

УДК 621.317

О.М. Безвесільна, д.т.н., проф.
Національний технічний університет України “КПІ”
А.В. Коваль, аспір.
Житомирський державний технологічний університет

**ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ АНАЛІТИЧНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ
 ТА ЦИФРОВОГО МОДЕЛЮВАННЯ ДВОГІРОСКОПНОГО ГРАВІМЕТРА
 АВІАЦІЙНОЇ ГРАВІМЕТРИЧНОЇ СИСТЕМИ**

Представлено порівняльний аналіз аналітичного дослідження та цифрового моделювання двогіроскопного гравіметра авіаційної гравіметричної системи.

Постановка проблеми. Відомо, що експериментальним дослідженням передують цифрове моделювання. Тому побудова цифрової моделі роботи двогіроскопного гравіметра авіаційної гравіметричної системи є актуальною. Для оцінки адекватності такої моделі проведено її порівняльний аналіз із результатами аналітичних досліджень.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проведені дослідження стосуються одногіроскопних гравіметрів (ОГ) [1]. Для підвищення точності було запропоновано двогіроскопний гравіметр (ДГ) [2].

Мета роботи – провести порівняльний аналіз результатів цифрового моделювання з результатом аналітичного дослідження для ДГ.

Проведемо дослідження руху ДГ у різних динамічних режимах, ґрунтуючись на прецесійних рівняннях руху [3]:

$$\begin{aligned} H\dot{\beta} + c_1'\dot{\alpha} + k_1\beta &= -H\omega_x - H\omega_y\alpha; \\ -H\dot{\alpha} + c_2'\dot{\beta} - k_2\alpha &= -mlg - mlw_z + mlw_y\beta - H\omega_y\beta + H\omega_z, \end{aligned} \tag{1}$$

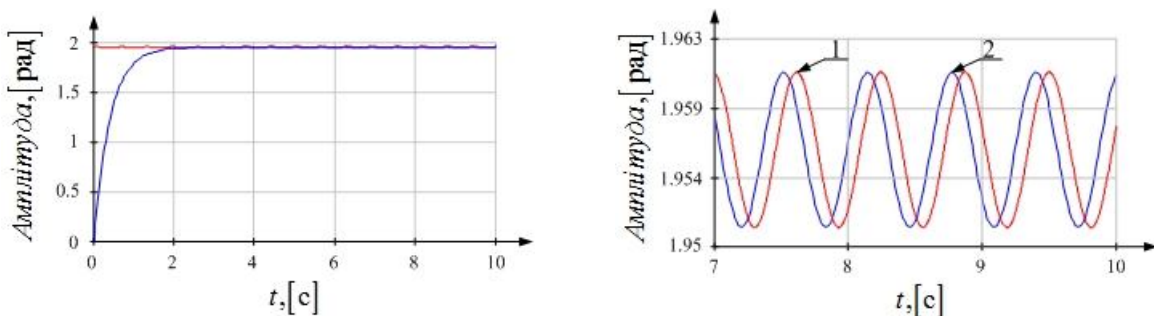
застосовуючи сучасне комп'ютерне та програмне забезпечення. Математично два однакових гіроскопи ДГ відрізняються знаками коефіцієнтів k_1, k_2 та кінетичного моменту H .

Зауважимо, що такий підхід дозволяє у повному обсязі дослідити систему (1). У програмному середовищі MathCad було обрано метод числового інтегрування системи (1) з адаптивним кроком інтегрування та наперед заданою точністю. Для ефективного використання середовища MathCad рівняння системи (1) були представлені у матричному вигляді:

$$M_1\dot{X} = M_2X + M_3,$$

де
$$X = \begin{pmatrix} \alpha \\ \beta \end{pmatrix}; M_1 = \begin{pmatrix} c_1' & H \\ -H & c_2' \end{pmatrix}; M_2 = \begin{pmatrix} -H\omega_y & -k_1 \\ k_2 & mlw_y - H\omega_y \end{pmatrix}; M_3 = \begin{pmatrix} -H\omega_x \\ -ml(g + w_z) + H\omega_z \end{pmatrix}.$$

Результати моделювання та аналітичних розрахунків для одного гіроскопа представлено на рисунках 1–5, для другого гіроскопа будуть аналогічними з протилежним знаком.



*Рис. 1. 1 – аналітичні розрахунки; 2 – цифрове моделювання.
 Праворуч – збільшений фрагмент лівого*

Результати моделювання можна розглядати як розв’язок з достатньо високою точністю, який визначає наявність перехідного інтервалу (до 3 с) та інтервалу усталеного розв’язку. На інтервалі усталеного розв’язку відхилення аналітичного розв’язку від точного незначне, тому результати його аналізу будуть відповідати реальному процесу роботи ДГ.

На рисунках 2, 3 представлено амплітуди усталених коливань кута прецесії точного та аналітичного розв’язку при різних амплітудах віброзміщень. При цьому треба мати на увазі, що амплітуди складових лінійного прискорення мають вигляд $A_{w_x}\omega^2, A_{w_y}\omega^2, A_{w_z}\omega^2$, тобто пропорційні квадрату частоти

віброміщень. Це призводить до того, що в кінцевому результаті амплітуда коливань кута прецесії збільшується із зростанням частоти збурень

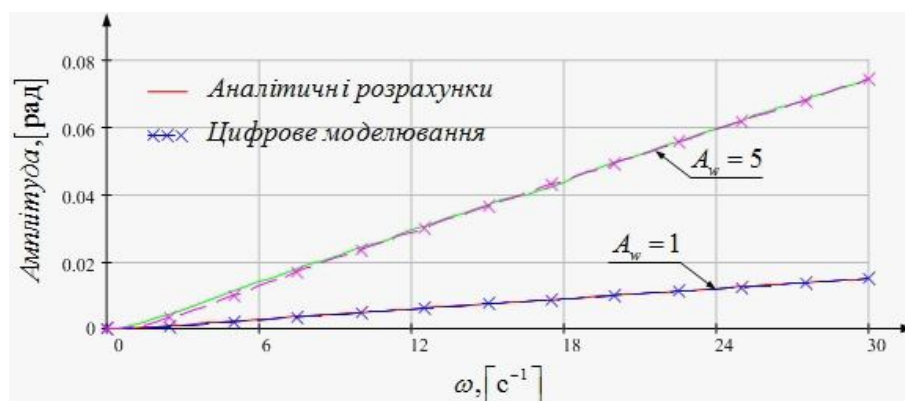


Рис. 2. Залежності амплітуди при параметрах збурень A_w при аналітичному та цифровому моделюванні

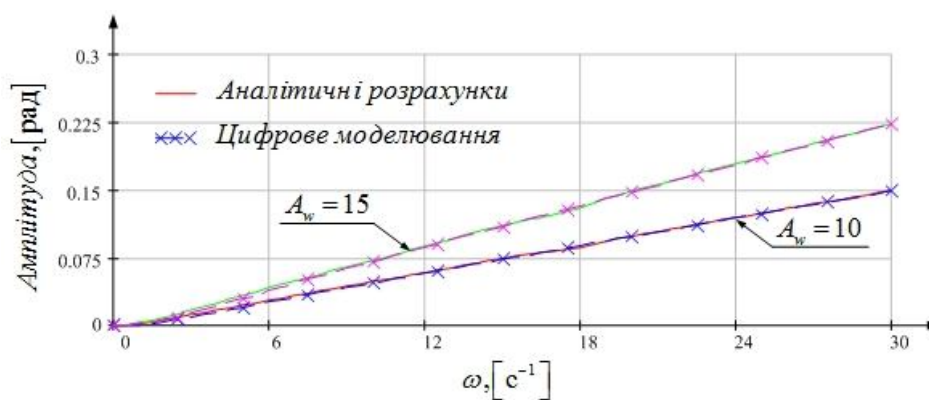


Рис. 3. Залежності амплітуди при параметрах збурень A_w при аналітичному та цифровому моделюванні

Якщо ж розглядати амплітуди лінійних прискорень w_a , w_b сталими, незалежними від ω , як це має місце при кутових коливаннях основи, то амплітуда коливань кута прецесії зменшуватиметься із зростанням ω (рис. 4, 5).

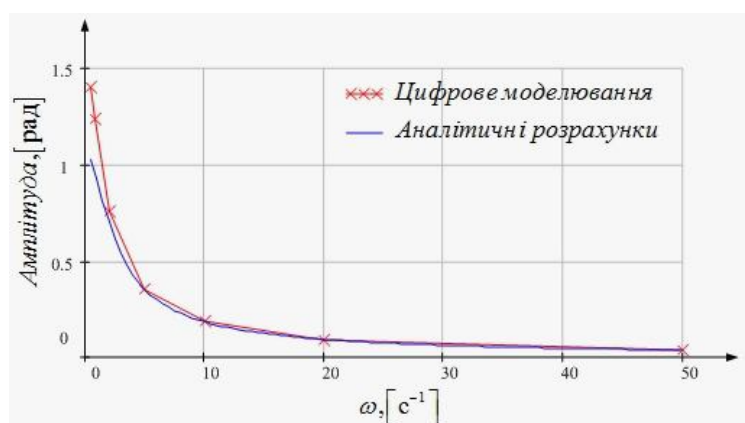


Рис. 4. Залежності амплітуди при параметрах збурень $w_a = 3$, $w_b = 3$, m/c^2

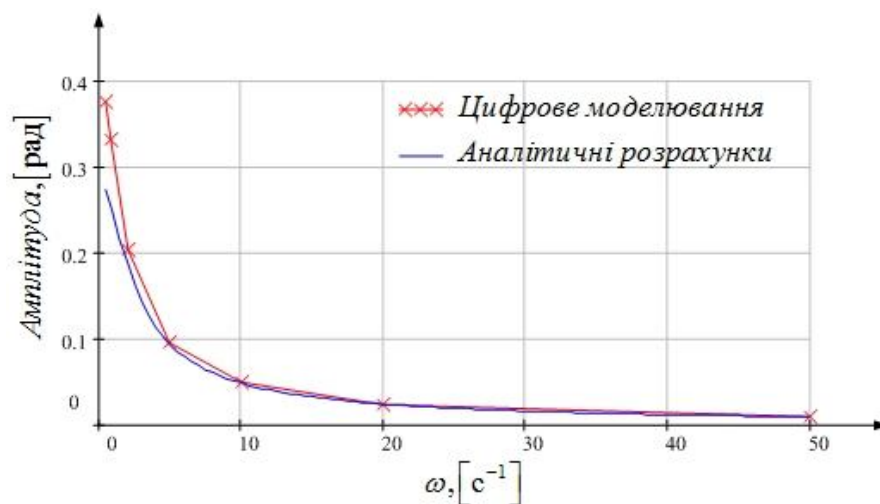


Рис. 5. Залежності амплітуди при параметрах збурень $w_a = 1$, $w_b = 3$, m/c^2

Сумарні усталені вимушені прецесійні коливання з двох акселерометрів фактично дорівнюють нулю ($\sim 10^{-15}$) (рис. 6).

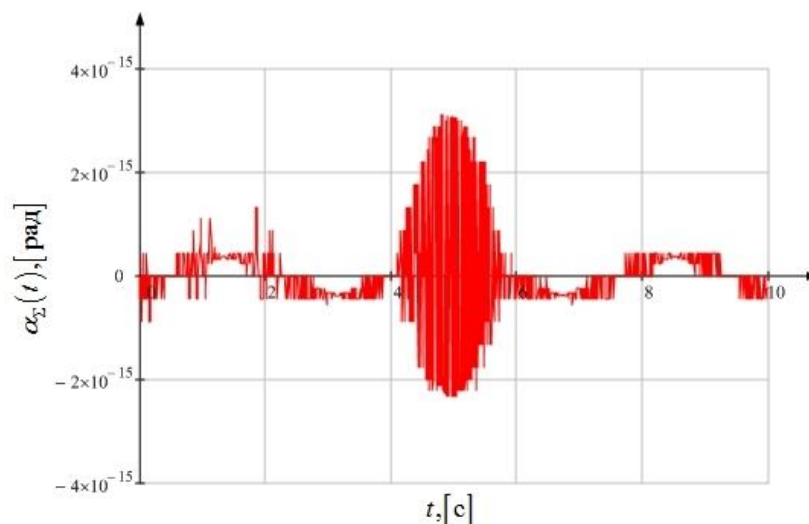


Рис. 6. Сумарний вихідний сигнал з двох акселерометрів

Висновки:

1. Порівняння аналітичних розрахунків із результатами числового моделювання свідчить про достатньо високу ступінь їх збіжності для широкого діапазону частоти збурень, особливо для $\omega \geq 5$. Як показують розрахунки, похибка таких відхилень не перевищує (0,1–0,2) %. Це дає підстави застосувати отримані аналітичні вирази амплітуд кута $\alpha(t)$ для знаходження імовірнісних оцінок амплітуд і частот вимушених коливань параметрів руху ДГ залежно від статистичних характеристик збурень.

2. Для побудови більш точних моделей роботи ДГ можна застосовувати цифрове моделювання з відповідними параметрами інтегрування системи рівнянь (1).

ЛІТЕРАТУРА:

1. Безвесільна О.М. Авіаційні гравіметричні системи та гравіметри : монографія / О.М. Безвесільна. – Житомир : ЖДТУ, 2007. – 604 с.
2. Безвесільна О.М. Двоканальна авіаційна гравіметрична система для вимірювання аномалій прискорення сили ваги / О.М. Безвесільна, А.В. Коваль // Вісник ЖДТУ / Технічні науки. – Житомир, 2009. – Вип. № 4 (51). – С. 115–119.
3. Безвесільна О.М. Динамічні похибки нового двогіроскопного гравіметра / О.М. Безвесільна, А.В. Коваль, Є.В. Гура // Вісник інженерної академії України. – Київ, 2010. – Вип. № 2. – С. 229–233.

БЕЗВЕСІЛЬНА Олена Миколаївна – Заслужений діяч науки і техніки України, доктор технічних наук, професор кафедри приладобудування Національного технічного університету України “КПІ”.

Наукові інтереси:

- гравіметричні системи та гравіметри;
- гіроскопічні прилади та системи;
- системи автоматизації;
- методи та прилади вимірювання механічних величин.

КОВАЛЬ Антон Валерійович – аспірант кафедри автоматизації і комп’ютеризованих технологій Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- гравіметричні системи та гравіметри;
- математичне моделювання;
- системи автоматизації.

Подано 26.08.2011

