

УДК 534.1; 539.3

ДО ПРОЯВУ ЕФЕКТУ НЕСИМЕТРІЇ ПРИ ІМПУЛЬСНОМУ ЗГИНАННІ БАЛКИ З КРАЙОВИМИ УМОВАМИ

Сліпченко М.В., к.т.н., доцент, Слинко Н.В., магістрант
(Державний біотехнологічний університет)

Імпульсні та ударні навантаження можуть призвести до руйнування пружних елементів конструкцій або до порушення їх працездатності. Тому дослідженню динаміки пружних систем при дії вказаних навантажень приділялось і продовжує приділятися значна увага. На відміну від лінійних коливань значно менше публікацій стосується імпульсного та ударного деформування нелінійних систем [1-3], яке має певні особливості, і вивчення.

Для певної комбінації навантажень та характеристики жорсткості і діючих дисипативних сил характерний прояв ефекту несиметрії [4-5].

Розглянемо рух балки з нетрадиційними граничними умовами, коли пружна характеристика системи залежить від напрямку її деформування. При переміщенні балки в напрямі прикладеного імпульсного навантаження краї балки вважаються жорстко затиснутими, а при повороті кінців у протилежному напрямі – вони шарнірно обіперті. Така постановка задачі можлива лише при динамічному деформуванні балки, коли з плином часу кути повороту її країв змінюють знак.

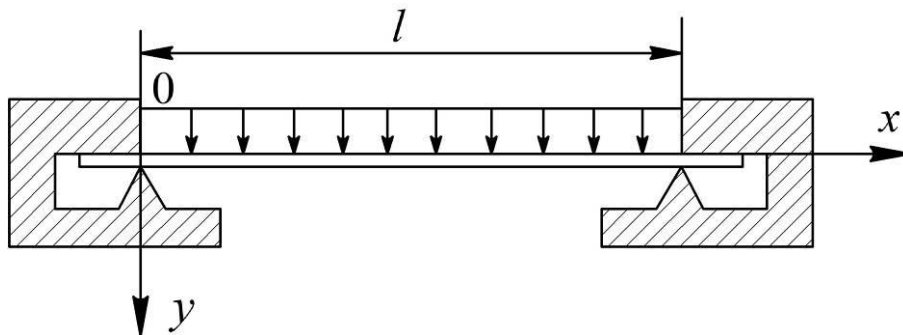


Рисунок 1 – Розрахункова схема балки

Розглянемо два етапи руху балки. На першому з них, коли переміщення перерізів балки проходять у напрямі дії навантаження, а кути повороту торців дорівнюють нулю, прогини балки $y = y(x, t)$ описуємо диференціальними рівняннями:

$$EJ \frac{\partial^4 y}{\partial x^4} + \rho F \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = q [H(t) - H(t - t_1)] - M \delta'(x - x_1) + M \delta'(x - x_2). \quad (1)$$

Тут EJ – згинальна жорсткість балки; ρF – її погонна маса; q – стала інтенсивності розподілу навантаження по довжині балки; $H(t)$, $H(t - t_1)$ – одиничні функції Хевісайда; t_1 – тривалість дії імпульсу у часі t ; $M = M(t)$ – невідомі моменти, прикладені в перерізах $x = x_1$ і $x = x_2$, причому $x_1 \rightarrow 0$, а

$x_2 \rightarrow l$, де l – довжина балки; $\delta'(x-x_1)$, $\delta'(x-x_2)$ – похідні по x функції Дірака; x – повздовжня координата.

На другому етапі руху, після зміни крайових умов, балку вважаємо розвантаженою, тобто приймаємо $t_1 < t_*$. Тоді рівняння (1) стає однорідним ($q = M = 0$).

Розв'язок, отриманий в [6] дає можливість визначити переміщення балки, наприклад двотавра № 12, у якого $EJ = 7,35 \text{ Па}\cdot\text{м}^4$; $\rho F = 11,5 \text{ кг/м}$; $l = 5 \text{ м}$, при $q = 1800 \text{ Н/м}$ (рис. 2), а також моменти в опорах (рис. 3).

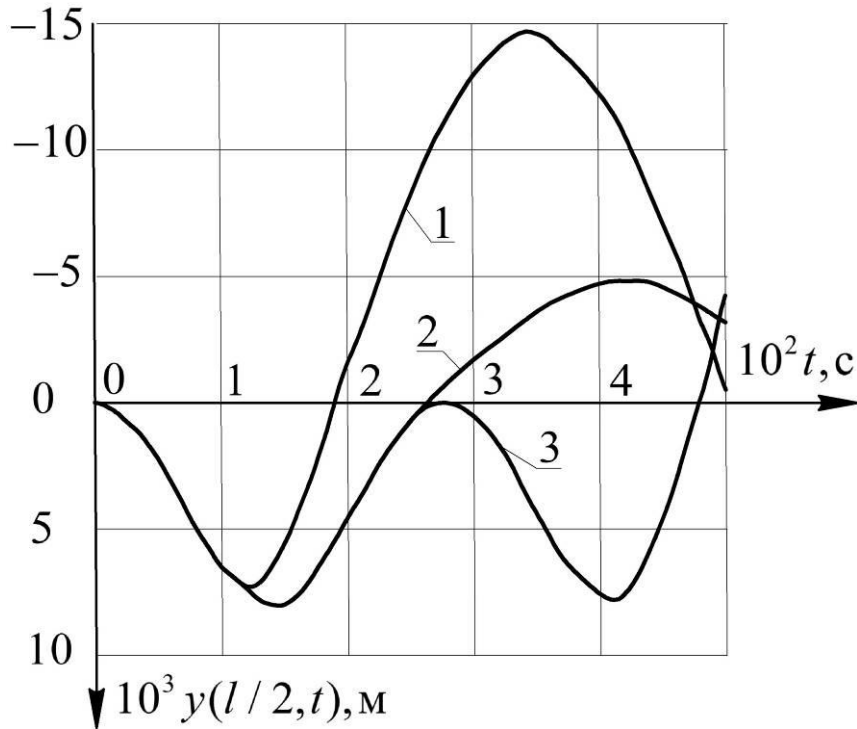


Рисунок 2 – Графіки прогинів середини балки: 1 – $\tau=0,01 \text{ с}$; 2 – $\tau=0,025 \text{ с}$; 3 – $\tau=0,04 \text{ с}$

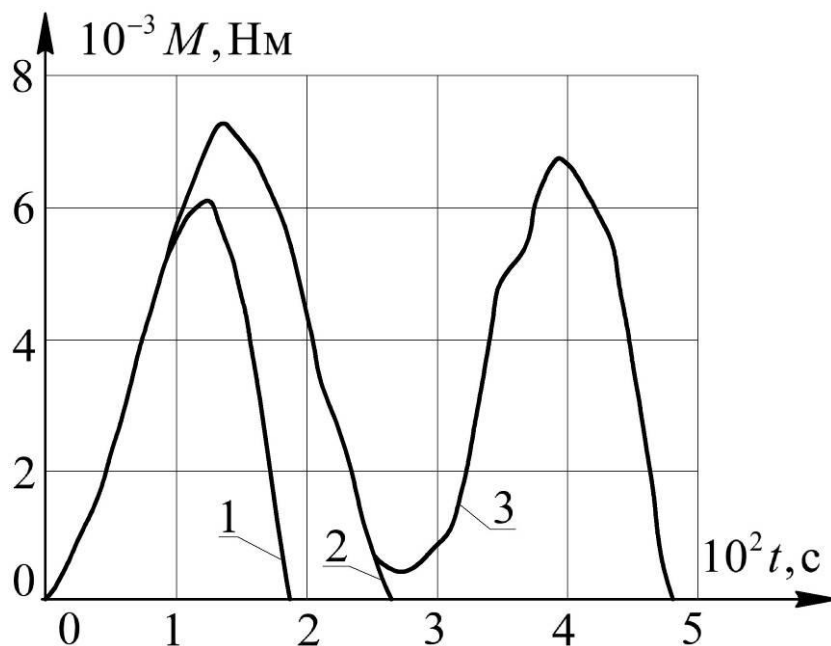


Рисунок 3 – Графіки згинальних моментів на опорах: 1 – $\tau=0,01 \text{ с}$; 2 – $\tau=0,025 \text{ с}$; 3 – $\tau=0,04 \text{ с}$

Дослідження показало, що динамічний ефект несиметрії пружної характеристики найбільш чітко виражений, коли тривалість дії навантаження близька до значення [7]:

$$(2n-1) \frac{\pi l^2}{22,3729} \sqrt{\frac{\rho F}{EJ}},$$

де: $n = 1, 2, 3, \dots$

Якщо ж тривалість імпульсу близька до значення:

$$2n \frac{\pi l^2}{22,3729} \sqrt{\frac{\rho F}{EJ}},$$

то згаданий ефект відсутній. Саме такий випадок відповідає графікам, позначеним цифрою 2 на рис. 2 і рис. 3.

Розрахунки показали, що існують такі тривалості імпульсного навантаження балки з бінарним закріпленням країв, коли її прогини у напрямі прикладеного імпульсу менші за прогини у зворотному напрямі, що властиво системам з несиметричною характеристикою пружності.

Список використаних джерел

1. Olshanskiy V. Free oscillations of an oscillator with nonlinear positional friction / V. Olshanskiy, V. Burlaka, M. Slipchenko. // Ukrainian journal of mechanical engineering and materials science. – 2018. – Vol.4, No. 2 (8). – P. 50-57.
2. Olshanskiy V., Olshanskiy S., Slipchenko M. On free oscillations of a quadratic nonlinear oscillator / V. Olshanskiy, S. Olshanskiy, M. Slipchenko. Ukrainian journal of mechanical engineering and materials science. – 2017. – Vol. 3, No. 2 (6). – P 1-10.
3. Ol'shanskii V.P. Dynamics of Impulse-Loaded Beam with One-Sided Support Ties / V.P. Ol'shanskii, V.V. Burlaka, M.V. Slipchenko // Int Appl Mech. – 2019. – Vol. 55. – P. 575–583. <https://doi.org/10.1007/s10778-019-00979-7>.
4. Olshanskiy V.P. Dynamic effect of asymmetry in oscillating systems / V.P. Olshanskiy, M.V. Slipchenko. // Scientific Collection «InterConf», (50): with the Proceedings of the 8 th International Scientific and Practical Conference «Scientific Horizon in The Context of Social Crises» (April 11-12, 2021). – Tokyo, Japan: Otsuki Press, 2021. – P. 552-559.
5. Ольшанський В.П. Нелінійні коливання дисипативних осциляторів / В.П. Ольшанський, М.В. Сліпченко, О.І. Спольнік, В.В. Бурлака. – Харків: Міськдрук, 2020. – 268с
6. Ольшанський В.П. Імпульсне згинання балки з бінарними крайовими умовами / В.П. Ольшанський, В.В. Бурлака, М.В. Сліпченко. // Вібрації в техніці та технологіях. – 2018. – № 4 (95). – С. 16-24. <https://doi.org/10.37128/2306-8744-2019-4-2>.
7. Ольшанський В.П. Динаміка імпульсно навантажених нелінійних осциляторів / В.П. Ольшанський, М.В. Сліпченко, О.В. Ольшанський, В.В. Бредихін. / Харків: Діса плюс, 2021. – 264 с.