

УДК 621.317

О.М. Безвесільна, д.т.н., проф.
Ж.М. Кондратюк, магістрант
Національний технічний університет України "КПІ"
А.А. Остапчук, аспір.
Житомирський державний технологічний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ НА ЕОМ ВПЛИВУ АМПЛІТУДНИХ ЗНАЧЕНЬ ВІБРОПРИСКОРЕНЬ ТА КОЕФІЦІЄНТА ДЕМФІВАННЯ НА РОБОТУ БАЛІСТИЧНОГО ГРАВІМЕТРА ПРИ РІЗНИХ ЗНАЧЕННЯХ ЧАСТОТ ЗБУРЕНЬ

У даній статті розглянуто моделювання впливу параметрів збурень на роботу нового балістичного гравіметра (БГ): перетворено диференціальні рівняння руху БГ зі змінними коефіцієнтами на рівняння "машинного" вигляду; розроблено алгоритм розв'язання диференціального рівняння руху БГ за допомогою ЕОМ; досліджено за допомогою ЕОМ вплив частот ω і амплітуд w_a, w_b , збурюючих віброприскорень для найнесприятливіших резонансних випадків; досліджено вплив на роботу приладу деяких параметрів БГ (відносного коефіцієнта демпфірування ξ).

Постановка проблеми. Відомо, що використання ЕОМ дає змогу зменшити, а в деяких випадках – цілком усунути необхідність проведення фізичних експериментів з реальними пристроями, набагато скоротити терміни, підвищити точність досліджень. На жаль, у відомій літературі [1–3 та інш.] по гравіметрії немає відомостей щодо дослідження на ЕОМ впливу параметрів віброприскорень на роботу балістичного гравіметра. У роботі [4] запропоновано новий тип БГ, який має деякі переваги перед відомими гравіметрами. У відомій літературі [1–3 та інш.] висвітлено окремі питання БГ. Однак, не зважаючи на значний обсяг досліджень в галузі БГ, залишається ряд невизначених питань стосовно досліджень на ЕОМ впливу параметрів збурень на роботу БГ.

Мета роботи: дослідити на ЕОМ вплив амплітудних значень збурюючих прискорень w_a, w_b та коефіцієнта демпфірування ξ на роботу нового БГ [4] при різних найбільш несприятливих співвідношеннях частоти власних коливань БГ ω_0 та частоти збурюючих віброприскорень ω .

Основна частина. Перетворимо рівняння руху БГ до вигляду зручного для моделювання на ЕОМ. Для цього скористаємося рівнянням руху БГ [1–3], записавши його у вигляді:

$$\ddot{\alpha} + \dot{\alpha}[2n - L \sin(\omega t + \varepsilon)] + \omega_0^2 \alpha = N \sin \omega t, \quad (1)$$

де $L = \frac{c'_1}{H^2} mlw_b$, $N = \frac{mlk_1}{H^2} w_a$ – параметри вібрації.

Вважаємо, що $M(t) = 2n - L \sin(\omega t + \varepsilon)$, $D(t) = \omega_0^2$, тоді

$$\ddot{\alpha} + \dot{\alpha} \cdot M(t) + D(t) \cdot \alpha = 0, \quad (2)$$

де $M(t)$ і $D(t)$ – Т-періодичні функції, причому $M(t)$ і $D(t)$ припускають інтегрованими кусково-неперервними.

Рівняння вигляду (2) без зміни характеристичних показників можна звести до аналогічного, де $M(t) = \text{const}$.

Нехай

$$\int_0^t M(t_1) dt_1 = \aleph t + M_1(t),$$

де $\aleph = 2n$; $M_1(t) = \int_0^t [M(t_1) - \aleph] dt = \frac{L}{\omega} \cos(\omega t + \varepsilon)$, причому функція $M_1(t)$ є Т-періодичною.

Замінюючи

$$\alpha = e^{-\frac{1}{2} M_1(t)} x = e^{-\frac{1}{2} \frac{L}{\omega} \cos(\omega t + \varepsilon)} x, \quad (3)$$

отримаємо

$$\ddot{x} + 2n\dot{x} + F(t)x = 0, \quad (4)$$

в якому

$$F(t) = D(t) - \frac{1}{4} M^2(t) - \frac{1}{2} \dot{M}(t) + \frac{1}{4} \aleph^2 = \omega_0^2 + \nu_0 \sin(\omega t + \varepsilon + \sigma_8), \quad (5)$$

де

$$\sigma_8 = \arctg \frac{\omega}{2n}, \quad v_0 = \frac{L\sqrt{\omega^2 + 4n^2}}{2}$$

Вираз (4) з урахуванням (1) і (5) можна записати у вигляді

$$\ddot{x} + 2n\dot{x} + [\omega_0^2 + v_0 \sin(\omega t + \varepsilon + \sigma_8)]x = N \sin \omega t \tag{6}$$

або, з урахуванням параметрів реальних БГ [2]: $N = 2 \cdot 10^{-3}$ кГмс, $k_1 = 5 \cdot 10^{-3}$ кГ м, $ml = 10^{-3}$ кГ с², $c_1' = 5 \cdot 10^{-5}$ кГ м с, $\varepsilon + \sigma_8 = 0$,

$$\ddot{x} + 2\xi\omega_0\dot{x} + (\omega_0^2 + v_1 w_b \sin \omega t)x = 0,625w_a \sin \omega t, \tag{7}$$

де $v_1 = \frac{v_0}{w_b}$.

Отже, рівняння руху БГ (1) перетворено на одне рівняння (7), зручне для моделювання на ЕОМ. Добуте рівняння є рівнянням типу Матьє-Хілла.

Результати моделювання на ЕОМ диференційного рівняння руху БГ

Дослідження роботи БГ в різних динамічних режимах здійснювали на ЕОМ.

Моделювання системи диференційного рівняння (7) здійснювали за допомогою пакета MathCad 13. Вихідні данні наводяться в табл. 1.

Таблиця 1

Основні співвідношення параметрів збурень і власних параметрів БГ

ω, c^{-1}	$v_1 \cdot 10^{-3}, \text{ рад}$															$T_{\max}, \text{ с}$	$H, \text{ с}$	
	W_{a^2}	W_{b^2}	ξ	W_{a^2}	W_{b^2}	ξ	W_{a^2}	W_{b^2}	ξ	W_{a^2}	W_{b^2}	ξ	W_{a^2}	W_{b^2}	ξ			
	М/с ²	М/с ²		М/с ²	М/с ²		М/с ²	М/с ²		М/с ²	М/с ²		М/с ²	М/с ²				
2,5	8,00	3	0,15	9,60	3	0,45	14,00	3	0,75	15	3	1	32,40	3	15	2	11,25	0,225
5	15,80			16,60			19,00						22,10				6,30	0,126
7,5	4,53			8,05			12,30						16,00				4,20	0,084
1,25	4,53			8,05			12,30						16,00				25,00	0,200
0,83	3,49			7,85			12,00						15,84				37,88	0,758

З виразу (3) видно, що при $\omega \rightarrow \infty, \alpha \rightarrow x$, при $\omega \rightarrow 0, \alpha \rightarrow 0$. Для вказаних раніше значень $w_b = 1 \text{ м/с}^2$ і $\omega = \omega_0 = 2,5 \text{ с}^{-1}$, $\omega = 2\omega_0 = 5 \text{ с}^{-1}$, $\omega = 3\omega_0 = 7,5 \text{ с}^{-1}$, $2\omega = \omega_0 = 1,25 \text{ с}^{-1}$, $3\omega = \omega_0 = 0,83 \text{ с}^{-1}$ змінні α і x пов'язані відповідними співвідношеннями: $\alpha = e^{-1,25}x$, $\alpha = e^{-0,625}x$, $\alpha = e^{-0,43}x$, $\alpha = e^{-2,5}x$, $\alpha = e^{-3,75}x$.

Аналіз результатів моделювання рівнянь руху БГ представимо у вигляді табл. 2.

Таблиця 2

Амплітуди вимушених коливань БГ

№ з/п	ω, c^{-1}	W_a	W_b	ξ			
		М/с ²		0,15	0,45	0,75	1
1	2	3	4	5	6	7	8
1	$\omega = \omega_0 = 2,5$	1	1	Головний резонанс	0,110000	0,0661010	0,0496894
2		3	3		0,329914	0,1981360	0,1487170
3		3	10		0,329782	0,1979630	0,1485420
4		10	3		1,099710	0,6604540	0,4957240
5		3	15		0,329687	0,1978360	0,1484160
6		15	3		1,349570	0,9906820	0,7435860

Закінчення табл. 2

1	2	3	4	5	6	7	8
7	$\omega = \omega_0/2 = 1,25$ Субгармонічні коливання	1	1	0,130020	0,110905	0,0941927	0,0793500
8		3	3	0,389417	0,332314	0,2819150	0,2373970
9		3	10	0,387163	0,339915	0,2796080	0,2352390
10		10	3	1,298060	1,140430	0,9397170	0,7913230
11		3	15	0,386474	0,338340	0,2779130	0,2338590

12		15	3	1,947090	1,710650	1,4095000	1,1869800
13	$\omega = \omega_0 / 3 = 0,83$. Субгармонічні коливання	1	1	0,110504	0,109731	0,1004580	0,0932015
14		3	3	0,331016	0,328430	0,3005490	0,2783220
15		3	10	0,329287	0,325772	0,2976650	0,2743310
16		10	3	1,103390	1,094770	1,0018300	0,9277410
17		3	15	0,328061	0,323891	0,2956390	0,2725110
18		15	3	1,65508	1,642150	1,5027400	1,3916100
19	$\omega = 2\omega_0 = 5$. Биття	1	1	Резонансу немає	0,0273533	0,0235304	0,0200020
20		3	3		0,0822427	0,0707352	0,0601209
21		3	10		0,0828793	0,0712361	0,0605205
22		10	3		0,2741720	0,2357840	0,2004030
23		3	15		0,0833300	0,0715904	0,0680320
24		15	3		0,4112140	0,3536760	0,3006050
25	$\omega = 3\omega_0 = 7,5$. Биття	1	1	Резонансу немає	0,0120460	0,0105930	0,0097958
26		3	3		0,0362657	0,0316432	0,0294926
27		3	10		0,0367120	0,0320451	0,0298588
28		10	3		0,1208850	0,1054780	0,0983086
29		3	15		0,0370285	0,0323305	0,0301188
30		15	3		0,1813280	0,1582160	0,1474630

Графіки деяких функціональних залежностей для певних значень w_a, w_b, ω , а також значень коефіцієнта демпфірування ξ наведено на рис. 1, 2, 3.

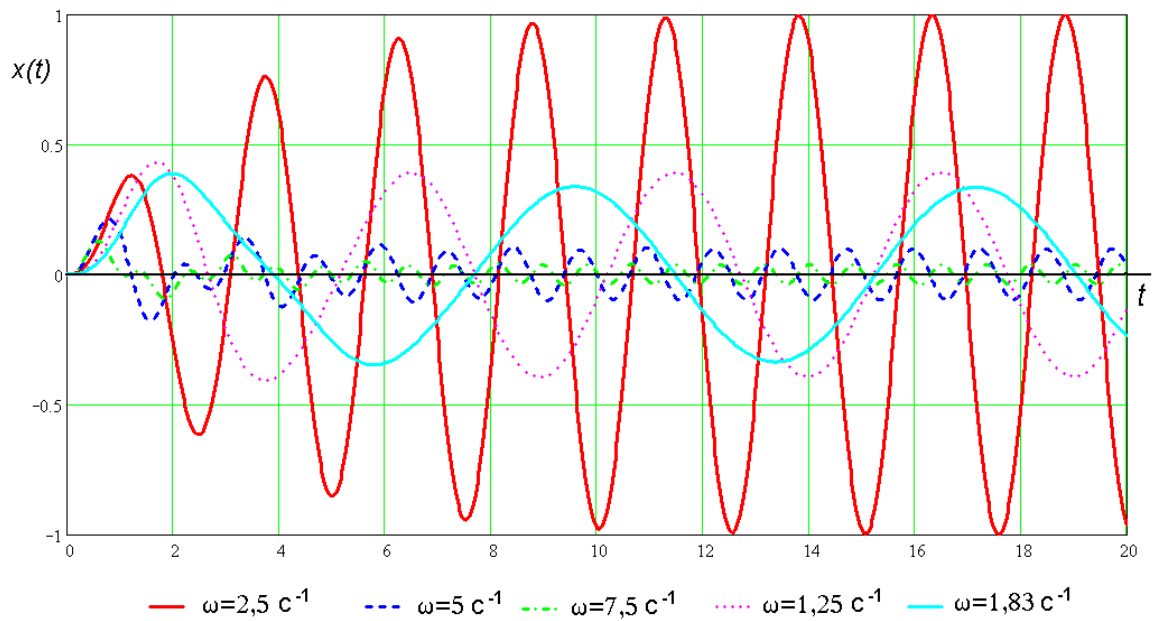


Рис. 1. Графіки зміни вихідного сигналу $x(t)$ для різних значень ω

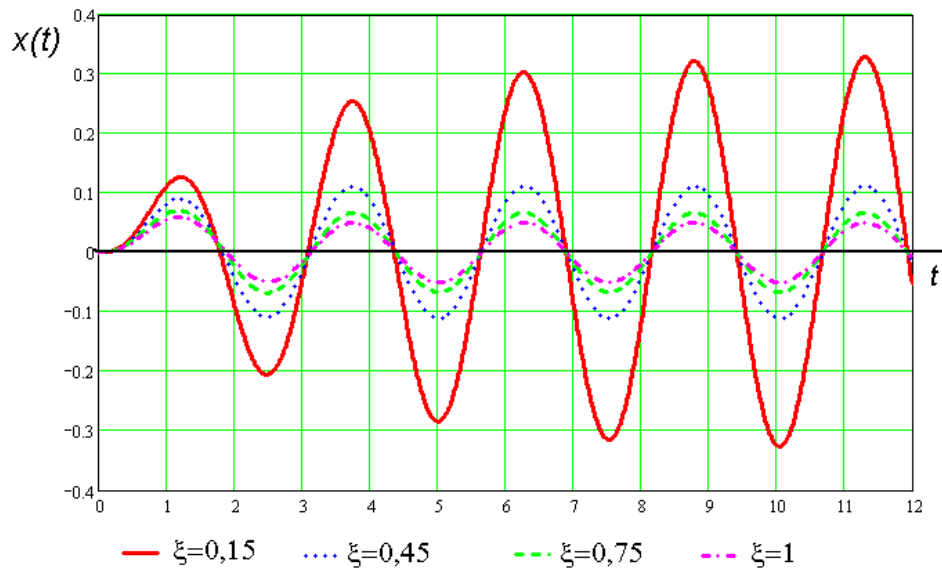


Рис. 2. Графіки зміни вихідного сигналу $x(t)$ для різних значень коефіцієнта демпфірування ξ

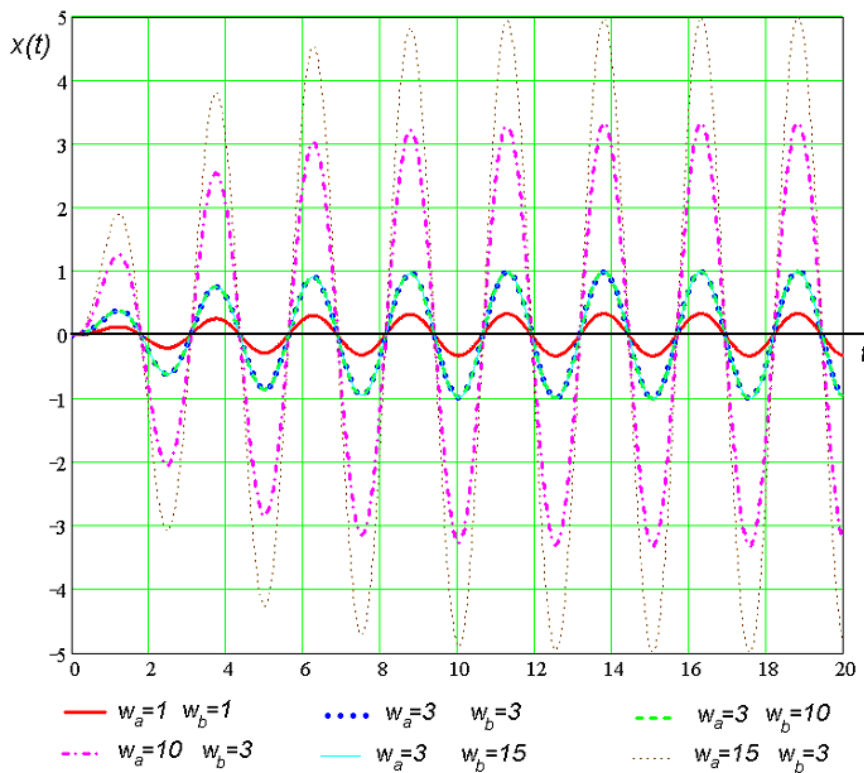


Рис. 3. Графіки зміни вихідного сигналу $x(t)$ для різних значень w_a, w_b

Для зручності аналізу моделювання на ЕОМ, отримані результати моделювання рівнянь руху БГ на ЕОМ зведемо у табл. 3.

Таблиця 3

Амплітуди усталених вимушених коливань БГ

$\omega, \text{с}^{-1}$	$\alpha, \text{рад}$
0,83	$0,22 \cdot 10^{-7}$
1,25	$0,65 \cdot 10^{-7}$
2,5	$1,86 \cdot 10^{-6}$
5,0	$0,93 \cdot 10^{-6}$
7,5	$4,7 \cdot 10^{-7}$

Порівнявши амплітуди усталених вимушених коливань БГ при $\omega = \omega_0$, $3\omega = \omega_0$, $2\omega = \omega_0$, $\omega = 2\omega_0$, $\omega = 3\omega_0$; $\xi = 1$; $w_a = w_b = 1 \text{ м/с}^2$, обчисленні відповідно до виразу (3) (табл. 3), бачимо, що амплітуди усталених вимушених коливань БГ найбільші за умови рівності частоти власних коливань БГ та частоти збурень.

Висновки. У результаті моделювання було отримано графіки зміни вихідного сигналу $x(t)$ для різних значень частоти збурень ω , коефіцієнта демпфірування ξ та різних значень амплітуд збурюючих віброприскорень $w_a = w_b$.

З отриманих графіків видно, що:

- при частоті збурень $\omega = \omega_0 = 2,5 \text{ с}^{-1}$ виникає головний резонанс, найбільш небезпечний для БГ;
- при частотах $\omega = \omega_0/2 = 1,25 \text{ с}^{-1}$, $\omega = \omega_0/3 = 0,83 \text{ с}^{-1}$ вихідний сигнал не спотворюється (встановлюються субгармонійні коливання);
- при частотах $\omega = 2\omega_0 = 5 \text{ с}^{-1}$, $\omega = 3\omega_0 = 7,5 \text{ с}^{-1}$ вихідний сигнал спотворюється (встановлюється биття);
- встановлено, що коефіцієнт демпфірування ξ доцільно збільшувати у випадку головного резонансу $\omega = \omega_0$ ($\xi = 0,75$) та у випадку $\omega = 2\omega_0$, $\omega = 3\omega_0$, коли встановлюється биття ($\xi = 0,45$);
- збільшення амплітуд горизонтальних прискорень не впливає на амплітуду вимушених коливань БГ $x(t)$;
- амплітуди вимушених коливань по осі чутливості БГ прямо пропорційні амплітудам збурюючих віброприскорень по осі чутливості БГ.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Бондарев С.С. и др. Экспериментальные исследования баллистических гравиметров // Метрология, 1986. – № 1.
2. Безвесільна О.М. Вимірювання прискорень: Підручник. – К.: Либідь, 2000. – 264 с.
3. Безвесільна О.М. Авіаційні гравіметричні системи та гравіметри: Монографія. – Житомир: ЖДТУ, 2007. – 604 с.
4. Гравіметрична система з високоточним виставленням осі чутливості гравіметра: Заявка на винахід / О.М. Безвесільна, Ю.О. Подчашинский, А.А. Остапчук, Ю.В. Киричук, С.С. Ткаченко. – № а2009 03869.

БЕЗВЕСІЛЬНА Олена Миколаївна – доктор технічних наук, професор кафедри приладобудування Національного технічного університету України «КПІ».

Наукові інтереси:

- комп'ютеризовані інформаційні системи;
- вимірювальні перетворювачі;
- гравіметри та гравіметричні системи;
- прилади та методи вимірювання механічних величин.

КОНДРАТЮК Жанна Михайлівна – магістрант кафедри приладобудування Національного технічного університету України «КПІ».

Наукові інтереси:

- комп'ютеризовані інформаційні системи;
- гравіметрія.

ОСТАПЧУК Анна Анатоліївна – аспірантка кафедри автоматизації та комп'ютеризованих технологій Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- комп'ютеризовані інформаційні системи;
- гравіметри.

Подано 09.09.2009

Безвесільна О.М., Кондратюк Ж.М., Остапчук А.А. Дослідження на ЕОМ впливу амплітудних значень віброприскорень та коефіцієнта демфування на роботу балістичного гравіметра при різних значеннях частот збурень
Безвесильная Е.Н., Кондратюк Ж.М., Остапчук А.А. Исследования на ЕВМ влияния амплитудных значений виброускорений и коэффициента демфирования на работу баллистического гравиметра при разных значениях частот возмущений

Bezvesilna E.N., Kondratuk Z.M., Ostapchuk A.A.

УДК 621.317

Bezvesilna E.N., Kondratuk Z.M., Ostapchuk A.A.

In this article the simulation of the impact parameter perturbations on the work of the new ballistic Gravimeter (BG): transformed differential equation of motion of the BG with variable coefficients for equation machine "look; algorithm solving differential equations of motion using computer-BG; examined using computer effects □ frequencies and amplitudes, zburyuyuchyh vibropryskoren naynespryatylyvishyh for resonant cases, studies of the work of some device parameters BG (relative damping coefficient)

УДК 621.317

Исследования на ЕВМ влияния амплитудных значений виброускорений и коэффициента демфирования на работу баллистического гравиметра при разных значениях частот возмущений / Е.Н. Безвесильная, Ж.М. Кондратюк, А.А. Остапчук

В данной статье рассмотрено моделирование влияния параметров возмущений на работу нового баллистического гравиметра (БГ): преобразовано дифференциальное уравнения движения БГ с переменными коэффициентами на уравнения "машинного" вида; разработан алгоритм решения дифференциального уравнения движения БГ с помощью ЭВМ; исследовано с помощью ЭВМ влияние частот □ и амплитуд, возмущающих виброускорений для самых неблагоприятных резонансных случаев; исследовано влияние на работу прибора некоторых параметров БГ (относительного коэффициента демпфирования).