

**Висновок**

Використовування правил дозволить зрівноважити збудуючі джерела і дасть можливість конструкторам і винахідникам новий напрямок при проектуванні без-

вібраційної механічної обробки та обробних комплексів, що приведе до одержання більш якісної продукції, підвищенню надійності і довговічності роботи устаткування, підвищенню продуктивності праці і знизить рівень шуму, що негативно впливає на організм людини.

Література

1. Сичов Ю.І. Один з напрямків розробки безвібраційних обробних комплексів / Ю.І. Сичов, Б.Г. Лях, В.І. Неко, В.В. Самчук // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – Харьков: Технологический Центр. 2010. № 2/5 (44) с. 38-41.
2. Сичов Ю.І. Пристрій для обробки кінців труб / Ю.І. Сичов, А.П. Тарасюк, Б.Г. Лях, В.І. Неко, В.В. Самчук // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – Харьков: Технологический Центр. 2010. № 5/5 (47) с. 24-29.
3. Патент UA 57132 U. МПК В23В 5/08. Пристрій для обробки кінців труб / Ю.І. Сичов, Б.Г. Лях, В.В. Самчук. Заявл. 26.07.2010; опубл. 10.02.2011, бюл. № 3. 2011р. – 4с.
4. Патент UA 49739 U. МПК В23В 5/08. Пристрій для обробки кінців труб / Ю.І. Сичов, Б.Г. Лях, В.В. Самчук. Заявл. 16.11.2009; опубл. 11.05.2010, бюл. № 9. 2010р. – 3с.
5. Маліцький І.Ф. Технологія машинобудування: навчальний посібник. Харків: Видавництво «Точка», 2011. – 153с.
6. Анухин В.И. Допуски и посадки. Выбор и расчет, указание на чертежах: Учеб. пособие. 2-е изд., перераб., и доп. СПб.: Изд-во СПбГТУ, 2001. – 219с.
7. Варава Л.М., Двоскин П.М. Резка труб и баллонов: Учебник для ПТУ. – М.: Металлургия, 1983. – 280с.

*В роботі складена система диференціальних рівнянь, що описують коливання елемента навісного обладнання при проведенні динамічних випробувань мостових конструкцій, оцінені параметри коливань при різних характеристиках обладнання*

*Ключові слова: коливання елемента, моделювання, динамічні характеристики*

*В работе составлена система дифференциальных уравнений, описывающих колебания элемента навесного оборудования при проведении динамических испытаний мостовых конструкций, оценены параметры колебаний при различных характеристиках оборудования*

*Ключевые слова: колебания элемента, моделирование, динамические характеристики*

*In the article shows the possibility of creating the system of differential equation of bridge element fluctuation under dynamic influence were synthesized*

*Key words: differential equation, dynamic influence, modeling*

УДК 621.371

# КОЛИВАННЯ НАВІСНОГО ОБЛАДНАННЯ ПРИ ДИНАМІЧНИХ ВИПРОБУВАННЯХ МОСТОВИХ КОНСТРУКЦІЙ

**О.В. Полярус**

Доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри\*

**В.В. Барчан**

Аспірант\*

\*Кафедра метрології та безпеки життєдіяльності  
Національний автомобільно-дорожній університет  
вул. Петровського, 25, м. Харків, 61002

**1. Вступ**

Автомобільні мостові конструкції – складні інженерні споруди, створені для сполучення складних ділянок доріг. Під час експлуатації мостова конструкція

знаходиться під впливом сил зовнішніх та внутрішніх навантажень. Проведення діагностичних заходів є необхідною умовою забезпечення безпеки та ефективності експлуатації дорожніх споруд. Існує велика кількість засобів та методів діагностики, в яких інфор-

мативними можуть бути багато характеристик, наприклад вібрації. Для їх вимірювання застосовують контактні та дистанційні методи. Під час вимірювань може використовуватися нависне обладнання, яке закріплене до плити мостової конструкції на невеликій платформі. Характер коливань такої платформи значно залежить від динамічних навантажень на міст, способу кріплення її до плити моста та багатьох інших факторів. Оскільки від динамічних характеристик цієї платформи залежать важливі показники нависного обладнання, то актуальним є завдання оцінки характеру коливань платформи.

ся разом з мостом, а далі самостійно, тобто починає коливатись.

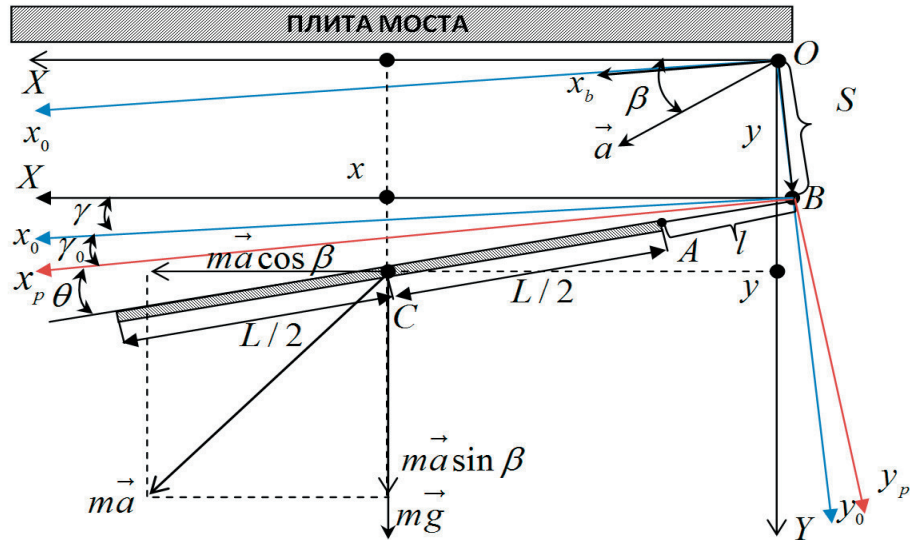


Рис. 1. Системи координат для моста з пружним підвісом

**2. Аналіз публікацій**

На сьогоднішній день існує велика кількість публікацій, що присвячені методам оцінки динамічних характеристик мостових конструкцій. В [1] проаналізовані динамічні характеристики мостових конструкцій. В [2] представлено основні принципи побудови вимірювальних комплексів для діагностики динамічних об'єктів. Теорія оцінки параметрів коливань детально викладена в [3] та [4].

**3. Мета та постановка задачі**

Метою статті є оцінка параметрів коливань невеликих діагностичних платформ, що закріплюються до плити мостової конструкції для проведення динамічних характеристик моста при його випробуванні.

Для цього потрібно обґрунтувати розрахункову модель і скласти систему диференціальних рівнянь, що описують поведінку в часі і просторі платформи, на якій може бути встановлений елемент діагностичної апаратури.

**4. Розрахункова модель**

На рис. 1 представлена частина плити моста, до якої в точці В закріплений пружний підвіс. На ньому на відстані l від точки В встановлюється платформа масою m, наприклад, квадратна розміром LxL. Її центр мас зосереджений в точці С.

Маса платформи на декілька порядків менше маси плити автомобільного моста. Остання в звичайній ситуації коливається з частотою, що становить декілька герц або менше. Зазначена платформа у цих випадках практично не буде відхилятися від встановленого положення. Під час динамічних випробувань спостерігається швидке переміщення плити моста донизу. Оскільки платформа закріплена тільки з одного боку, то вона спочатку переміщується

Для побудови розрахункової моделі введемо системи координат: OXY – нерухома система (абсолютна); Ox0y0 - система координат, що зв'язана з рухомою основою, тобто з мостом; O1xpy1 - система координат, що зв'язана з платформою.

Положення системи координат, що зв'язана з мостом, відносно нерухомої системи OXY визначається кутом  $\gamma$ , який може довільно у визначених межах змінюватись з часом. Плита моста може переміщуватись разом з системою координат Ox0y0 з прискоренням  $\vec{a}$ , напрям якого відносно нерухомої осі OX визначається кутом  $\beta$ . Для загальності врахуємо, що на міст може діяти похила вібрація, що задається складовими віброзміщеннями  $x_b$  і  $y_b$ .

Початок системи координат, яка зв'язана з платформою O1xpy1, міститься в точці В, оскільки OO1=S, а точки O1 і В співпадають. Її положення відносно системи O1xpy1 визначено довільним, але фіксованим кутом  $\gamma_0$ . Миттєве положення центра мас платформи (точка С) визначається координатами x і y в системі координат OXY.

Положення осі, що проходить через точки А і С в системі координат O1xpy1, що зв'язана з платформою, визначається кутом  $\theta$ . Кут між віссю O1xpy1 і дотичною до вигнутої осі пружного елемента в точці В становить  $\alpha \approx \frac{y_r}{l}$ . В точці С прикладені зовнішні сили, обумовлені прискореннями  $\vec{a}$  і  $\vec{g}$ . Вони також зв'язані з віброприскоренням моста. З фізичних міркувань зрозуміло, що кути  $\alpha$  і  $\theta$  приблизно однакові і до того ж є малими.

Рівняння руху платформи отримаємо на основі рівняння Лагранжа.

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T}{\partial \dot{q}_j} \right) - \frac{\partial T}{\partial q_j} = Q_j \quad (j=1,2), \quad (1)$$

де  $T$  - кінетична енергія платформи;  $Q_j$  - узагальнені сили по відповідним узагальненим координатам;  $q_j, \dot{q}_j$  - узагальнені координати і швидкості.

Для нашої задачі узагальненими координатами платформи будемо вважати  $q_1 = \theta$ ,  $q_2 = y_p$ , де  $y_p$  - лінійне відхилення точки А платформи.

Кінетична енергія платформи з масою  $m$  становить.

$$T = \frac{1}{2} J_c \dot{\theta}^2 + \frac{m}{2} (\dot{x}^2 + \dot{y}^2), \quad (2)$$

де  $J_c$  - головний центральний момент інерції платформи навколо осі, яка перпендикулярна площині XY. Координати  $x$  і  $y$  точки С

$$\begin{aligned} x &= l \cdot \cos(\alpha + \gamma_0 + \gamma) + \frac{L}{2} \cos(\theta + \gamma_0 + \gamma) - \\ &- s \cdot \sin \gamma + x_b \cdot \sin \gamma + y_b \cdot \cos \gamma, \\ y &= l \cdot \sin(\alpha + \gamma_0 + \gamma) + \frac{L}{2} \sin(\theta + \gamma_0 + \gamma) - \\ &- s \cdot \cos \gamma + x_b \cdot \sin \gamma + y_b \cdot \cos \gamma, \end{aligned} \quad (3)$$

Розв'язання системи диференціальних рівнянь (1) здійснювались при малих  $\alpha$ ,  $\theta$ ,  $\gamma$ ,  $\gamma_0$ . Узагальнені сили  $Q_j$  включали:

- сили, що обумовлені жорсткістю балки підвісу платформи;
- сили, які викликані прискореннями  $\ddot{a}$  та  $\ddot{g}$ ;
- сили демпфування.

Узагальнені сили і моменти були визначені через зворотну матрицю. З матричного рівняння знаходились демпфуюча сила  $F_g$  і момент  $M_g$ , які є пропорційними відповідно лінійній  $y_p$  і кутовій  $\dot{\theta}$  швидкості руху платформи у просторі. Всі коефіцієнти  $\gamma_1, \gamma_2, \varepsilon_2, \varepsilon_3, \lambda, \rho_1, \rho_2, \rho_3, \rho_4, \rho_5, \rho_6$  є функціями часу. З урахуванням площини квадрата платформи, товщини демпфуючого середовища, динамічного коефіцієнту в'язкості демпфуючого середовища (повітря), узагальнені сили становлять:

$$\begin{aligned} Q_1 &= k_{21} \cdot y_r + k_{22} \cdot \theta + k_{2y} \cdot \frac{L}{2} \cdot \dot{y}_r + k_{2\theta} \cdot \dot{\theta} + F \cdot \left(1 + \frac{L}{2}\right), \\ F &= m \cdot (-g \cdot \cos(\gamma_0 + \theta + \gamma) + a \cdot \sin(\beta - (\theta + \gamma + \gamma_0))), \\ Q_2 &= k_{11} \cdot y_r + k_{12} \cdot \theta + k_{1y} \cdot \dot{y}_r + \frac{2 \cdot k_{1\theta}}{L} \cdot \dot{\theta} + F. \end{aligned} \quad (4)$$

На основі введених позначень була отримана неоднорідна лінійна система чотирьох диференціальних рівнянь першого порядку з чотирма невідомими.

$$\begin{cases} \dot{\tau} = \gamma_1 \cdot \tau + \gamma_2 \cdot \theta + \varepsilon_2 \cdot \kappa + \varepsilon_3 \cdot y - \lambda, \\ \dot{\kappa} = \rho_1 \cdot \kappa + \rho_2 \cdot y + \rho_3 \cdot \tau + \rho_4 \cdot \theta + \rho_5 + \rho_6, \\ \dot{\theta} = \tau, \\ \dot{y} = \kappa. \end{cases} \quad (5)$$

З системи (5) можна визначити найбільш важливі параметри коливань платформи. На рис. 2 приведена часова залежність кута відхилення платформи від початкового положення під дією динамічних навантажень на міст. Для даного прикладу маса платформи дорівнювала 5 кг, довжина  $l = 0,5$  м.

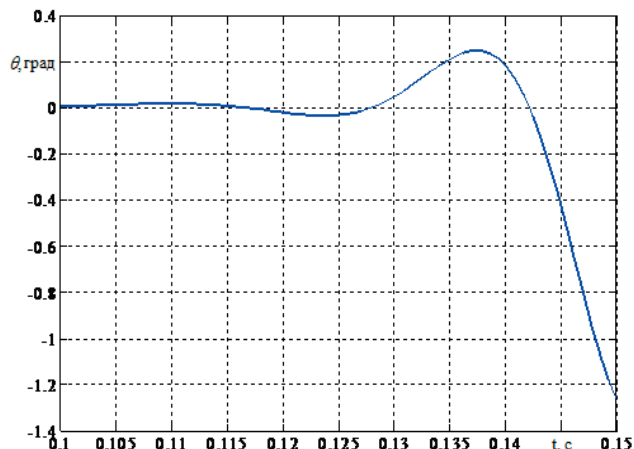


Рис. 2. Приклад коливань платформи під дією динамічних навантажень на мостову конструкцію

При визначенні коефіцієнта динамічності моста важливим є тільки початковий проміжок часу, на протяжці якого виникають інтенсивні коливання платформи. Як видно з рис. 2, вони можуть досягати градусів і навіть більше.

Необхідну кутову амплітуду коливань можна завжди підібрати завдяки вибору маси платформи  $m$ , довжини підвісу  $l$ , жорсткості підвісу та інших параметрів системи, що розглядається. Приведені в статті диференціальні рівняння можуть бути корисними для попередніх оцінок характеру коливань платформи.

### Висновки

В ході роботи була створена система диференціальних рівнянь для визначення характеру коливань платформи закріпленої до плити мостової конструкції. Отримані графіки дозволяють оцінити характер коливань платформи можна заздалегідь підібрати на основі розв'язаної системи диференціальних рівнянь.

### Література

1. Звягинцев А. Н. Метод вибрационной диагностики строительных сооружений (динамическая диагностика). [Текст] / Звягинцев А. Н., Павлов Е. И. - Труды ОАО ЦПИИС. - М.: 2005. - 278 с.
2. Павлов Е. И. Методика экспериментальной оценки динамических характеристик пролётных строений автодорожных мостов: дисс. ... канд. техн. наук [Текст] / Е. И. Павлов. - М., 2006. - 156 с.
3. Bertrand Combes. Vibrations des structures pour l'ingenieur et le technician. Theorie et applications / Bertrand Combes. - Paris : Ellipses Edition Marketing, 2009. - 256 p.
4. Jeongyeup P. C. Wireless Sensor Network for Structural Health Monitoring: Performance and Experience / P. C. Jeongyeup K. Govindan, R. Caffrey, J. Masri : Embedded Networked Sensors. - July 2005. - P.1-10.