

ция. – К.: Факт, 1997 – 140 с.

2. Городецкий А.С., Заварицкий В.И., Рассказов А.А., Лантух-Лященко А.И. Метод конечных элементов в проектировании транспортных сооружений. – М.: Транспорт, 1981. – 142 с.

3. Городецкий А.С., Шмуклер В.С., Бондарев А.В. Информационные технологии расчета и проектирования строительных конструкций. – Киев-Харьков, 2003. – 888 с.

Получено 09.09.2006

УДК 534.1

В.Л.СИДОРЕНКО

Институт державного управління у сфері цивільного захисту, м.Київ

С.І.АЗАРОВ, д-р техн. наук, Г.А.СОРОКІН

Институт ядерних досліджень НАН України, м.Київ

МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ НЕСУЧОЇ ЗДАТНОСТІ БАЛКИ ПРИ ДИНАМІЧНОМУ НАВАНТАЖЕННІ

Розглядається задача про несучу здатність балки з урахуванням сил опору, при імпульсному навантаженні, які пропорційні швидкості. Отримані розрахункові дані для визначення динамічного зміщення стосовно балки з вільнообертливими кінцями, які порівнюються з експериментальними даними.

На даний час у роботах по дослідженню пожежовивбухонебезпечних будівельних конструкцій все більше стверджується погляд на аварійний вибух природного газу як на руйнівне вивільнення енергії, що призводить до катастрофічних наслідків [1]. У зв'язку з цим вирішення проблеми забезпечення вибухостійкості будинків і споруд при аварійних вибухах є актуальним. Для розв'язання задачі щодо несучої здатності будівельної балки при вибуху (імпульсному навантаженні) необхідно визначити динамічні зміщення, що відповідають змушеним коливанням і графікам зміни динамічного коефіцієнта для двох перерізів балки, а також отримати формулу поперечних коливань балки з урахуванням інерції обертання, зсуву і сил опору, що пропорційні швидкості.

Результати досліджень вчених про несучу здатність балки наведено в публікаціях [2, 3], однак мало уваги приділяється змушеним поперечним коливанням балки при вибухових (імпульсних) навантаженнях з урахуванням сил опору.

Метою дослідження є розв'язання задачі про несучу здатність балки при імпульсному навантаженні із застосуванням синус-перетворення Фур'є із скінченими границями.

Розрахунки показали [1], що при вибуху в будівлі побутового (природного) газу та при відстані від джерела вибуху до балки рівним 1 м, максимальний надлишковий тиск у вибуховій хвилі може скласти

25 кПа через $7,5 \times 10^{-3}$ с після вибуху. Від вибухового впливу будівельні конструкції будівлі зазнають не тільки загальне зміщення як тверде тіло, а й випробують вигин як вільна пружна балка. Максимальне позитивне прискорення балки від впливу вибухового збурювання може скласти:

$$B = \frac{\Delta P_{\max}}{\rho C_0 \tau} \approx 7 \cdot 10^2 \text{ м/с}^2, \quad (1)$$

де ρ – щільність матеріалу балки; C_0 – швидкість звуку; τ – тривалість дії ударної хвилі на балку.

Внаслідок описаних вище ефектів будівельна балка піддалася впливу динамічного навантаження (рис.1).

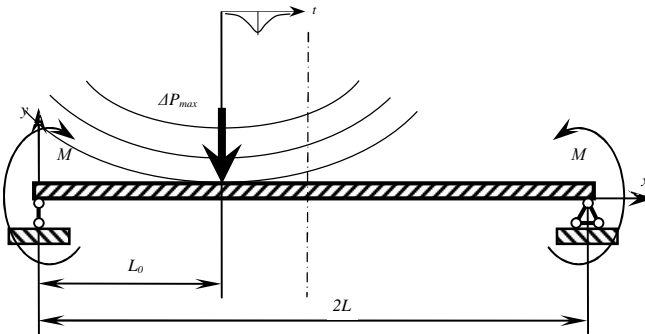


Рис. 1 – Розрахункова схема навантаження на балку при вибуху

Диференціальне рівняння поперечних коливань балки з урахуванням сил опору, які пропорційні швидкості, має вигляд [4]:

$$\frac{mS}{g} \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} + EJ \frac{\partial^4 y}{\partial x^4} + L_0 \frac{\partial y}{\partial t} = f(x, t), \quad (2)$$

де y – зміщення балки; EJ – жорсткість при згинанні; m – вага одиниці об'єму матеріалу балки; L_0 – відстань впливу дії імпульсного удару; S – площа поперечного перетину; g – прискорення сили ваги; $f(x, t)$ – інтенсивність розподіленого навантаження.

Для рівняння (2) необхідно ще додати початкові та граничні умови.

Початкові умови:

$$y = 0, \quad \frac{\partial y}{\partial x^2} = 0, \quad \text{якщо } t = 0, \quad 0 \leq x \leq L. \quad (3)$$

Граничні умови:

$$y = 0, \quad \frac{\partial^2 y}{\partial t} = 0, \quad \text{якщо } x = 0, \quad x = L, \quad t > 0. \quad (4)$$

Застосуємо до рівняння (2) синус-перетворення Фур'є із скінченими границями за змінною x [5].

У випадку рішення рівняння (2) методом Фур'є з урахуванням початкових (3) та граничних (4) умов вертикальне зміщення y записується у формі [5]:

$$y(x, t) = \frac{2K\Delta P_{max}}{2L\delta^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin\left(\frac{n\pi L_0}{2L}\right) \sin\left(\frac{n\pi x}{2L}\right) \sin(\omega t - a_n)}{\left[\left(n^4 - \frac{\omega^2}{\rho^2} \right)^2 + 4 \frac{L_0 g}{mS} \frac{\omega^2}{\rho^4} \right]^{-1/2}}. \quad (5)$$

Тут

$$\rho = 4\pi \left(\frac{EJg}{4mSL^2} \right), \quad (6)$$

$$K = \frac{g}{mS}, \quad (7)$$

де ω – частота коливань; a_n – кут зсуву фаз.

Величину $y_{max}^{cm}(x)$ – прогин балки від сили $K\Delta P_{max}$ – визначають за формулою

$$y_{max}^{cm}(x) = \begin{cases} \frac{K\Delta P_{max} L_0 x}{6EJL} (L^2 - L_0^2 - x^2), & 0 \leq x \leq L \\ \frac{K\Delta P_{max}}{6EJL} \left[\frac{L_1}{L} (L^2 - L_1^2 - x^2) + (x - L_0)^3 \right], & L_0 \leq x \leq L, \end{cases} \quad (8)$$

де $L_1 = L - L_0$.

Після визначення зміщення балки можна записати згинальний момент:

$$M(x,t) = -EJ \frac{y(x,t)}{\partial x^2} = -\frac{2K\Delta P_{max}L}{\pi^2} \times \sum_{n=1}^{\infty} \frac{n^2 \sin\left(\frac{n\pi L_0}{2L}\right) \sin\left(\frac{n\pi x}{2L}\right) \sin(\omega t - a_n)}{\left[\left(n^2 - \frac{\omega^2}{\rho^2}\right)^2 + 4\frac{L_0 g}{mS} \frac{\omega^2}{\rho^4}\right]^{-1/2}}, \quad 0 \leq x \leq L. \quad (9)$$

Згинальний момент від статично прикладеної сили дорівнювати-
ме:

$$M_{max}^{cm}(x) = \begin{cases} \frac{K\Delta P_{max}L_1x}{L}, & 0 \leq x \leq L_0 \\ \frac{K\Delta P_{max}L_0}{L}(L-x), & L_0 \leq x \leq L. \end{cases} \quad (10)$$

Порівняння отриманих розрахункових даних за формулою (8) з експериментальними при аналізі напружено-деформованого стану і несучої здатності балки проводили з балкою, виконаною з двотавра №10 довжиною $2L=3,6$ м із сталі марки Вст3кп. Результати порівняння розрахункових і експериментальних кривих прогинів по прогиномірах наведені у таблиці.

Величина навантаження по центру прольоту, кН	Максимальний прогин балки, розрахований за методом Фур'є, y_{max}^p , мм	Максимальний прогин балки, отриманий експериментально, y_{max}^e , мм	Похибка $\frac{y_{max}^p - y_{max}^e}{y_{max}^p} \times 100, \%$
5,0	5,4	5,2	3,70
7,5	13,7	13,1	4,38
10,0	18,0	17,6	2,22
12,5	23,9	23,2	2,93
15,0	30,1	29,5	1,99
Середнє значення похибки:			3,04

Результати розрахунків методом Фур'є свідчать (таблиця), що отримані максимальні прогини балки відрізняються від експериментальних даних [7] на величину від 2 до 4,4 %, що в середньому становить біля 3%.

Динаміка зміни характеру деформації балки при вибуховому навантаженні надана на рис.2. Розрахунок проводився для двотаврової балки довжиною $L=2$ м і щільністю $\rho=7800$ кг/м³ з модулем пружності

$E=2 \times 10^4 \text{ н/м}^2$ при надмірному тиску $\Delta P=30 \text{ кПа}$.

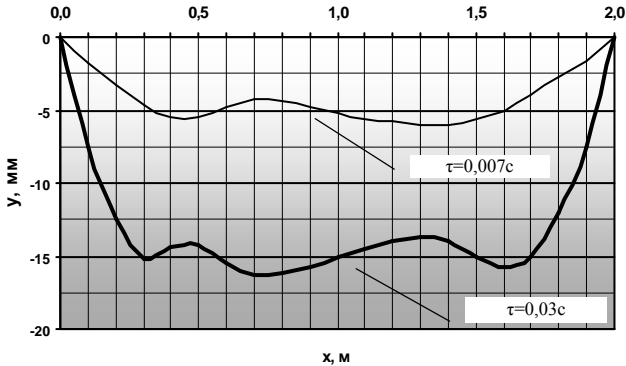


Рис. 2 – Динамічна зміна прогину балки від стрибка тиску

Таким чином, було отримано розв'язок задачі про зміщення балки при динамічному навантаженні з урахуванням сил опору. Для прикладу розглянуто прогин балки розрахунковим і експериментальним методами. Як показують наведені чисельні результати, запропонований метод дозволяє отримати розв'язок, який більш вірно відповідає експериментальним даним з незначною похибкою.

1. Сидоренко В.Л., Азаров С.И. Оценка взрывоопасности природного газа // Коммунальное хозяйство городов: Науч.-техн. сб. Вып.60. – К.: Техніка, 2004. – С. 275-278.
2. Крылов А.Н. О некоторых дифференциальных уравнениях математической физики. – М.: Гостехтеорлитература, 1950. – 368 с.
3. Тимошенко С.П. Колебания в инженерном деле. – М.: Физматгиздат, 1959. – 439 с.
4. Тимошенко С.П. Курс теории упругости. – К.: Наукова думка, 1972. – 507 с.
5. Снеддон И. Преобразование Фурье. – М.: Изд-во ин. лит-ры, 1955. – 667 с.
6. Бабакев И.М. Теория колебаний. – М.: Наука, 1965. – 560 с.
7. Гоголь М.В., Гайда О.М. Експериментальне дослідження роботи балкових конструкцій з регулюванням зусиль // Теорія і практика будівництва: Вісник Нац. ун-ту "Львівська політехніка". Вип.545. – Львів, 2005. – С.36-41.

Отримано 13.11.2006