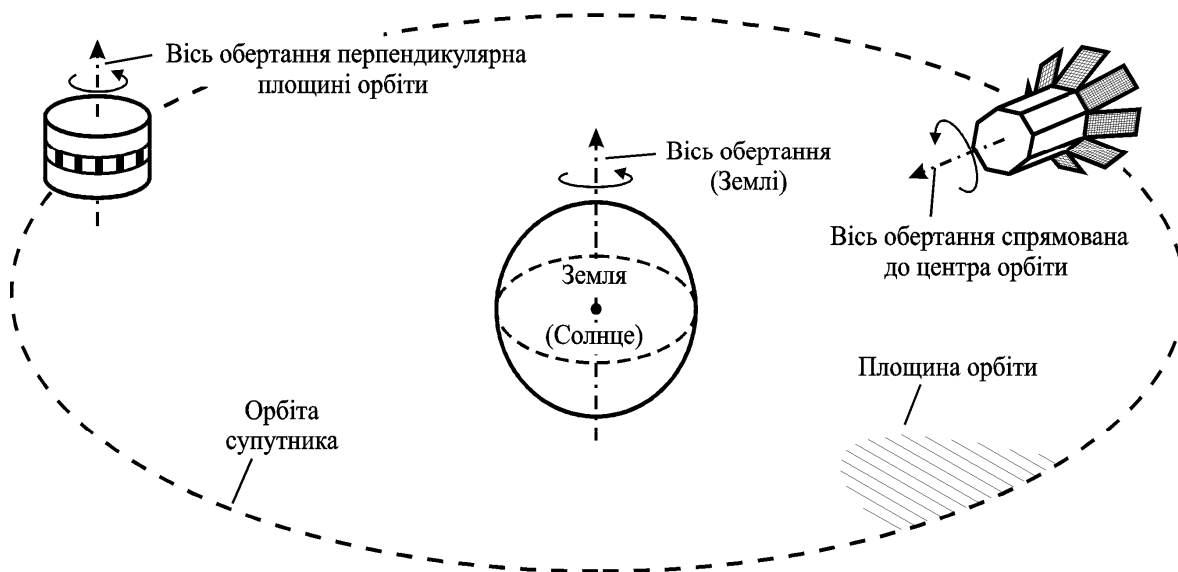
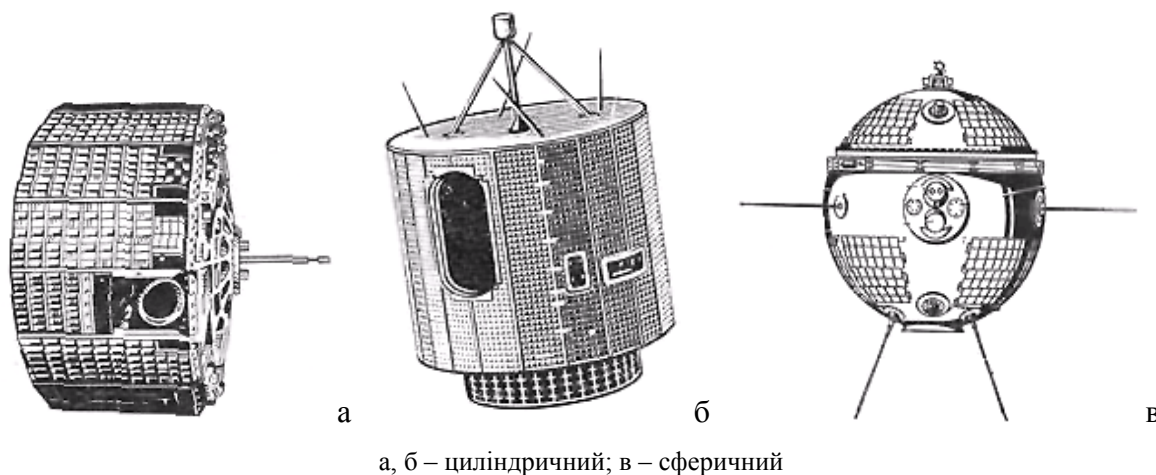


Рисунок 1 - Орієнтація осі обертання супутника або КА стабілізованого обертанням

Розроблений метод застосовний для сплюснутих (стійких) швидкообертових супутників, що орієнтуються магнітним полем Землі або сонячним вітром, і найбільш ефективний у разі статичної незрівноваженості супутників. За формою корпусу ці супутники можна поділити на циліндричні та сферичні (рис. 2), причому для супутників циліндричної форми у переважній більшості повздовжній осьовий момент інерції більше поперечних.



а, б – циліндричний; в – сферичний

Рисунок 2 – Форма корпусу швидкообертових супутників

Інформація по вказаних вище та ряду інших швидкообертових супутників і про типи пасивних демпферів, які використовуються в них, приведена табл. 1.

Супутники, які орієнтуються силами тяжіння, є повільнообертовими (і не сплюснутими) [13-16]. Їх також можна зрівноважувати АБ, але способи використання АБ для цих цілей ще не досліджені.

Таблиця 1 – Швидкообертові супутники із пасивними демпферами кута нутації

| Супутник,<br>призначення,<br>країна                   | Рік<br>запуску             | Маса, кг<br>і клас<br>супутника | Частота<br>обертання,<br>об/хв | Тип демпфера | Залишковий<br>кут нутації,<br>град |
|-------------------------------------------------------|----------------------------|---------------------------------|--------------------------------|--------------|------------------------------------|
| Телстар-1, 2, зв'язку, США                            | 1962, 1963                 | 77, мікро                       | –                              | РД           | 0,5 <sup>0</sup>                   |
| Сінком, зв'язку, США                                  | 1963                       | –                               | 160                            | РД           | 0,5 <sup>0</sup> ...1 <sup>0</sup> |
| TIROS IX, TIROS X (рис. 1, а)<br>метеорологічний, США | 1965                       | 135, міні                       | 10                             | РМ           | –                                  |
| Explorer XXXII (рис. 1, в)<br>дослідницький, США      | 1966                       | 225, міні                       | 30                             | –            | –                                  |
| ESSA-I, ESSA-II, ESSA-III<br>метеорологічний, США     | 1966                       | 138, міні                       | 10                             | –            | –                                  |
| ATS 1, зв'язку, США                                   | 1966                       | 351, міні                       | 100                            | РМ           | 0,5 <sup>0</sup> ...1 <sup>0</sup> |
| Explorer XLVII (IMP-H)<br>дослідницький, США          | 1972                       | 390, міні                       | 45                             | –            | –                                  |
| SMS -1 (рис. 1, б)<br>метеорологічний, США            | 1974                       | 625, міді                       | 100                            | –            | –                                  |
| GOES A, B ... H<br>метеорологічний, США               | 1975, 1977...<br>..., 1987 | 399, міні                       | 100                            | РД           | 0,5 <sup>0</sup> ...1 <sup>0</sup> |
| Meteosat 1, 2...7<br>метеорологічний, EUMETSAT        | 1977, 1981...<br>..., 1997 | 322, міні                       | 100                            | РД           | 0,5 <sup>0</sup>                   |
| Gms-1, 2...5<br>метеорологічний, Японія-США           | 1977, 1981...<br>..., 1995 | 320, міні                       | 100                            | РД           | 0,5 <sup>0</sup>                   |
| FY-2, метеорологічний, Китай                          | 1997                       | 320, міні                       | 100                            | РД           | 0,5 <sup>0</sup> ...1 <sup>0</sup> |
| Astrid 1, Astrid 2,<br>дослідницький, Швеція          | 1995, 1998                 | 27, мікро                       | --                             | РД           | 0,5 <sup>0</sup> ...2 <sup>0</sup> |
| SCD-2, зв'язку, Бразилія                              | 1998                       | 117, міні                       | 228                            | –            | 0,5 <sup>0</sup> ...1 <sup>0</sup> |
| SACI-1, дослідницький, Бразилія                       | 1999                       | 80, мікро                       | 6-10                           | РД           | 1 <sup>0</sup>                     |
| SJ-5, дослідницький, Китай                            | 1999                       | 298, міні                       | 4                              | --           | --                                 |
| Acrimsat, дослідницький, США                          | 1999                       | 115, міні                       | 12                             | --           | --                                 |
| IMAGE, дослідницький, США                             | 2000                       | 494, міні                       | 3-5                            | РД           | 0,5 <sup>0</sup> ...5 <sup>0</sup> |
| HESSI, дослідницький, США                             | 2002                       | 293, міні                       | 15                             | –            | –                                  |
| TC-1, TC-2, дослідницький, ESA                        | 2003, 2004                 | 330, міні                       | --                             | --           | --                                 |
| AMSAT, дослідницький, США                             | 2004                       | 100, мікро                      | 1-15                           | --           | --                                 |
| HAMSAT, зв'язку, Індія                                | 2005                       | 42, мікро                       | 4                              | --           | --                                 |
| THC-0, дослідницький, Росія                           | 2005                       | 5, нано                         | 1-3                            | –            | –                                  |
| MSG-2, метеорологічний,<br>EUMETSAT                   | 2005                       | 2035*, міді                     | 100                            | --           | --                                 |
| Rstar и Vstar, зв'язку, Японія                        | 2007                       | 53, мікро                       | 10                             | –            | –                                  |

EUMETSAT – європейське космічне агентство  
 ESA – європейське супутникове агентство  
 РД – рідинний демпфер

РМ – резонансно-механічний демпфер  
 \* - маса разом з розгінним блоком  
 -- - інформація недоступна

**Задачі, методи і основні результати досліджень.** В роботах [2-13] авторами розв'язувалися такі задачі досліджень:

- встановлювалися випадки, в яких пасивні АБ можуть повністю усунути кут нутації, викликаний як неточним наданням початкового обертання супутнику, так і незрівноваженістю супутника відносно його повздовжньої осі;

- оцінювалася швидкість усунення кута нутації маятниковими (кульовими) АБ та вплив на цей процес різних параметрів.

Показана ефективність енергетичного метода для: виділення всіх можливих усталених рухів системи супутник – АБ; оцінки їх стійкості; одержання узагальнених умов настання зрівноваження. Метод не потребує складання диференціальних рівнянь руху системи.

Показана ефективність першого метода Ляпунова для: одержання необхідних і достатніх умов стійкості так званих основних рухів - в яких КВ АБ (маятники, чи кулі) зрівноважують супутник і повністю усувають кут нутації; оцінки швидкості зменшення цього кута, впливу на цей процес параметрів системи.

Показана ефективність евристичного метода [1] для визначення умов, при яких коригувальні вантажі АБ будь-якого типу будуть прямувати до положення, в якому зрівноважують супутник, тобто умов, за яких АБ буде працювати власне як автобалансир. При цьому отримуються узагальнені умови, придатні для АБ будь-якого типу.

*Були одержані такі основні результати досліджень:*

а) в рамках моделей, в яких супутник рухається плоскопаралельно та статично зрівноважується маятниковими (кульовими) АБ [2,3], або АБ із зв'язаними твердими тілами [4], встановлено, що при будь-яких параметрах системи АБ з часом усувають статичну незрівноваженість супутника і він починає обертатися навколо власної повздовжньої осі;

б) в рамках моделей, в яких супутник здійснює просторовий рух і зрівноважується двома парами маятників (куль) у двох різних площинах зрівноваження встановлено, що усунення кута нутації, викликаного незрівноваженістю супутника, неможливе ні при яких параметрах системи [5,6];

в) встановлено існування двох незалежних тенденцій при роботі АБ будь-якого типу [8-11]:

- зменшення кута нутації, викликаного неточним наданням початкового обертання супутнику тільки у випадку сплюснутого супутника (робота АБ у якості демпфера кута нутації);

- тенденція до приходу КВ АБ до положення, в якому вони зрівноважують супутник у випадках витягнутого або сплюснутого супутника (робота АБ у якості автобалансира).

Умови прояву тенденцій вказані табл. 2, 3. У них:  $C$  - повздовжній  $A, B$  - поперечні головні центральні осьові моменти інерції системи супутник - АБ, коли вона здійснює основний рух;  $b$  - відстань від центра мас системи до площини зрівноваження.

Таблиця 2 – Тенденції у роботі двох АБ, що зрівноважують супутник у двох різних площинах (динамічне зрівноваження)

| Супутник - | Обмеження  | Властивість, що проявляється - |          |
|------------|------------|--------------------------------|----------|
|            |            | автобалансира                  | демпфера |
| витягнутий | $A, B > C$ | +                              | -        |
| сплюснутий | $C > A, B$ | -                              | +        |

Таблиця 3 – Тенденції у роботі одного АБ, що зрівноважує супутник у одній площині (статичне зрівноваження)

| Супутник - | Обмеження                                                  | Властивість, що проявляється - |          |
|------------|------------------------------------------------------------|--------------------------------|----------|
|            |                                                            | автобалансира                  | демпфера |
| витягнутий | $A, B > C$                                                 | +                              | -        |
| сплюснутий | $C > A, B; C < A + b^2 M_{\Sigma}, C < B + b^2 M_{\Sigma}$ | -                              | +        |
|            | $C > A + b^2 M_{\Sigma}, C > B + b^2 M_{\Sigma}$           | +                              | +        |

Необхідно зауважити, що дві тенденції можуть заважати одна одній при зменшенні кута нутації. Так, у випадку витягнутого супутника або КА можливе початкове зменшення кута нутації, викликаного незрівноваженістю - внаслідок приходу КВ в окіл положення, в якому вони усувають незрівноваженість (проявляється тенденція до автобалансування). Але потім кут нутації буде зростати внаслідок дисипації енергії при коливанні корегувальних вантажів біля вказаних положень (не проявляється тенденція до демпфірування кута нутації).

### Практичні рекомендації

**Способи застосування АБ як демпферів кута нутації.** Запропоновано використовувати АБ як демпфери кута нутації швидкообертового супутника такими двома способами [12].

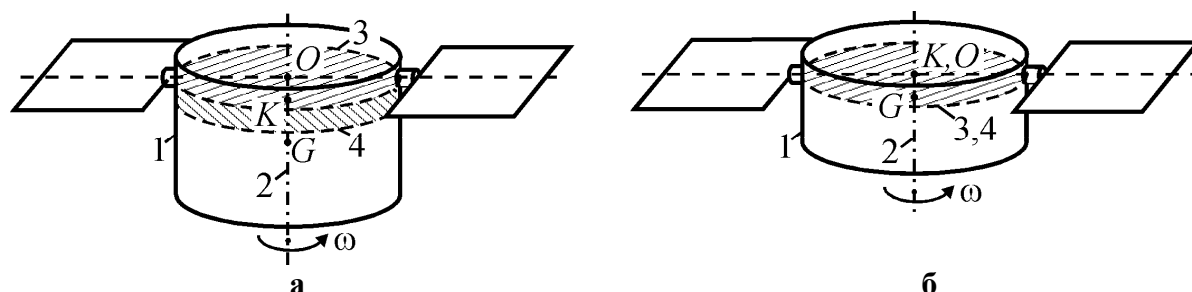
В першому способі (рис. 3, а) площина статичної незрівноваженості 3 не співпадає з площиною зрівноважування 4. Для зменшення кута нутації, як від неточного надання початкового обертання супутнику, так і від статичної незрівноваженості супутника пропонується встановлювати АБ будь-якого типу як можна ближче до площини статичної незрівноваженості, але на відстані від центра мас супутника  $G$ , що менша за відстань

$$[C - \max(A, B)] / [M_{\Sigma} |GO|], \quad (1)$$

де  $|GO|$  - відстань від центра мас супутника до площини статичної незрівноваженості.

В другому варіанті (рис. 3, б) площина статичної незрівноваженості 3 співпадає з площиною зрівноваження 4. Для повного усунення кута нутації пропонується встановлювати АБ з твердими КВ: з маятниками, насадженими на повздовжню вісь супутника (ротора); кульові АБ - в яких кулі перекочуються по кільцевій біговій доріжці; некласичні АБ [1]. Для працездатності АБ необхідно і достатньо виконання умови

$$|GK| = |GO| < \sqrt{[C - \max(A, B)] / M_{\Sigma}}. \quad (2)$$

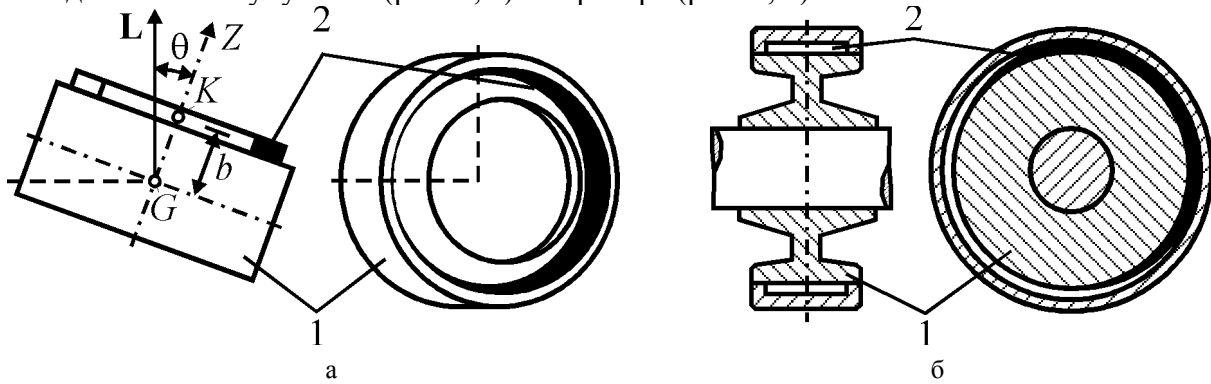


а - площина статичного дисбалансу не співпадає з площиною зрівноваження;  
б - площина статичного дисбалансу співпадає з площиною зрівноваження  
1-швидкообертовий супутник; 2 - повздовжня вісь; 3 - площина дисбалансу; 4 - площина зрівноваження;  
 $G$  - центр мас супутника або КА

Рисунок 3 – Способи використання АБ у якості демпферів кута нутації швидкообертових супутників

**Рекомендації по установці відомих кільцевих і маятникових демпферів.**

Патентний пошук і порівняння конструкцій показують, що відомий кільцевий демпфер кута нутації [31-33] є рідинним АБ Леблана [30]. У обох цих пристроях рідина (ртуть) частково заповнює кільцеву порожнину, і остання розташовується співвісно повздовжній осі супутника (рис. 4, а) або ротора (рис. 4, б).

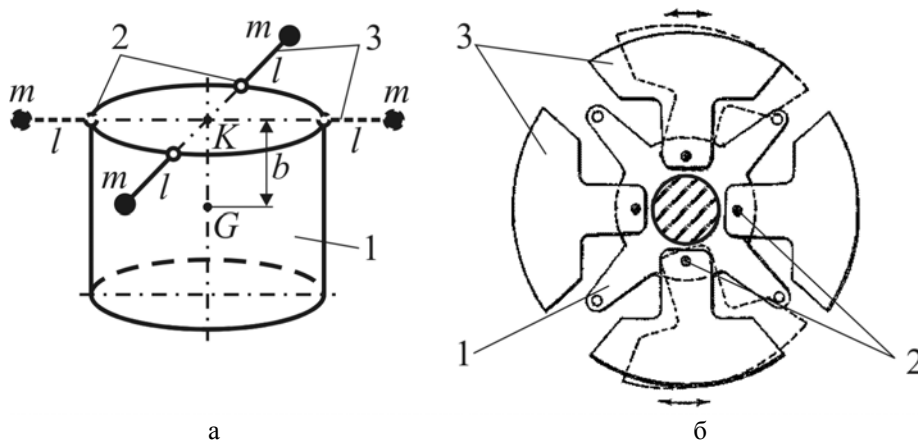


1 – супутник (ротор); 2 – кільцева ємність, заповнена рідиною (ртуттю)

Рисунок 4 – Рідинний демпфер (а) як рідинний АБ Леблана (б)

Відомо, що рідинний демпфер залишає певний кут нутації. У деяких роботах залишковий кут пояснюється поверхневим натягом, або стоячими хвилями на поверхні рідини [31-33]. Відповідно до вищесказаного, кільцевий демпфер повинен встановлюватися із задоволенням вимог (1) або (2), інакше рідина в ньому прямуватиме до положення, в якому збільшуватиме статичну незрівноваженість навіть зрівноваженого, осесиметричного супутника, що буде додатковою причиною наявності залишкового кута нутації.

Аналогічно, відомий двох або чотирьохмаятниковий демпфер кута нутації [35-37] (рис. 5, а) є маятниковим АБ Кларка (рис. 5, б) [34]. Тому маятниковий демпфер також повинен встановлюватися із задоволенням вимог (1) або (2).



1 – корпус супутника (ротора); 2 – осі, паралельні повздовжній осі супутника (ротора); 3 - маятники

Рисунок 5 – Маятниковий демпфер (а) як маятниковий АБ Кларка (б)

Слід зазначити, що рідинний і маятниковий демпфери швидше за інші АБ усувають кут нутації, викликаний неточним наданням початкового обертання супутнику. Але як АБ вони не можуть повністю зрівноважити статичний дисбаланс супутника [1]. Більш того, це найменш ефективні АБ, і мабуть тому, до теперішнього часу, на їх автобалансуючі властивості не звертали уваги [15, 17-29, 31-33, 35-37].

**Висновки.** В результаті проведених досліджень можна зробити наступні висновки:

а) науково-технічний прогрес сприяє зменшенню розмірів супутників або КА, і як наслідок – призводить до збільшення долі супутників, що стабілізуються і орієнтуються пасивними способами;

б) найбільш дешевим і на сьогодні єдиним пасивним методом усунення нутаційних коливань, викликаних як неточним наданням початкового обертання супутнику, так і його незрівноваженістю відносно повздовжньої осі, є запропонований метод використання пасивних АБ як демпферів кута нутації;

в) метод застосовний для сплюснутих швидкообертових супутників, що орієнтуються магнітним полем Землі або сонячним вітром і найбільш ефективний у разі статичної незрівноваженості супутників.

## Список літератури

1. Філімоніхін Г.Б. Зрівноваження і віброзахист роторів автобалансирами з твердими коригувальними вантажами. - Кіровоград: КНТУ, 2004. - 352 с.
2. Філімоніхін Г.Б. Стабілізація маятниками положення осі обертання ізолюваного абсолютно твердого тіла // Вісник, математика-механіка. Київський національний університет. Вип. №7-8, 2002. –С. 67-71.
3. Горошко О. О., Філімоніхін Г. Б., Пирогов В. В., Філімоніхіна І.І. Стабілізація положення осі обертання абсолютно твердого тіла багатомаятниковим (багатокульовим) автобалансиром // Вісник Київського ун-ту. Серія: фізико-матем. науки. 2005. - №4. –С. 67-76.
4. Филимоныхин Г.Б., Пирогов В.В. Стабилизация положения оси вращения твердого тела связанными абсолютно твердыми телами // Прикладная механика, т.41, №8, 2005. –С. 122-129.
5. Пирогов В.В. Стабилизация оси вращения тела в пространстве пассивными автобалансирующими устройствами // Труды XXX Академических чтений по космонавтике. Москва, январь 2006 г.
6. Филимоныхин Г.Б., Пирогов В.В., Филимоныхина И.И. Стабилизация маятниковыми демпферами пространственного положения оси вращения несущего тела // Прикладная механика, т.43, №10, 2007. –С. 120-128.
7. Філімоніхін Г.Б., Пирогов В.В., Філімоніхіна І.І. Рівняння руху ізолюваної системи, яка здійснює просторовий рух // Вісник Київського ун-ту. Серія: фізико-матем. науки. 2007. - №4. –С. 94-100.
8. Філімоніхіна І.І. Умови зменшення автобалансирами кута нутації обертового супутника Землі // Всеукраїнський н.-т. журнал „Вібрації у техніці та технологіях”. –2007. №1 (46), –С. 34-37.
9. Філімоніхіна І.І. Визначення умов зрівноважування обертових тіл пасивними автобалансирами // Тези доповідей 8-го Міжнародного симпозиуму Українських інженерів-механіків у Львові, 22-25.05.2007, –С. 33.
10. Филимоныхина И.И., Филимоныхин Г.Б. Условия уравновешивания автобалансирами вращающегося тела в изолированной системе // Прикладная механика, т.43, №11, 2007. –С. 113-120.
11. Філімоніхіна І.І., Філімоніхін Г.Б. Усталені рухи і умови самозрівноваження одного типу ізолюваної системи // Вісник Київського ун-ту. Серія: фізико-матем. науки. 2007. - №3. –С. 103-109.
12. Філімоніхіна І.І., Філімоніхін Г.Б. 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.
13. Пирогов В.В. Стабілізація положення осі обертання тіла-носія маятниками (кулями) // X Міжнародна молодіжна науково-практична конференція «Людина і Космос», Дніпропетровськ, квітень, 2008.
14. Токарь Е.Н. О влиянии ошибок в распределении масс космического аппарата на точность ориентации // Космические исследования. 1965, т. 3, № 3, –С. 354-358.
15. Артюхин Ю.П., Кругу Л.И., Симаев В.Л. Системы управления космических аппаратов, стабилизированных вращением. М.: Наука, 1979, 296 с.
16. Овчинников М.Ю. Системы ориентации спутников: от Лагранжа до Королева. / Соросовский образовательный журнал, Математика, № 12, 1999, –С. 91-96.
17. Попов В.И. Системы ориентации и стабилизации космических аппаратов. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1986. - 184 с.

18. Докучаев Л.В. Влияние диссипативных моментов, обусловленных вязкостью жидкого тела, на устойчивость вращения космического объекта // Космические исследования, 2002, том 40, № 1, – С. 42-53.
19. Демченко А.В., Зівако В.С., Кулабухов А.М. и др. Первый украинский молодежный спутник // Космічна наука і технологія, т. 12, №5/6, 2006. –С. 4-9.
20. Ильин А.А. Динамика быстро вращающихся малых спутников в геомагнитном поле: Автореф. дис. канд. физ.-мат. наук: 01.02.01. – Теоретическая механика / Институт прикладной математики им. М.В.Келдыша РАН, - Москва, 2006. - 18 с.
21. Ефремов Г.А., Витер В.В. Липатов А.А. и др. Малые спутники в сетях связи и вещания // Технологии и средства связи. 2000. №1.
22. Гриценко А.А. Использование стабилизированных вращением малых космических аппаратов в системах спутниковой связи на GEO и НЕО орбитах. ЗАО "Информационный Космический Центр "Северная Корона", 2001. 4 с.
23. Meissinger H.F. Low-Cost, Minimum-Size Satellites for Demonstration of Formation Flying Modes at Small, Kilometer-Size Distances / 13-th Annual AIAA/ Utah State University Conference on Small Satellites, Logan, Utah, August 23-26, 1999, –pp. 1-15.
24. Ovchinnikov M.Yu. Small Satellites in Russia (Economic and Management Aspects), Actual Problems of Aviation and Aerospace Systems Journal, Kazan Technical University (Kazan, Russia) and Aeronautical University (Daytona Beach, USA) Publisher, 1998, N 1 (5), –pp. 13-25.
25. Solomon S.C. et al. The Student Nitric Oxide Explorer // Space Sciencecraft Control and Tracking in the New Millennium, Proc. SPIE 2810, 1996.
26. Spartnik: San José State University's Micro-Satellite Project, Department of Mechanical and Aerospace Engineering, SJSU, Dec 1996.
27. Fonseca I.M.; Souza P.N., Neri J.A.C.F, Guedes U.T.V. The Attitude Control Subsystem of the Brazilian Scientific Satellite - SACI-1 / ICONE'96 Second International Conference on Non-Linear Dynamics, Chaos, Control and Their Applications in Engineering Sciences, SP, Brazil, August 05-08, 1996.
28. Hambly R.M. AMSAT OSCAR-51 (AO-51) and the New Eagle Satellite // Columbia, W2GPS, 2004.
29. Gidlund S. Design Study for a Formation-Flying Nanosatellite Cluster //Lulea Tekniska Universitet, 2005.
30. Leblanc M. Patent 1,159,052. Automatic balancer for rotating bodies: patent 1,159,052 // Serial No. - 803,970. Field 01.12.1913, Patented 02.11.1815.
31. Рейтер Г.С., Томсон У.Т. Вращательное движение пассивных космических аппаратов // Проблемы ориентации искусственных спутников Земли. – М.: Наука, 1966. - 452 с.
32. Carrier G.F., Miles J.W. On the Annular Damper a Freely Precessing Gyroscope. J. Appl. Mech. 27, 1960, –pp. 237-240.
33. Hubert C., Swanson D. Surface Tension Lockup in the IMAGE Nutation Damper — Anomaly and Recovery // NASA GSFC Flight Mechanics Symposium, 2001.
34. Clark K. Patent 2,405,404 US. Domestic appliance: patent 2,405,404 US // Serial No 363,321. Field 29.10.1940, Patented 06.08.1846.
35. Likins P.W. Effects of energy dissipation on the free body motions of spacecraft /Technical Report No 32.860, NASA, California Institute of Technology Pasadena, California, 1966, –p. 70.
36. Newkirk H.L. Pendulum-type nutation damper used in the NASA atmospheric structure satellite S-6. California, Navweps Report 8525, June 1965, –p. 74.
37. Миреп С.А., Сарычев В.А. Оптимальные параметры спутника, стабилизируемого вращением, с демпфером маятникового типа // Космические исследования. – 1997. – т. 35. №6. – С. 651-658.

Рассмотрены особенности использования пассивных автобалансиоров как демпферов угла нутации вращающихся спутников. Составлен обзор спутников, для которых применим разработанный способ демпфирования. Приведены основные теоретические результаты, полученные авторами по данной теме. Приведены практические рекомендации по использованию пассивных автобалансиоров как демпферов угла нутации.

Are considered the features of application of passive autobalancers as dampers of corner of notation of the revolved satellites of Earth. Is done the review of satellites for which the indicated method of dumping is applicable. The basic theoretical results got authors on the indicated theme are pointed. Practical suggestions and recommendations are pointed on application of passive autobalancers as dampers of corner of the notations of the revolved satellites.