3. В результаті проведених експериментальних досліджень встановлено, що за відношення діаметра повітрообмежника до діаметра вхідного отвору відсмоктувача $\frac{a}{D}=1.75$ зона всмоктування і величина розрідження є максимальними.

1. Фиалковская Т.А. Вытяжные зонты и шкафы. – М.: Стройиздат, 1947. – 67 с. 2. Тимофеева О.Н. и др. Местная вытяжная вентиляция при электросварочных работах. – М.: Промиздат, 1961. 3. Батурин В.В, Эльтерман В.М. Аэрация промышленных зданий. – М.: Госстройиздат, 1963. – 260 с. 4. Посохин В.Н. Расчет местных отсосов от тепло- и газовыделяющего оборудования. – М.: Машиностроение, 1984. – 180 с. 5. Рекомендации по расчету отсосов от оборудования, выделяющего тепло и газы. – М.: Стройиздат, 1983. – 32 с. 6. Chakroun W., Quadri M.M.A. Flow characteristics a local exhaust system. – ASHRAE, Annual Meeting, 200. – P.527–539. 7. Lee S.M., Lee J.W. A new local ventilation system using a vortex flow generated with a finned rotating annular disk. – AHRAE, Winter Meeting, 2005. –P.149–158.

УДК 624.21.004.69

І.Г. Іваник, В.М. Марків, І.П. Синенько
Національний університет "Львівська політехніка",
кафедра будівельного виробництва

дИНАМІЧНИЙ РОЗРАХУНОК ПЕРЕХРЕСНО-РЕБРИСТИХ СИСТЕМ З РОЗПОДІЛЕНИМИ ПО ДОВЖИНІ МАСАМИ

Ó Іваник І.Г., Марків В.М. , Синенько І.П., 2009

Розроблено методику динамічного розрахунку просторових перехресно-ребристих систем з багатьма степенями свободи. Використовуючи змішаний метод будівельної механіки, отримано загальні рівняння визначення амплітуд вільних коливань в усіх вузлах перехресної стрижневої системи.

The developed method of determination of free vibrations in the spatial cross-ribbed systems with many degrees of freedom. Using the mixed method of structural mechanics, the got common evening of determination of amplitudes of free vibrations in all knots of the cross bar system.

Постановка проблеми. Задачі, які постали станом сьогодні перед інженером-проектувальником, розв'язуються не тільки проведенням динамічних розрахунків, які орієнтуються правильним вибором методів розрахунку, але й реальним вибором розрахункової схеми споруди. Спроби обмежитись статичним розрахунком і враховувати динамічні впливи деякими, насамперед апріорними динамічними коефіцієнтами, давно визнані як такі, що не відповідають дійсності.

Труднощі динамічного розрахунку систем зростають зі збільшенням кількості степенів свободи розрахункової схеми.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблему динамічного розрахунку будівельних конструкцій подають багато робіт як вітчизняних, так і зарубіжних дослідників. Ці роботи залишили свій відбиток на дослідженні теорії динаміки споруд і багато в чому вплинули на сьогоднішній стан нормативної бази у галузі динамічних впливів на будівлі та споруди. До визнаних класиків у галузі вивчення динамічних впливів на будівлі і споруди можна по праву віднести М.Ф. Барштейна [3], С.Ф. Пічугіна [10], A. Davenport, A. Kareem, B.J. Vickery, W. Clark, A. Tallin, B. Elingwood, G. Solary. Зокрема з іменем М.Ф. Барштейна асоціюється методика розрахунку баштових споруд на динамічну дію вітру у СНиП [9], а з іменами A. Davenport та G. Solary методика розрахунку споруд на загальноєвропейських нормах [5]…[6], яка і покладена в основу нових українських норм з навантажень [4]. Труднощі динамічного розрахунку систем зростають зі збільшенням кількості степенів свободи розрахункової схеми. Однак виникає питання, як виконувати ці розрахунки, оскільки вітчизняний проектувальник не може посилатися на деякі зарубіжні нормативні документи, зокрема [6].

Мета та завдання досліджень. У цій роботі нами намічені можливі шляхи вирішення проблеми визначення динамічних навантажень в перехресно-ребристих конструкціях з розподіленими по довжині масами на основі отриманої системи скінченних алгебраїчних рівнянь, яка є достатньою для знаходження невідомих амплітудних значень.

Методика розрахунку. За вільних коливань пружної системи, яка складається з кількох мас, на кожну з мас діють сили інерції за умови, що сили внутрішнього тертя в матеріалі не враховуються.

Канонічні рівняння складаються відповідно з умов рівності нульові повних динамічних переміщень в напрямку відкинутих зв’язків (метод сил) і відсутності у введених зв’язках динамічних реакцій (метод переміщень).

Для динамічного розрахунку складних статично невизначених систем використаємо змішаний метод будівельної механіки, при цьому за основні невідомі приймаємо динамічні реакції у відкинутих зв’язках (метод сил) і незалежні кутові і лінійні динамічні переміщення вузлів системи (метод переміщень).

Розглянемо перехресно-ребристу систему, що складається з k поздовжніх балок, опертих на кінцях на жорсткі опори, і u поперечних балок, які об’єднують поздовжні балки в просторову систему (рис. 1). Приймемо, що нейтральні осі поздовжніх і поперечних балок лежать в одній горизонтальній площині XOY.

Система має $n=ku$ степенів свободи, яким відповідають частоти вільних коливань $w_1, w_2,\dots, w_n$.

За основну систему приймемо перехресно-ребристу систему матеріальних осей балок, умовно розрізану на прості елементи – вузли і стрижні між вузлами разом з діючими в них зовнішніми динамічними навантаженнями і внутрішніми зусиллями. Напружено-деформований стан балок такої системи за дії динамічного навантаження визначається трьома компонентами сил і трьома компонентами згинальних моментів, а їх деформації – трьома компонентами лінійних і трьома компонентами кутових переміщень.

Розрахункову модель прольотної будови перехресної стрижневої статично невизначеної системи подамо у вигляді системи взаємодіючих балок на пружно осідаючих опорах, якими є балки іншого напряму, при цьому поздовжні балки мають u степенів свободи, поперечні – відповідно k степенями свободи.

Для балок напрямку OX (k-х балок) повне переміщення u мас під дією інерційних сил $J_{u1}, J_{u2},\dots,J_{uk}$ під час використання методу сил можна подати у вигляді

$$\begin{aligned} y_{1k} &= d_{11k}J_{k1} + d_{12k}J_{k2} + \dots + d_{1uk}J_{ku};\\ y_{2k} &= d_{21k}J_{k2} + d_{22k}J_{k2} + \dots + d_{2uk}J_{ku};\\ &\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\\ y_{uk} &= d_{1uk}J_{k1} + d_{1uk}J_{k2} + \dots + d_{uuk}J_{ku}, \end{aligned} \qquad (1)$$

де d_{ii}, d_{ik} – відповідно переміщення точок прикладення мас, викликаних силами P=1; J_{ik} – сила інерції мас.

Для балок напрямку $OУ$ (u-х балок) повне переміщення k мас під дією інерційних сил $J_{u1}, J_{u2},\dots,J_{uk}$ можна подати у вигляді:

$$\begin{aligned} y_{1u} &= d_{11u}J_{u1} + d_{12u}J_{u2} + \dots + d_{1ku}J_{ku};\\ y_{2u} &= d_{21u}J_{u2} + d_{22u}J_{u2} + \dots + d_{2ku}J_{ku};\\ &\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\\ y_{ku} &= d_{1ku}J_{u1} + d_{1ku}J_{u2} + \dots + d_{kku}J_{ku}, \end{aligned} \qquad (2)$$

де d_{ii}, d_{iu} – відповідно переміщення точок прикладення мас, викликаних силами P=1; J_{iu} – сила інерції мас.

У матричній формі рівняння (1)–(2) запишуться у вигляді

$$\overline{y} = -\overline{A}\overline{M}\overline{y'} \tag{3}$$

або

$$\overline{A}\overline{M}\overline{y'} + \overline{y} = 0\,, \tag{4}$$

де

$$\overline{A} = \begin{bmatrix} d_{11k} & \cdots & d_{1uk} \\ \ldots & \ldots & \ldots \\ d_{1ku} & \cdots & d_{kku} \end{bmatrix} \tag{5}$$

матриця коефіцієнтів податливості або одиничних переміщень.

Діагональна матриця мас запишеться у вигляді

$$\overline{M} = \begin{bmatrix} M_{1k} & \ldots & 0 \\ \ldots & \ldots & \ldots \\ 0 & \ldots & M_{ku} \end{bmatrix}, \tag{6}$$

а матриця-стовпець вектора переміщень і прискорень

$$\overline{y} = \begin{bmatrix} y_{1k} \\ \ldots \\ y_{ku} \end{bmatrix}; \tag{7}$$

$$\overline{\ddot{y}} = \begin{bmatrix} \ddot{y}_{1k} \\ \ldots \\ \ddot{y}_{ku} \end{bmatrix}. \tag{8}$$

Елементи $d_{11k} \ldots d_{k\,ku}$ матриці податливості або одиничних переміщень визначаються методами будівельної механіки як переміщення центра ваги *u*-ої маси від дії одиничної сили, яка прикладена до центра ваги *k*-ої маси.

Враховуючи, що $J_{ik},= -m_{ik}y''_{ik}$, і $J_{iu},= -m_{iu}y''_{iu},$ рівняння типу (1) і (2) можна записати у такому вигляді (рисунок):

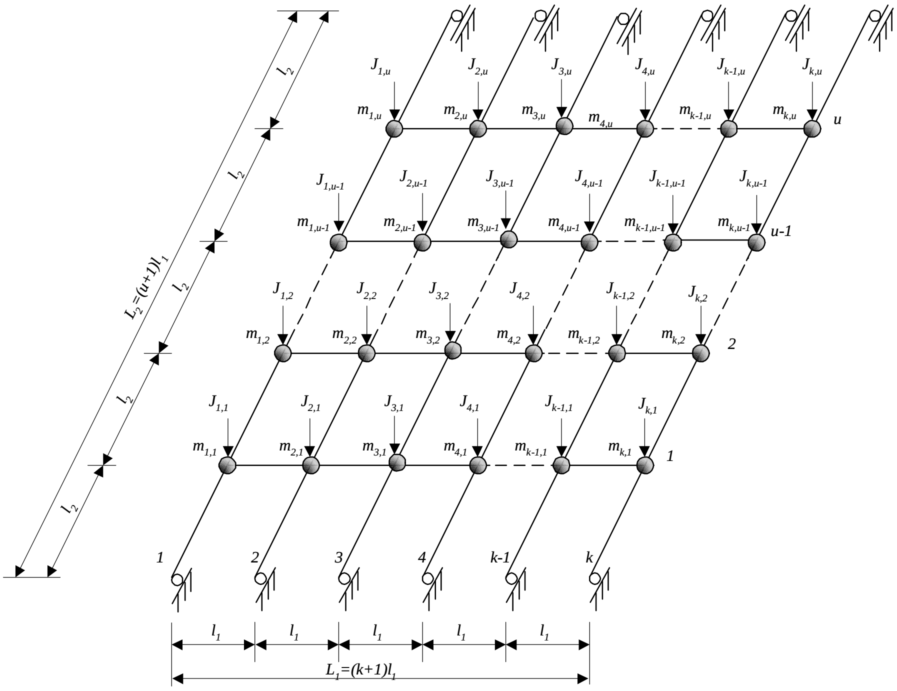
$$\begin{aligned} &y_{1k} - d_{11k}\, m_{1k}y''_{1k} - d_{12k}\, m_{2k}y''_{2k} - \ldots - d_{1uk}\, m_{uk}y''_{uk} = 0; \\ &y_{2k} - d_{21k}\, m_{1k}y''_{1k} - d_{22k}\, m_{2k}y''_{2k} - \ldots - d_{2uk}\, m_{uk}y''_{uk} = 0; \\ &\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ &y_{uk} - d_{1uk}\, m_{1k}y''_{1k} - d_{1uk}\, m_{2k}y''_{2k} - \ldots - d_{uuk}\, m_{uk}y''_{uk} = 0; \end{aligned} \tag{9}$$

$$\begin{aligned} &y_{1u} - d_{11u}\, m_{1u}y''_{1u} - d_{12u}\, m_{2u}y''_{2u} - \ldots - d_{1ku}\, m_{ku}y''_{ku} = 0; \\ &y_{2u} - d_{21u}\, m_{1u}y''_{1u} - d_{22u}\, m_{2u}y''_{2u} - \ldots - d_{2ku}\, m_{ku}y''_{ku} = 0; \\ &\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ &y_{ku} - d_{1ku}\, m_{1u}y''_{1u} - d_{1ku}\, m_{2u}y''_{2u} - \ldots - d_{kku}\, m_{ku}y''_{ku} = 0. \end{aligned} \tag{10}$$

Система рівнянь (9)...(10) має часткові розв’язки:

$$\begin{aligned} &y_{1k} = A_{1k} \sin(w\,t + l); \\ &y_{2k} = A_{2k} \sin(w\,t + l); \\ &\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ &y_{uk} = A_{uk} \sin(w\,t + l); \end{aligned} \tag{11}$$

$$\begin{aligned} &y_{1u} = A_{1u} \sin(w\,t + l); \\ &y_{2u} = A_{2u} \sin(w\,t + l); \\ &\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ &y_{ku} = A_{ku} \sin(w\,t + l), \end{aligned} \tag{12}$$



Розрахункова модель перехресно-ребристої системи

другі похідні яких мають вигляд

$$y''_{1k} = - w^2 A_{1k} \sin (w t + l);$$
$$y''_{2k} = - w^2 A_{2k} \sin (w t + l);$$
$$\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \qquad (13)$$
$$y''_{uk} = - w^2 A_{uk} \sin (w t + l);$$
$$y''_{1u} = - w^2 A_{1u} \sin (w t + l);$$
$$y''_{2u} = - w^2 A_{2u} \sin (w t + l);$$
$$\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \qquad (14)$$
$$y''_{ku} = - w^2 A_{ku} \sin (w t + l).$$

Підставивши вирази похідних (13)...(14) y''_{1k}, y''_{2k},..., y''_{uk}, y''_{1u}, y''_{2u},…, y''_{ku} у рівняння (9)–(10), отримаємо:

$$y_{1k} = - (d_{11k} m_{1k} w^2 A_{1k} \sin (w t + l) + d_{12k} m_{2k} w^2 A_{2k} \sin (w t + l) + \ldots$$
$$\ldots + d_{1uk} m_{uk} w^2 A_{uk} \sin (w t + l));$$
$$y_{2k} = - (d_{21k} m_{1k} w^2 A_{1k} \sin (w t + l) + d_{22k} m_{2k} w^2 A_{2k} \sin (w t + l) + \ldots$$
$$\ldots + d_{2uk} m_{uk} w^2 A_{uk} \sin (w t + l));$$
$$\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \qquad (15)$$
$$y_{uk} = - (d_{u1k} m_{1u} w^2 A_{1u} \sin (w t + l) + d_{u2k} m_{2k} w^2 A_{2k} \sin (w t + l) + \ldots$$
$$\ldots + d_{uuk} m_{uk} w^2 A_{uk} \sin (w t + l));$$

$$y_{1u} = - (d_{11u} m_{1u} w^2 A_{1u} \sin (w t + l) + d_{12u} m_{2u} w^2 A_{2u} \sin (w t + l) + \ldots$$
$$\ldots + d_{1ku} m_{ku} w^2 A_{ku} \sin (w t + l));$$
$$y_{2u} = - (d_{21u} m_{1u} w^2 A_{1u} \sin (w t + l) + d_{22u} m_{2u} w^2 A_{2u} \sin (w t + l) + \ldots$$
$$\ldots + d_{2ku} m_{ku} w^2 A_{ku} \sin (w t + l));$$
$$\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \qquad (16)$$
$$y_{ku} = - (d_{k1u} m_{1u} w^2 A_{1u} \sin (w t + l) + d_{k2u} m_{2u} w^2 A_{2u} \sin (w t + l) + \ldots$$
$$\ldots + d_{kku} m_{ku} w^2 A_{ku} \sin (w t + l)).$$

Перехресно-ребриста система має $n=ku$ степені свободи і стільки ж вузлів перетину балок двох напрямів. У будь-якому вузлі перетину виконуються такі умови:

– прогин у вузлі n в напрямку ОХ дорівнює прогину у цьому ж вузлі в напрямку ОУ: $y_{uk} = y_{ku}=y_n$;

– зосереджена маса у вузлі n в напрямку ОХ дорівнює зосередженій масі у цьому ж вузлі в напрямку ОУ: $m_{uk} = m_{ku}=m_n$;

– амплітудне значення у вузлі n в напрямку ОХ дорівнює амплітудному значенню у цьому ж вузлі в напрямку ОУ: $A_{uk} = A_{ku}=A_n$.

Враховуючи вищезазначені умови, після математичних операцій отримаємо

$$\begin{gathered}
(d_{11k} - d_{11u})\, m_1 A_1 + (d_{12k} - d_{12u}) m_2 A_2 + \ldots + (d_{1uk} - d_{1ku})\, m_n A_n = 0; \\
(d_{21k} - d_{21u})\, m_1 A_1 + (d_{22k} - d_{22u}) m_2 A_2 + \ldots + (d_{2uk} - d_{2ku})\, m_n A_n = 0; \\
\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\
(d_{1uk} - d_{1ku})\, m_1 A_1 + (d_{u2k} - d_{k2u}) m_2 A_2 + \ldots + (d_{uuk} - d_{kku})\, m_n A_n = 0.
\end{gathered} \tag{17}$$

або

$$\begin{gathered}
(d_{11k} w^2 + d_{11u} w^2 - 2)\, m_1 A_1 + (d_{12k} w^2 + d_{12u} w^2) m_2 A_2 + \ldots \\
\ldots + (d_{1uk} w^2 + d_{1ku} w^2)\, m_n A_n = 0; \\
(d_{21k} w^2 + d_{21u} w^2)\, m_1 A_1 + (d_{22k} w^2 + d_{22u} w^2 - 2) m_2 A_2 + \ldots \\
\ldots + (d_{2uk} w^2 + d_{2ku} w^2)\, m_n A_n = 0; \\
\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\
(d_{1uk} w^2 + d_{1ku} w^2) m_1 A_1 + (d_{u2k} w^2 + d_{k2u} w^2) m_2 A_2 + \ldots \\
+ (d_{uuk} w^2 + d_{kku} w^2 - 2)\, m_n A_n = 0.
\end{gathered} \tag{18}$$

Система рівнянь (17) має розв’язок, коли визначник, складений з коефіцієнтів за амплітуд, що дорівнюють нулеві. Разом з тим розв’язок цієї системи вказує на пряму залежність між геометричними параметрами перехресно-ребристої системи.

Визначник з коефіцієнтів за амплітуд в системі рівнянь (18) за умови $1/w^2 = l$ матиме вигляд

$$D = \begin{bmatrix} \delta_{11k} + \delta_{11u} - 2\lambda & \cdots & \delta_{1uk} + \delta_{1ku} \\ \cdots & \cdots & \cdots \\ \delta_{1uk} + \delta_{1ku} & \cdots & \delta_{uuk} + \delta_{kku} - 2\lambda \end{bmatrix} \tag{19}$$

Розкривши визначник (19), отримаємо рівняння k-ї степеня стосовно λ, розв’язавши яке, знаходять k коренів l_{uk} і визначають частоти вільних коливань $\omega_{uk} = \sqrt{\dfrac{1}{\lambda_{uk}}}$.

Висновок. Отримана система скінченних алгебраїчних рівнянь (18), складена на основі розв’язку диференційних рівнянь (3), є достатньою для знаходження невідомих амплітудних значень $A_1, A_2, \ldots, A_n$. Значення коефіцієнтів за невідомих визначаємо з перемноження епюр від одиничних моментів згідно з способом введення уявних шарнірів [1].

1. Кваша В.Г., Іваник І.Г. Інженерний метод просторового розрахунку плитно-ребристих залізобетонних систем. Проблеми теорії і практики залізобетону // Ювілейна науково-технічна конференція, присвячена 100-річчю від дня народження д.т.н., проф.. М.С.Торяника. Збірник наукових статей. – Полтава: В-во Полтавського державного технічного університету ім.. Кондратюка,, 29-31 жовтня 1997 р. – С. 186–189. 2. Іваник І.Г. Просторовий розрахунок перехресно-ребристих залізобетонних систем з урахуванням фізичної нелінійності: Рукопис дисертації на здобуття вченої степені канд.техн. наук. – Львів, 2000. 3. Барнштейн М.Ф., Ильичев В.А., Коренев Б.Г. и др. Динамический расчет зданий и сооружений: Справочник проектировщика. – М.: Стройиздат, 1984. – 303 с.