

ТЕОРІЯ ТА ПРАКТИКА СУЧАСНОГО ПРЕЦИЗІЙНОГО ПРИЛАДОБУДУВАННЯ

УДК 621.317

ДОСЛІДЖЕННЯ ПОВЕДІНКИ ДИНАМІЧНО-НАСТРОЮВАНОВОГО ГРАВІМЕТРА ЗА ДОПОМОГОЮ ЦОМ

*Безвесільна О.М., Киричук Ю.В., Нечай С.О. Національний технічний університет України
“Київський політехнічний інститут”, м.Київ, Україна*

Дослідження за допомогою ЦОМ поведінки динамічно-настроювального гравіметра при впливі на нього збурюючих факторів різного характеру (частоти, амплітуди) і виявлення найбільш небезпечних режимів його роботи

Вступ. Постановка задачі

Викладені в статті результати сприяють вирішенню науково-технічної проблеми, що має важливе народногосподарське значення, - підвищення точності і швидкодії авіаційної гравіметричної системи з використанням динамічно-настроюваного гравіметра з цифровою обробкою інформації.

Математичну модель авіаційної гравіметричної системи на базі динамічно-настроювального гравіметра було отримано в роботі [1], а також розроблені методи оцінки та автокомпенсації похибок [2, 3]. Порівняльний аналіз отриманих результатів з існуючими світовими розробками [4 - 6] довели можливість створення авіаційної гравіметричної системи на базі динамічно-настроювального гравіметра на рівні світових аналогів. Виникла необхідність дослідити отриману попередньо математичну модель динамічно-настроювального гравіметра спочатку за допомогою цифрової обчислювальної машини (ЦОМ), а потім, створивши макет приладу, дослідити його експериментально.

Застосування ЦОМ для вирішення прикладних задач дає можливість попередньо, на стадії проектування, оцінити характер поведінки розроблювального пристрою шляхом дослідження чисельними методами його уточненої математичної моделі. Це, у низці випадків, дозволяє обійтись без створення макетних зразків і, тим самим, скоротити час від початку проектування до випуску промислових виробів. Основна вимога при проведенні моделювання - найбільш повна і точна відповідність використаної при розрахунках математичної моделі майбутній реальній конструкції.

Метою цього дослідження є дослідження за допомогою ЦОМ поведінки динамічно-настроювального гравіметра (ДНГ) при впливі на нього збурюючих факторів різного характеру (частоти, амплітуди) і виявлення найбільш небезпечних режимів його роботи.

У рамках цього дослідження необхідно вирішити наступні задачі:

- отримати рівняння руху гравіметра зі змінними коефіцієнтами та перетворити до виду, зручного для моделювання;
- розробити алгоритм та програму розрахунку на ЦОМ і одержати графіки, що відображають характер поведінки гравіметра для різних значень частот і амплітуд збурюючих факторів;
- провести аналіз отриманих результатів моделювання, виявити найбільш небезпечні режими роботи гравіметра і визначити оптимальні значення його власних параметрів.

1. Приведення рівняння руху до вигляду, зручному для моделювання

Для вирішення поставленої задачі скористаємось рівнянням ДНГ, яке з урахуванням моментів перешкод і позначень запишемо у вигляді:

$$I\ddot{\alpha} + f\dot{\alpha} + k\alpha = -ml(g + W'_{AZ}) - ml(W'_{AX} \sin \dot{\gamma}t - W'_{AY} \cos \dot{\gamma}t)\alpha + \\ + M(\omega_{XO} \sin \dot{\gamma}t - \omega_{YO} \cos \dot{\gamma}t) - I_X(\omega_X \cos \dot{\gamma}t - \omega_{YO} \sin \dot{\gamma}t) - N\alpha\omega_{ZO}. \quad (1)$$

Поділивши всі члени рівняння (1) на k і зробивши групування, одержимо

$$T^2\ddot{\alpha} + 2\xi T\dot{\alpha} + (K + D \sin \dot{\gamma}t + E \cos \dot{\gamma}t)\alpha = A + B \sin \dot{\gamma}t + C \cos \dot{\gamma}t, \quad (2)$$

де $T^2 = \frac{I}{k}$, $\xi = \frac{f}{2kT}$, $A = -mlk^{-1}(g + W'_{AZ})$, $B = (M\omega_{XO} + I_X\dot{\omega}_{YO})k^{-1} \sin \dot{\gamma}t$,
 $C = -(M\omega_{YO} + I_X\dot{\omega}_{XO})k^{-1} \cos \dot{\gamma}t$, $D = mlk^{-1}W'_{AX} \sin \dot{\gamma}t$, $E = -mlk^{-1}W'_{AY} \cos \dot{\gamma}t$,
 $K = 1 + N\omega_{ZO}$.

Отриманий вираз (2) з періодичними коефіцієнтами візьмемо як вихідний для складання алгоритму розрахунку. Позначимо $\alpha = y_1$, $\dot{\alpha} = y_2$ і приведемо рівняння (2) до форми Коші

$$\begin{cases} \frac{dy_1}{dt} = y_2, \\ \frac{dy_2}{dt} = \{AW(t) + (B \sin \dot{\gamma}t + C \cos \dot{\gamma}t)\omega(t) - 2\xi Ty_2 - \\ - [K + (D \sin \dot{\gamma}t + E \cos \dot{\gamma}t)\omega(t)]y_1\}T^{-2}, \end{cases} \quad (3)$$

де позначимо $W(t)$ і $\omega(t)$ - вхідні впливи.

Для інтегрування системи рівнянь (3) застосуємо метод Рунге-Куты IV порядку. При цьому інтегрування здійснюється за допомогою кінцево-різницевої формули

$$y_1(\tau + h) = y_1(\tau) + \frac{1}{6}(k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4),$$

$$y_2(\tau + h) = y_2(\tau) + \frac{1}{6}(n_1 + 2n_2 + 2n_3 + n_4),$$

де h - крок інтегрування,

$$\begin{aligned}
 k_1 &= hy_1, & k_2 &= h\left(y_1 + \frac{1}{2}k_1\right), & k_3 &= h\left(y_1 + \frac{1}{2}k_2\right), & k_4 &= h\left(y_1 + \frac{1}{2}k_3\right), \\
 n_1 &= -h(F(v\tau) - 2\xi T y_2 - P y_1), \\
 n_2 &= -h\left\{F\left[v\left(\tau + \frac{h}{2}\right)\right] - 2\xi T\left(y_2 + \frac{1}{2}n_1\right) - P y_1 + \frac{1}{2}n_1\right\}, \\
 n_3 &= -h\left\{F\left[v\left(\tau + \frac{h}{2}\right)\right] - 2\xi T\left(y_2 + \frac{1}{2}n_2\right) - P y_1 + \frac{1}{2}n_2\right\}, \\
 n_4 &= -h\left\{F[v(\tau + h)] - 2\xi T(y_2 + n_3) - P y_1 + n_3\right\}, \\
 F &= A + B \sin \dot{\gamma} + C \cos \dot{\gamma}, \\
 P &= K + D \sin \dot{\gamma} + E \cos \dot{\gamma}.
 \end{aligned}$$

Відповідно до розробленого алгоритму, складено програму мовою програмування "C++".

Дослідження будемо проводити при гармонійно змінному вхідному впливі, що має вигляд

$$W[t] = a \sin(\omega t + \varphi),$$

де a - амплітуда синусоїди, ω - частота, φ - початкова фаза.

В машинних змінних вигляд вхідного впливу буде

$$r[0] = A \sin(W \cdot it + fi).$$

Для розрахунків прийемо наступні значення параметрів вхідного впливу і коефіцієнта заспокоєння:

амплітуди

- лінійного прискорення $G, X, Y, Z, \text{ м}\cdot\text{с}^{-2}$	$- 10^{-6}; 10^{-4}; 10^{-2}; 1,0,$
- кутової швидкості $\Omega_x, \Omega_y, \Omega_z, \text{ с}^{-1}$	$- 10^{-5}; 10^{-4}; 10^{-3}; 10^{-2},$
- кутового прискорення $\Omega_x, \Omega_y, \text{ с}^{-2}$	$- 10^{-4}; 10^{-3}; 10^{-2}; 1,0,$
- частоти $\omega, \text{ с}^{-1}$	$- 0,001; 0,1; 1; 20; 180,$
- коефіцієнта ζ	$- 0,1; 0,4; 0,7; 1,0.$

2. Аналіз результатів моделювання

Для можливості співставлення результатів моделювання з теоретичними, дослідження на ЦОМ проводились по тій же схемі: визначалася реакція гравіметра по кожному збурюванню окремо і при спільному їхньому впливі. Відповідно до цього проведемо аналіз.

2.1. Вплив прискорення уздовж осі чутливості

Аналіз результатів дозволив зробити наступні висновки:

1. На частоті 0.5 с^{-1} (частота збурювання ω значно менше частоти власних коливань ω_0) для будь-яких значень коефіцієнта ζ спостерігаються гармонійні коливання з частотою ω . При цьому зі збільшенням ζ відбувається зменшення амплітуди цих коливань;

2. На частоті $\omega = \omega_0 = 20\text{с}^{-1}$ при $\zeta = 0.1$ спостерігається спочатку ріст коливань, що переходять потім у сталі. При $\zeta = 0.7$ і 1.0 коливання практично одразу встановлюються. Як і в першому випадку, зі збільшенням ζ зменшується амплітуда коливань.

3. На частоті $\omega = 180\text{с}^{-1}$ тобто $\omega \gg \omega_0$ при $\zeta = 0.1$, спочатку відбуваються биття з частотою ω_0 і поступово коливання переходять у сталі. При $\zeta = 0.7$ цей процес відбувається швидше.

4. Збільшення амплітуди вхідного впливу викликає пропорційний зріст вихідного сигналу гравіметра.

2.2. Вплив кутових прискорень

Реакція гравіметра на кутові рухи основи для різних частот і амплітуд і для різних значень ζ дозволяє зробити наступні висновки:

1. Вплив з частотою $\omega = 1\text{с}^{-1}$ призводить до появи коливань з тією ж частотою, модульованих коливаннями з частотою $\dot{\gamma} = 180\text{с}^{-1}$.

2. На частоті $\omega = 20\text{с}^{-1}$ при $\zeta=0.7$ спочатку спостерігається невеликий сплеск, а потім характер поведінки гравіметра такий же, як і в першому випадку.

3. На частоті $\omega = 180\text{с}^{-1}$ поведінка така ж на тій же частоті, але, на відміну від останнього, з'являється зсув сталих коливань від нульового положення.

4. Збільшення амплітуди збурювання веде до збільшення амплітуди коливань частотою $\dot{\gamma}$.

Таким чином, кутові збурювання гармонійного характеру модулюють корисний сигнал частотою $\dot{\gamma}$ і викликають зсув сталих коливань від нульового положення.

2.3. Вплив перехресних лінійних прискорень

На підставі отриманих даних можна зробити наступні висновки:

1. Збурювання малої частоти ($\omega \ll \omega_0$) викликають появу коливань ротора тієї ж частоти, модульованих частотою $\dot{\gamma}$. При цьому, зі збільшенням амплітуди збурювань зростає і амплітуда коливань з частотою $\dot{\gamma}$. Амплітуда вихідних коливань з частотою ω при цьому практично не змінюється. Зі збільшенням коефіцієнта демпфірування ζ амплітуда вихідних коливань з частотою ω і $\dot{\gamma}$ зменшується.

2. Впливи з частотою $\omega = \omega_0$ при малому значенні коефіцієнта ζ викликають появу модульованих коливань зі зростаючою амплітудою в початковий період часу ($t \approx 2$ і при $\zeta=0.1$), які потім переходять у сталі. Зі збільшенням ζ коливання практично відразу встановлюються ($t=0.4\text{с}$ при $\zeta=0.7$).

3. На частоті $\omega = \dot{\gamma}$ спочатку спостерігається биття з частотою ω_0 . При $\zeta=0.1$ коливання переходять у сталі через 2с , а при $\zeta=0.7$ - через $0,4\text{с}$.

4. В усіх випадках спостерігається зсув сталих коливань від нульового положення, який залежить від частоти й амплітуди збурювання, а також від значення коефіцієнта ζ .

2.4. Спільна дія прискорень

З аналізу залежності вихідного сигналу гравіметра для даного випадку, впливає:

1. На малих частотах збурювання спостерігаються коливання, модульовані частотою $\dot{\gamma}$, амплітуда яких залежить від амплітуди вхідного впливу.

2. На частоті $\omega = \omega_0$ і $\xi = 0,1$ спостерігається спочатку ріст коливань модульованих частотою $\dot{\gamma}$, які потім приймають сталі значення.

3. На частоті $\omega \gg \omega_0$ при $\xi = 0,7$ спостерігаються биття модульованих коливань. При цьому також спостерігається зсув сталих коливань від нульового положення.

Висновки

Внаслідок проведених досліджень отримано наступні результати:

1. Перетворено до машинного виду отримане рівняння ДНГ, розроблено алгоритм і складено програму досліджень на ЦОМ.

2. Проведено дослідження на ЦОМ поведінки ДНГ і визначено його реакцію на зовнішні впливи для різних значень власних параметрів і параметрів збурювань:

- гармонійно змінюваний корисний сигнал викликає відповідні коливання ротора, амплітуда яких пропорційно зростає зі збільшенням амплітуди вхідного впливу і зменшується зі збільшенням коефіцієнта демпфірування;

- на низьких частотах ($\omega \ll \omega_0$) вхідний сигнал передається практично без його зміни, змінюється лише його амплітуда в залежності від ω і ξ ;

- на частотах, близьких до частоти власних коливань ω_0 і при малому ξ , спостерігається значний ріст амплітуди коливань;

- на частотах, близьких до частоти обертання ротора $\dot{\gamma}$ і при малих значеннях ξ виникають биття з частотою ω_0 ;

- наявність гармонійно змінюваних зовнішніх прискорень викликає появу модульованого частотою $\dot{\gamma}$ вихідного сигналу гравіметра, сталі коливання якого мають зсув щодо нульового положення, амплітуда їх пропорційна амплітуді вхідного впливу.

3. Показано, що найбільш несприятливим є випадок збігу частоти збурювання з частотою власних коливань і частотою обертання ротора.

Врахування отриманих результатів, при подальшому проєктуванні чутливого елемента (ДНГ) авіаційної гравіметричної системи, дозволить підвищити точність, швидкість обробки та аналізу інформації та підвищить конкурентоспроможність вітчизняних авіаційних гравіметричних систем.

Література

1. Безвесильная Е.Н., Литвиненко П.Л. Разработка математической модели авиационной гравиметрической системы // Исследование математических моделей АГС. Отчет НДР ДР 0195U000435. -К.НТУУ «КПІ», 1992. - 125с..

2. Безвесильная Е.Н. Разработка теории погрешностей оценивания состояния гирогравиметра с цифровой обработкой информации // Труды МНТК "Сучасні інформаційні і енергозберігаючі технології життєзабезпечення людини" (СИЕТ 6 -99), -Харків.-1999.- С. 43-48 .
3. Безвесильная Е.Н., Рябушко В.А., Бобруйко Е.И. Автокомпенсация погрешностей гироскопического интегратора линейных ускорений.// Международный научно-методич. семинар "Перспективы развития приборостроения", Славское.-2001.- С. 166-174.
4. Блинов И.А. Морская гравиметрическая съемка. - М.: ЦРИА. Морфлот, 1982. - 107с.
5. Воропаев Е.Г., и др. Гравиинерциальные измерительные приборы // Сб. научи, трудов.- Тула.: ТПИ, 1981. - 86с.
6. Яшаев И.Л., Багрянец В.О. Аэрогравиметрический комплекс "Гравитон" // Сб. докл. междунар. научно-техн. конф. «Морская гравиметрия – 93». - С.-Петербург.-1993. - С.21-23.

Безвесильная Е.Н., Киричук Ю.В., Нечай С.О. Исследования поведения динамически-настраиваемого гравиметра с помощью ЦВМ. Исследования с помощью ЦВМ поведения гравиметра при воздействии на него возмущающих воздействий разного характера (частоты, амплитуды) и выявление наиболее опасных режимов его работы.	Bezvesilinaya E.N., Kirichuk Y.V., Neshay S.O. Studies of the behaviour dynamic-adjusted gravimeter by means of EBM. The studies by means of EBM dynamic-adjusted gravimeter at influence upon it outraging factors of the miscellaneous of the nature (the frequencies, amplitudes) and discovery the most dangerous mode his work.
---	--

Надійшло до редакції
11 травня 2004 року

УДК 681.325

ГАРМОНІЙНИЙ АНАЛІЗАТОР СПЕКТРА

Лукашенко В.М., Лега Ю.Г., Лукашенко А.Г., Корпань Я.В., Лукашенко М.Г.
Черкаський державний технологічний університет, м.Черкаси, Україна

Запропоновано схему гармонійного аналізатора спектра для апаратурної реалізації прямого перетворення Фур'є з високою швидкістю та малою потужністю споживання.

Вступ. Постановка задачі

Спектральне представлення сигналів створюють в сукупності міцні й гнучкі засоби дослідження.

Практичне використання спектральних зображень неминує призводить до необхідності експериментального здійснення розкладення Фур'є, тобто до гармонійного аналізу.

Метод гармонійного аналізу дозволяє розпізнавати на початковому етапі виникнення несправності в приладах та системах керування.

Відомо [1], що перетворення Фур'є дає можливість виявити частоти, які знаходяться у деякому залежному від часу сигналі.

При умові $f(t < 0) = 0$ перетворення Фур'є набуває вигляду: