

## АНАЛІЗ СПОСОБІВ ОТРИМАННЯ ДАНИХ ДЛЯ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ПОЛОЖЕННЯМ НАНОСУПУТНИКА

**Явіся В.С., Явіся Д.В.**

*Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна*

*E-mail: yavisya@bigmir.net*

### **Analysis methods of data for nano satellite parameters of motion**

Investigates methods of obtaining information about the parameters of movement of ultra-small spacecraft, which is necessary for the formation of the executive bodies of the control signals orientation and stabilization systems of spatial position. Traditional methods are evaluated in terms of their accuracy, feasibility, as well as the restrictions on weight and overall performance.

Відомо, що наносупутники (НС) можуть використовуватися як ретрансляційна мережа, для дистанційного зондування Землі, наукових місій, екологічного моніторингу, прогнозу землетрусів, дослідження іоносфери, у тому числі польотів до інших планет.

Незалежно від того, яка система стабілізації й орієнтації буде використовуватися, для її роботи необхідно одержати сигнали управління. Таке завдання вирішується як правило за допомогою інерційних систем [1].

Інерція є найбільш універсальним фактором, що дозволяє створити прилади для реєстрації зміни швидкості тіл у просторі. Такі прилади, названі акселерометрами або датчиками прискорень, дозволяють вимірювати проекцію на свою вісь чутливості прискорення тієї точки НС, де він встановлений. Акселерометр реагує тільки на сили, що прикладаються за посередництвом НС. Якщо одна зі складових загальної сили, що визначає прискорений рух НС, обумовлена дією тяжіння, то відповідна їй складова прискорення не може бути виміряна акселерометром. Сили тяжіння діють однаково як на прилад, так і на НС і тому при відсутності інших сил за допомогою акселерометра не можуть бути виявлені.

Таким чином, при русі НС у полі тяжіння вимірюване акселерометром прискорення відрізняється від дійсного й тому одержало назву *гаданого прискорення*. Вимір гаданого прискорення дозволяє визначити дійсне положення НС щодо центру тяжіння

Для управління необхідно знати три ортогональні складові вектора гаданого прискорення центру маси НС, тобто мати три датчики, встановлені у центрі маси НС, із трьома взаємно перпендикулярними осями чутливості. Ці осі чутливості повинні бути орієнтовані по тім осям координат, у яких заданий вектор положення центру маси НС щодо центру тяжіння  $R$ . Триєдр осей чутливості акселерометрів являє собою *осі вимірювальної системи*, а осі, у яких заданий вектор  $R$  – *інерційний координатний базис*, тобто базис, щодо якого відлічується абсолютне прискорення. Осі інерції (або осі форми) НС не збігаються з інерційним базисом, а обертаються щодо нього залежно від

напрямку вектора швидкості центру маси НС. Отже, для управління за допомогою виміру гаданих прискорень або *інерційного управління* необхідно або сполучати осі вимірювальної системи з інерційним координатним базисом незалежно від руху НС, або в кожний момент часу знати взаємне розташування осей вимірювальної системи й інерційного базису. В останньому випадку складові вектора гаданого прискорення з осей вимірювальної системи повинні бути перепроєктовані на осі інерційного координатного базису [2].

Таким чином, технічна реалізація методу інерційного управління можлива у двох варіантах. Перший – за допомогою пристроїв, які не обертаються разом із НС і, зберігаючи своє положення відносно інерційного базису, служать опорою для вимірювальної системи. Другий варіант – за допомогою пристроїв, які забезпечують обчислення параметрів, що визначають кути між осями вимірювальної системи й інерційного базису, а також проектування вимірюваних компонентів прискорення на осі цього базису.

Перший варіант вимагає наявності приладів, що фізично моделюють інерційний базис на борті НС, – гіростабілізованих платформ, другий – використання безплатформових систем.

При реалізації платформових систем забезпечення необхідної надійності й збільшення точності виявилось пов'язаним зі значним ростом маси й габаритів платформ, негативною є і їх чутливість до великих перевантажень і кутів обертання, що характерно для НС. Тому безплатформні інерційні системи (БІС), завдяки наявності сьогодні високошвидкісних обчислювальних пристроїв у мініатюрному виконанні, займають лідируюче положення при створенні нових систем управління об'єктами, для яких є критичними ваго-габаритні показники таких систем [2, 3].

При автоматизації системи стабілізації насамперед вирішується завдання демпфірування коливань НС, що виникають при зміні програми польоту й дії зовнішніх збурень.

Теорія повністю автоматизованої системи стабілізації, як і будь-якої системи автоматичного управління, містить математичний опис руху НС, який розглядається як об'єкт управління. Центральним завданням цієї теорії є обґрунтування вибору законів управління, тобто співвідношень, що зв'язують різницю між вимірюваними поточними й програмними значеннями параметрів руху НС із командами на органі управління. Закони управління в сучасних системах стабілізації НС, крім забезпечення точності, стійкості й певного характеру перехідного процесу в системі, повинні екстремізувати певні критерії [2].

У безплатформних системах стабілізації (БСС) зв'язок між інерційним і вимірювальним базисами виражається в процесі обчислень через параметри, які не можуть безпосередньо служити параметрами управління.

Специфіка БСС відносно математичного опису об'єкта стабілізації полягає в тому, що рівняння руху НС повинні бути записані через вимірювані датчиками параметри й через параметри зв'язку. Це спрощує замикання систем рівнянь стабілізації. І ще одна особливість БСС – необхідність розробки методів синтезу алгоритмів, що забезпечують обчислення параметрів зв'язку в

реальному часі, а також аналізу системи помилок, що супроводжують ці обчислення.

У цілому розробку БСС доцільно будувати таким чином, щоб незважаючи на її специфіку математичний опис окремих частин системи дозволив би при виборі закону управління використовувати ефективні й добре розроблені загальні методи теорії автоматичного управління й, зокрема, методи, які застосовуються в платформних системах. Саме для цього необхідно визначити метод, що дозволяє одержати сигнали управління, які забезпечують роботу виконавчих органів систем орієнтації й стабілізації положенням НС [2].

Первинна інформація про параметри кутового руху НС відповідно до законів механіки може бути отримана у вигляді прискорення крапки установки вимірювального приладу або інтегралів цього прискорення. Необхідно відзначити, що на будь-якому об'єкті, що рухається, можна безпосередньо (без зв'язку з іншими тілами) виміряти лише прискорення. Усі інші величини, що знімаються з датчиків, являють собою інтеграли від прискорення. З позицій загального компоновання функціональної схеми БСС, а також для зручності формування вимог по точності доцільно розбити її на три підкласи залежно від співвідношення величин, які безпосередньо вимірюються й обчислюються [2]:

- системи, де вимірюються тільки лінійні прискорення, а всі інші параметри обчислюються;

- системи, де вимірюються, крім лінійних параметрів, і кутові швидкості;

- системи, де вимірюються будь-які параметри, включаючи й кути Ейлера.

*Система на основі датчиків лінійних прискорень.*

Для того щоб обчислити параметри кутового положення НС, необхідно знати його кутову швидкість відносно інерційного базису.

Для вимірювання кутової швидкості використовуються акселерометри з інтегральним виходом. Максимальна точність таких приладів характеризується помилкою близько 0,001% масштабного коефіцієнта [4]. Отже, помилка на одному такті обчислень кутової швидкості буде порядку  $10^{-4} \text{ c}^{-1}$  для плеча довжиною 1 м. При величині кроку дискретності 0,1 с помилка обчислень уже за 2-3 хвилини накопичується до величин, порівнянних з вимірюваними значеннями, що приводить до необхідності мати датчик з нестабільністю масштабного коефіцієнта не більш  $10^{-6}\%$ , на що розраховувати навіть у перспективі важко. Таким чином, система на основі одних датчиків лінійних прискорень поки представляє лише теоретичний інтерес.

*Система з виміром лінійних прискорень і кутової швидкості.*

Усі існуючі й перспективні високоточні датчики лінійних прискорень і кутових швидкостей дозволяють одержувати інформацію тільки у вигляді приросту інтегралів від названих параметрів, тобто, по суті, є датчиками приросту лінійної швидкості й кутів обертання НС. Але такі параметри, як лінійне прискорення й кутова швидкість, мають набагато більш глибокий фізичний зміст, ніж приріст їх інтегралів. Тому в цьому випадку можна говорити про існування двох методів:

- будувати математичний апарат паралельно для безпосередньої й інтегральної форми знімання інформації з вимірювальної системи;

- при розв'язку теоретичних питань вважати, що інформація про параметри руху доступна в дійсній розмірності останніх, а практично інтегральний її характер урахується при розробці конкретних алгоритмів побудови інерційного координатного базису (ІКБ).

Для обчислення параметрів руху НС необхідно знати вектор прискорення його центру маси й вектор кутової швидкості обертання біля центру маси. Таким чином, вимірювальна система повинна мати, мінімум три датчики лінійних прискорень і три датчики кутової швидкості.

*Система на основі датчиків, що вимірюють кути Ейлера.*

Відлік кутів Ейлера проводиться від інерційного базису, тому його фізичне моделювання є неминучим. Однак у цьому випадку на відміну від звичайних платформних систем моделюються тільки вимірювальні осі, а не платформа для розміщення датчиків лінійних прискорень. Таким чином, для одержання інерційних компонентів вектора швидкості необхідно вимірювання, які здійснюються відносно зв'язаної системи координат, перераховувати до ІКБ.

Перевагою подібної системи є економія обчислювальних ресурсів при аналітичній побудові інерційного базису. Значним недоліком є обмеження максимальних кутів повороту й припустимих перевантажень через наявність вільних гіроскопічних систем на борті НС. Система з виміром кутів Ейлера може розглядатися як граничний випадок між платформним і безплатформним варіантами: по наявності фізичних моделей ІКБ на борті цю систему можна віднести до категорії звичайних інерційних, а по характеру розташування датчиків прискорення – до категорії безплатформних систем.

Відзначений недолік системи з вільними гіроскопічними приладами на теперішньому етапі розвитку інерційних систем управління зводить до мінімуму переваги БІС. Дійсно, у порівнянні з гіростабілізованою платформою зберігається перевага в забезпеченні надійності, а також у можливості використовувати датчик прискорення більших ваг і габаритів. Недоліком є необхідність мати на борті потужний обчислювач, що збільшує до того ж сумарну помилку побудови ІКБ.

Тому при побудові системи стабілізації НС для одержання керуючої інформації доцільно використовувати системи з виміром лінійних прискорень і кутової швидкості.

## Література

1. Лисенко О.І., Явіся В.С. Аналіз методів отримання сигналів управління для систем орієнтації та стабілізації наносупутника // Науковий журнал «Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки». – Херсон: Гельветика. – 2017. – Т. 28 (67), № 2. – С. 31-37.
2. Лебедев Р. К. Стабилизация летательного аппарата бесплатформенной инерциальной системой. – М.: Машиностроение, 1977. – 144 с.
3. Гуцин В.Н. Основы устройства космических аппаратов. – М.: Машиностроение, 2003 г. – 272 с.
4. Литвин М.А., Малюгина А.А., Миллер А.Б. Типы ошибок в инерциальных навигационных системах и методы их аппроксимации // Информационные процессы. – 2014. – Том 14. – № 4. – С. 326–339.