

Розміри лабораторного стенду: діаметр – 145 мм; висота – 150 мм. Діаметр обертової платформи – 100 мм. Параметри платформи (момент інерції біля $180 \cdot 10^{-6} \text{ кг м}^2$) мають найбільший вплив на динамічні властивості стенду. Для підвищення динамічних властивостей стенду можливе розміщення датчиків безпосередньо на площині (біля $7,5 \text{ см}^2$) кінцевого валу (момент інерції біля $20 \cdot 10^{-6} \text{ кг м}^2$) без використання платформи.

Ключові слова: мікромеханічні датчики, гіроскопи, акселерометри, обертова платформа, лабораторний стенд, електромеханічні засоби автоматики.

УДК 681.200

АНАЛІЗ ШВИДКОДІЇ АЛГОРИТМІВ БЕЗПЛАТФОРМЕННИХ ІНЕРЦІАЛЬНИХ СИСТЕМ ОРІЄНТАЦІЇ

Сапегін О.М., Яковенко В.А.

Національний технічний університет України

“Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”, Київ, Україна

E-mail: sapegin_a@ukr.net

Безплатформенні інерціальні навігаційні системи (БІНС) є основою навігаційного забезпечення широкого призначення. БІНС є універсальним джерелом інформації про поточну орієнтацію і розташування рухомого об'єкта.

Для роботи БІНС необхідно створити математичний апарат, який дозволяє описати орієнтацію системи координат (СК), пов'язаної з об'єктом щодо опорної СК. В рамках БІНС цю задачу виконує підсистема, яку називають безплатформенною інерційною системою орієнтації (БІСО).

В ході своєї роботи БІСО розраховує кінематичні параметри орієнтації, пов'язаної СК. Це можуть бути кути орієнтації Ейлера-Крилова, матриця направляючих косинусів (рівняння Пуассона), кватерніон повороту, вектор орієнтації Ейлера кінцевого повороту. Алгоритми БІСО використовують в якості вхідних величин проекції абсолютної кутової швидкості пов'язаної СК, виміряні датчиками кутової швидкості БІНС. На основі проекцій кутової швидкості формуються кінематичні рівняння, які після інтегрування визначають поточну орієнтацію об'єкта відносно пов'язаної СК.

Використання рівняння Ейлера найбільш наочне і просте у використанні, проте воно вироджується при складних еволюціях об'єкту, тому у роботі досліджувалися кватерніонне рівняння орієнтації, як найбільш поширене та кінематичне рівняння Пуассона.

Кінематичні рівняння орієнтації, незалежно від обраних кінематичних параметрів, мають диференціальну форму. Вони формуються по дискретним сигналам, що надходять з датчиків кутової швидкості НС. Для знаходження поточної орієнтації об'єкта потрібно організувати процедуру їх чисельного

інтегрування. Вибір алгоритму інтегрування значно впливає на точність і швидкодію БІСО, тому під час проектування він потребує найбільшої уваги.

$$\frac{dC^{SP}}{dt} = C^{SP} \cdot (\omega_P^{PS} \times), \quad (1)$$

де C^{SP} – матриця напрямних косинусів (МНК) між нерухомою системою координат S і системою координат P , пов'язаної з рухомим об'єктом; ω_P^{PS} – вектор кутової швидкості рухомої системи координат відносно нерухомої.

Права частина цього матричного диференціального рівняння має вигляд

$$Z(t, C^{SP}) = C^{SP} (\omega_P^{PS} \times) \quad (2)$$

Алгоритми методів Рунге–Кутти використовують інформацію про виміряні значення вектору кутової швидкості основи.

Всі алгоритми Рунге–Кутти проводять інтегрування рівняння Пуассона (1) відповідно до формули

$$C_{N+1}^{SP} = C_N^{SP} + H \cdot F(t_N, C_N^{SP}),$$

де N – номер попереднього моменту часу інтегрування t_N ; C_N^{SP} – значення МНК в поточний момент часу; C_{N+1}^{SP} – значення МНК в момент часу через крок інтегрування; $F(t_N, C_N^{SP})$ – деяка функція значень правої частини рівняння (1).

Хоча кінематичне рівняння руху Пуассона досить просто отримати для заданої кінематики руху, проте їх використання часто не вигідно через надмірну складність математичних моделей, а отже і навантаження на бортовий комп'ютер.

Ці проблеми можна частково вирішити перейшовши до іншого способу опису кінематики рухомого об'єкта у просторі – використання кватерніонів поворотів. Векторне рівняння орієнтації у кватерніонах представлено нижче.

$$\frac{dQ^{SP}}{dt} = \frac{1}{2} Q^{SP} \circ \Omega_P^{PS} \quad (3)$$

де Q^{SP} – кватерніон повороту між нерухомою системою координат S і системою координат P , пов'язаної з рухомим об'єктом; Ω_P^{PS} – вектор-кватерніон із проєкцій кутової швидкості рухомої системи відліку P .

Вектор Ω_P^{PS} визначається з проєкцій вектору кутової швидкості ω_P^{PS} обертання системи P відносно системи S :

$$\Omega_P^{PS} = \mathbf{1}_P \cdot \omega_{1P}^{SP} + \mathbf{2}_P \cdot \omega_{2P}^{SP} + \mathbf{3}_P \cdot \omega_{3P}^{SP}$$

Права частина цього векторного диференціального рівняння (3) має вигляд

$$Z(t, Q^{SP}) = Q^{SP} (\Omega_P^{PS} \times) \quad (4)$$

Для створення систем низької точності, побудованих з використанням мікро-електромеханічних датчиків, застосовуються, як правило, методи чисельного інтегрування широкого призначення. Зазвичай в літературі по алгоритмам БІСО наводяться синтез дискретних алгоритмів інтегрування і

аналізується їх точність. Однак, для побудови реальних систем має велике значення швидкодія створених алгоритмів.

Було досліджено швидкодію найпопулярніших методів чисельного інтегрування кватерніонного рівняння і кінематичного рівняння Пуассона.

За методом прямокутників отримали: матриця Пуассона - 54 операції на такт; кватерніонне рівняння - 36 операцій на такт.

За методом трапецій: матриця Пуассона - 109 операцій на такт; кватерніонне рівняння - 73 операції на такт.

За методом Рунге-Кутти 2-го порядку: матриця Пуассона - 81 операція на такт; кватерніонне рівняння - 48 операцій на такт.

За методом Рунге-Кутти 4-го порядку: матриця Пуассона - 155 операцій на такт; кватерніонне рівняння - 82 операції на такт.

Ключові слова: алгоритми БІНС, швидкодія, метод Рунге-Кутти.

УДК 519.688

ПРО ЕФЕКТИВНІСТЬ ОБРОБКИ ДІАГНОСТИЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ ДЛЯ БАГАТОКЛАСОВОЇ ДІАГНОСТИКИ СКЛАДНОЇ ОБЕРТОВОЇ СИСТЕМИ

Паздрій О. Я.

Національний технічний університет України

“Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”, Київ, Україна

E-mail: olgapazdri@gmail.com

У роботі продовжується попередні дослідження та вдосконалення віброакустичної функціональної діагностики складної обертової системи, наприклад авіаційного газотурбінного двигуна під час його експлуатації.

Основним завданням моніторингу є багатокласова діагностика початкових несправностей системи в стаціонарному та нестаціонарному режимах. Важливим етапом моніторингу виступає обробка діагностичної інформації (ДІ) з метою виявлення ознак несправностей. В якості ДІ використовується низькочастотна вібрація та акустичний шум у діапазоні 0-10 кГц, результати обробки таких сигналів часто досить складні для інтерпретації, порівняння та прийняття рішення про технічний стан обертової системи.

У роботі пропонується застосування декілька рівнів обробки ДІ, заснованої на різних методах, з метою виявлення ознак несправностей та підвищення їх діагностичної цінності. Застосування вейвлет аналізу та безрозмірних пікових характеристик віброакустичних сигналів у [1], а також частотно-часовий аналіз та фрактальний аналіз (ФА) у [2] показали ефективність багаторівневої системи обробки віброакустичних сигналів для діагностики невеликих тріщиноподібних дефектів в лопатках обертової системи. У цій роботі ми пропонуємо застосувати біспектральний аналіз (БА) для обробки вібраційних сигналів на першому рівні обробки сигналу та ФА біспектральних контурних зображень на