

Машины і обладнання технологічних процесів будівельної індустрії

УДК 693.548.4.001.5

ВДОСКОНАЛЕННЯ ДИНАМІКИ РОБОТИ КАСЕТНИХ УСТАНОВОК ДЛЯ ФОРМУВАННЯ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ВИРОБІВ

В.Й. Сівко, В.Б. Яковенко, Є.О.Мищук*

Київський національний університет будівництва і архітектури,
03680, Повітрофлотський просп., 31, Київ, Україна, jmishchuk@gmail.com

АНОТАЦІЯ. В роботі представлені результати експериментальних досліджень форм власних коливань касетних установок з врахуванням і без врахування бетонної суміші. На основі досліджень проведено аналіз найбільш сприятливих режимів роботи касетної установки. Наведено результати чисельних розрахунків касетної установки за методом кінцевих елементів з врахуванням коефіцієнтів впливу. Отримано п'ять частот і відповідні їм форми власних коливань аналіз яких показав, що найбільш допустимою з технологічної точки зору є третя форма.

Ключові слова: касетна установка, форма коливань, бетонна суміш, частота коливань.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ДИНАМИКИ РАБОТЫ КАСЕТНЫХ УСТАНОВОК ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ИЗДЕЛИЙ

В.И. Сивко, В.Б. Яковенко, Е.А. Мищук*

Киевский национальный университет строительства и архитектуры,
03680, Воздухофлотский просп., 31, Киев, Украина, jmishchuk@gmail.com

АННОТАЦИЯ. В работе представлены результаты экспериментальных исследований форм собственных колебаний касетных установок с учетом и без учета бетонной смеси. На основе исследований проведен анализ наиболее благоприятных режимов работы касетной установки. Приведены результаты численных расчетов касетной установки по методу конечных элементов с учетом коэффициентов влияния. Получено пять частот и соответствующие им формы собственных колебаний анализ которых показал, что наиболее допустимой с технологической точки зрения является третья форма.

Ключевые слова: касетная установка, форма колебаний, бетонная смесь, частота колебаний

IMPROVEMENT OF DYNAMICS OF CARTRIDGE WORKS FOR FORMING RAIL CONCRETE PRODUCTS

V.J. Sivko, V.B. Yakovenko, E.O.Mishchuk*

Kyiv National University of Construction and Architecture
03680, Povitroflotsky av.31, Kyiv, Ukraine, jmishchuk@gmail.com

ABSTRACT. The paper presents the results of experimental studies of the patterns of eigenvalues of cassette installations with and without consideration of the concrete mixture. On the basis of research, an analysis of the most favorable modes of operation of the cassette installation is carried out. The results of numerical calculations of the cassette system by the finite element method taking into account the coefficients of influence are given. The five frequencies and the corresponding forms of their own oscillations have been obtained, the analysis of which has shown that the most feasible from the technological point of view is the third form.

Keywords: cassette installation, oscillation form, concrete mix, frequency of oscillations

Постановка задачі і аналіз останніх досліджень. Касетні установки отримали широке застосування для формування виробів домобудівництва: панелей перегородок,



внутрішніх стін, плит перекриття. Конструктивно вони представляють набір роздільних листів і парових просторів, встановлених з зазором на товщину виробу (10...16 см). Бетонна суміш подається у вузьку щілину на глибину до 2,5 м, яка заповнена арматурою і конструктивними технологічними деталями: розпірними конусами, закладними елементами, дверними блоками. Ущільнення суміші відбувається за рахунок коливань роздільних листів вібраторами, що навішуються на них збоку (рис.1).

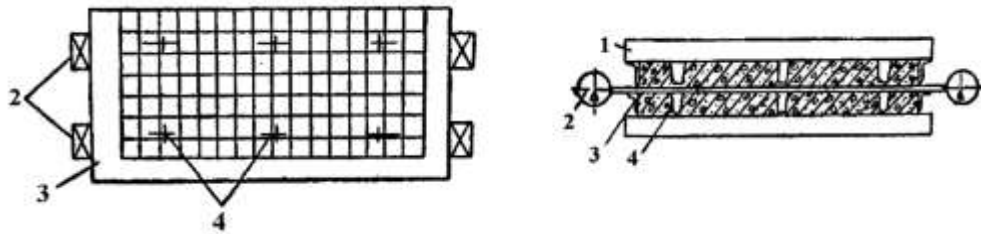


Рис. 1. Фрагмент касетної установки:

1 – паровий відсік; 2 – вібробудувач; 3 – бортоснащення; 4 – розпірні конуси

Касетна технологія виготовлення залізобетонних виробів характеризується простотою обладнання, високою продуктивністю, проте має ряд суттєвих недоліків: використання рухомих бетонних сумішей (осадка конуса 12...16 см), що призводить до підвищених витрат цементу; незадовільна в ряді випадків якість поверхні, що потребує додаткових шпаклювальних робіт; неоднорідні показники міцності по висоті виробу.

Аналіз конструкцій касетних установок і дослідження промислового обладнання показали, що коливання роздільних листів мають нерівномірний характер і малу величину (0,1...0,2 мм). Це не дозволяє добитися якісного ущільнення бетонної суміші.

Мета роботи. З ціллю вдосконалення динаміки роботи касетних установок вивчалися форми власних коливань листів без врахування і з врахуванням бетонної суміші, і виконувались дослідження режимів їх роботи, найбільш сприятливих для ущільнення бетону.

Викладення основного матеріалу дослідження. Чисельні розрахунки виконані по методу кінцевих елементів з врахуванням коефіцієнтів впливу, відомих із курсу опору матеріалів і які показують величину прогину від дії одиничного навантаження при розгляді пластини як двовимірної балки. Наприклад для системи з трьома степенями свободи маємо три коефіцієнта прямого впливу a_{11}, a_{22}, a_{33} , що відповідають одиничним силам і прогинам, які вимірюються в точках прикладання цих сил, і шести коефіцієнтів спряженого впливу $a_{12}, a_{21}, a_{13}, a_{31}, a_{23}, a_{32}$, що відповідають різним точкам прикладення одиничних сил і вимірюваних прогинів. Центри мас, на які виконано розбиття, сприймають дію сил $m_1\ddot{x}_1, m_2\ddot{x}_2, m_3\ddot{x}_3$, де m_1, m_2, m_3 - маси кінцевих елементів; $\ddot{x}_1, \ddot{x}_2, \ddot{x}_3$ - прискорення цих мас.

Прогин під дією цих сил в першій масі дорівнює:

$$x_1 = -\alpha_{11}m_1\ddot{x}_1 - \alpha_{12}m_2\ddot{x}_2 - \alpha_{13}m_3\ddot{x}_3$$

Аналогічно для другої і третьої мас:

$$x_2 = -\alpha_{21}m_1\ddot{x}_1 - \alpha_{22}m_2\ddot{x}_2 - \alpha_{23}m_3\ddot{x}_3$$

$$x_3 = -\alpha_{31}m_1\ddot{x}_1 - \alpha_{32}m_2\ddot{x}_2 - \alpha_{33}m_3\ddot{x}_3$$

Приведені рівняння описують поведінку розглядуваної системи з врахуванням сил інерції і пружних відновлюваних сил, закладених в коефіцієнт впливу. Під дією

змушувальної сили $P_0 \sin \omega t$ (P_0 - амплітуда змушувального зусилля; ω - частота) в першій масі статичні деформації в кожній із мас будуть $\alpha_{11} P_0 \sin \omega t$; $\alpha_{21} P_0 \sin \omega t$; $\alpha_{31} P_0 \sin \omega t$.

Тоді рівняння змушувальних коливань:

$$\begin{cases} x_1 = -\alpha_{11} m_1 \ddot{x}_1 - \alpha_{12} m_2 \ddot{x}_2 - \alpha_{13} m_3 \ddot{x}_3 + \alpha_{11} P_0 \sin \omega t, \\ x_2 = -\alpha_{21} m_1 \ddot{x}_1 - \alpha_{22} m_2 \ddot{x}_2 - \alpha_{23} m_3 \ddot{x}_3 + \alpha_{21} P_0 \sin \omega t, \\ x_3 = -\alpha_{31} m_1 \ddot{x}_1 - \alpha_{32} m_2 \ddot{x}_2 - \alpha_{33} m_3 \ddot{x}_3 + \alpha_{31} P_0 \sin \omega t. \end{cases} \quad (1)$$

Припускаючи, що рішення мають вид:

$$x_1 = a_1 \sin \omega t, x_2 = a_2 \sin \omega t, x_3 = a_3 \sin \omega t \quad (2)$$

де a_i - амплітуда переміщення, після підстановки в (1) їх можна звести до наступної форми:

$$\begin{cases} (m_1 \alpha_{11} - 1/\omega^2) a_1 + m_2 \alpha_{12} a_2 + m_3 \alpha_{13} a_3 = -\alpha_{11} P_0 / \omega^2; \\ m_1 \alpha_{21} a_1 + (m_2 \alpha_{22} - 1/\omega^2) a_2 + m_3 \alpha_{23} a_3 = -\alpha_{21} P_0 / \omega^2; \\ m_1 \alpha_{31} a_1 + m_2 \alpha_{32} a_2 + (m_3 \alpha_{33} - 1/\omega^2) a_3 = -\alpha_{31} P_0 / \omega^2. \end{cases} \quad (3)$$

Визначник цієї системи:

$$\Delta = \begin{vmatrix} m_1 \alpha_{11} - 1/\omega^2, & m_2 \alpha_{12}, & m_3 \alpha_{13}, \\ m_1 \alpha_{12}, & m_2 \alpha_{22} - 1/\omega^2, & m_3 \alpha_{23}, \\ m_1 \alpha_{31}, & m_2 \alpha_{32}, & m_3 \alpha_{33} - 1/\omega^2. \end{vmatrix} \quad (4)$$

Розкладаючи написаний визначник, отримаємо кубічне рівняння відносно $1/\omega^2$, відоме під назвою «рівняння частот», яке має три кореня, що визначають три власні частоти. Кожному з цих рішень відповідають значення амплітуд, котрі визначають конфігурацію системи при коливанні (форму коливань). Таким чином, маємо три види власних коливань.

$$\text{Амплітуда деформацій } a_1 = \frac{\Delta_{a1}}{\Delta}; a_2 = \frac{\Delta_{a2}}{\Delta}; a_3 = \frac{\Delta_{a3}}{\Delta},$$

де

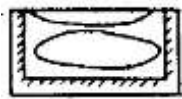
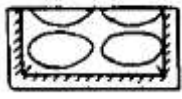
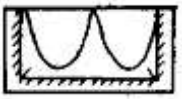
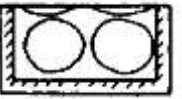
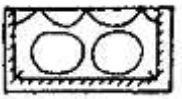
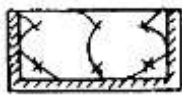
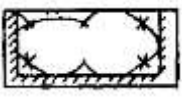
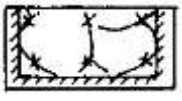
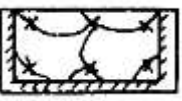
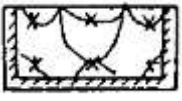
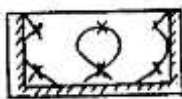
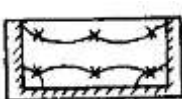

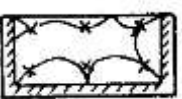

$$\Delta_{a1} = \begin{vmatrix} -\alpha_{11} P_0 / \omega^2, & m_2 \alpha_{12}, & m_3 \alpha_{13}, \\ -\alpha_{21} P_0 / \omega^2, & m_2 \alpha_{22} - 1/\omega^2, & m_3 \alpha_{23}, \\ -\alpha_{31} P_0 / \omega^2, & m_2 \alpha_{32}, & m_3 \alpha_{33} - 1/\omega^2 \end{vmatrix} \quad (5)$$

Аналогічно визначаються Δ_{a2}, Δ_{a3} .

Із збільшенням кількості розбиття рівняння коливань (1) ускладнюється, проте точність рішення збільшується. В даній роботі розрахункова модель отримана діленням листа на 7x16 кінцевих елементів. Розрахунки виконані на ПК. Виконаний розрахунок власних коливань вільної пластини без врахування і з врахуванням розпірних конусів, власних і змушених коливань пластин з бетонною сумішшю. Отримано п'ять частот і відповідних їм форм власних коливань, аналіз яких показав, що найбільш допустимою з технологічної точки зору є третя форма (табл. 1), яка має дві на півхвилі в поздовжньому напрямку з вузловою лінією по середині пластини.



Табл. 1. Форми коливань пластини касетної установки для формування залізобетонних виробів

Власні коливання вільної пластини без розпірних конусів					
Частота, Гц	12,0	15,7	18,7	20,5	23,5
Форма коливання					
Власні коливання з врахуванням бетонної суміші					
Частота, Гц	13,51	18,65	19,97	21,06	37,34
Форма коливання					
Вимушені коливання з бетонною сумішшю					
Частота, Гц	24,0	36,68	43,0	49,0	62,0
Форма коливання					

Розрахунок частот власних коливань пластини з врахуванням розпірних конусів, схема розташування яких приведена на рисунку, показав, що значення частот і відповідних їм форм коливань практично не змінились.

Врахування бетонної суміші при коливаннях роздільних листів виконувалось при значеннях коефіцієнтів приєднання маси бетону $\alpha = 0,3$ з двох боків. Значення частот і форм и власних коливань листа з врахуванням приєднаної маси приведені в табл. 2. В порівнянні з коливаннями вільної пластини, значення частот дещо збільшились. Значить, бетонна суміш оказує вплив на спектр частот роздільних листів. Проте, форми коливань залишились практично незмінними, з більш чіткими лініями перегину листа.

Форми змушених коливань пластини з бетонною сумішшю вивчались при частотах характерних для заводських умов формування (24; 36,8; 43; 49; 62; Гц). Найбільш часто зустрічається частота 43 Гц. Із таблиці 3 видно, що при цьому є багато точок перегину, які вказують на вірогідну причину нерівномірної міцності виробу по площі.

Експериментальні дослідження касетних установок виконувались в натурних умовах, вимірюванням амплітуд коливань роздільних листів з використанням спеціального віброщупа, закріпленого на телескопічній штанзі і пов'язаного з осцилографом. Така конструкція датчика дозволила виміряти динамічний режим практично в будь-якій точці площини листа при різних видах технологічного навантаження. Забір переміщень проводився в точках на висоті 250, 1250 і 2000 мм від верху пластини. На кожному рівні знімалися покази в семи точках: дві 1,1 і 1,7 – за межами робочої зони, на консольних ділянках роздільного листа і п'яти (1,2; 1,3; 1,4; 1,5; 1,6) – в робочій зоні на рівних відстанях друг від друга. Результати замірів для рівня 250 мм і заповнення відсіків бетоном на одну третю представлені в табл. 2. Порівнюючи розрахункові і дослідні значення переміщення роздільного листа, неважко бачити, що вони задовільно узгоджуються (середня похибка складає 18%). Неспівпадіння значень для точки 1,1 викликано неможливістю суворого врахування способу заземлення листа в реальних умовах роботи касетних установок.

Табл. 2. Результати замірів амплітуд коливань роздільного листа касетної установки

№ точки	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7
A дослідна, мм	0,86	0,6	0,7	0,6	0,36	0,25	0,6
A розрахункова, мм	1,81	0,71	0,71	0,70	0,27	0,18	0,72

Висновок

Аналіз викладених досліджень дозволив визначити режими коливань роздільних листів і відповідні їм форми коливань, що задовольняють технологічним вимогам підвищення інтенсивності коливань (частоти 46, 48 і 49 Гц). З ціллю зменшення непродуктивної передачі енергії на парові відсіки і станину машини в цілому і підвищення амплітуди коливань роздільних листів без суттєвих переробок машин є можливим дати рекомендації по розміщенню технологічного оснащення у вузлових лініях.

На сьогодні викладена методика вдосконалення динамічних параметрів касетних установок отримала у виробничих умовах практичну перевірку і задовільну оцінку.

Література

1. Сівко В.Й. Напружено-деформований стан будівельних матеріалів в технологічних процесах виробництва / В.Й. Сівко, В.А. Поляченко, М.П. Кузьмінець, Є.В.Сівко, Ю.В. Науменко – К.: НТУ, 2010. – 352 с. – Бібліогр.: С.342 - 347
2. Каплун А.Б. ANSYS в руках інженера: практическое руководство Каплун А.Б., Морозов Е.М., Олферьева М.А. – М.:Едиториал УРСС, 2003. – 272 с.
3. Басов К.А. ANSYS в примерах и задачах /Под общ. ред. Д.Г. Красковского. – М.: КомпьютерПресс, 2002. – 224 с.: ил.
4. Борщевский А.А. Механическое оборудование для производства строительных материалов и изделий: Учеб. для вузов по спец. / А.А.Борщевский, А.С. Ильин. – М.: Высш.шк., 1987. – 368 с.
5. Стефанов Б.В. Технология бетонных и железобетонных изделий / Б.В. Стефанов, Н.Г. Русанов, А.А. Волянский. – 3-е изд., перераб. и доп. – К.: Вища школа. Головное изд-во, 1982. – 406 с.
6. Молчанов П.О. Аналіз поперечних коливань активного робочого органу касетної установки /П.О. Молчанов, М.П. Нестеренко, В.М.Чередніков // Збірник наукових праць. Серія галузеве машинобудування, будівництв. – 2012. - №1 (31). – С. 240-247.
7. Молчанов П.О. Вивчення коливань активного робочого органу вібраційної касетної установки та їх динамічних характеристик / П.О. Молчанов, М.П. Нестеренко, В.М. Чередніков // Збірник наукових праць. Серія галузеве машинобудування, будівництв. – 2013. - №1 (36). – С. 27-38.
8. Сівко В.Й. Деякі питання теорії будівельних матеріалів і сумішей /В.Й.Сівко, М.П. Нестеренко// Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництв). – 2000. - №6. – С. 84-89.
9. Сівко В.Й. Прикладна механіка робочих процесів машин /В.Й. Сівко, М.П. Кузьмінець. – К.:НТУ, 2009 – 349 с.

References

1. Sivko, V.Y., Polyachenko, V.A., Kuz'minets', M.P., Sivko, J.V., Naumenko, U.V. (2010). *Napruzheno-deformovanyu stan budivel'nykh materialiv v tekhnolohichnykh protsesakh vyrobnystva [Stress-deformed state of building materials in technological processes of production]*. Kyiv: NTU. – (in Ukrainian)
2. Kaplun, A.B., Morozov, E.M., Olfer'eva M.A. (2003). *ANSIS v rukakh ynzhenera: praktycheskoe rukovodstvo [ANSIS in the hands of an engineer: practical guide]*. Moscow: Edytoryal URSS. – (in Ukrainian)
3. Basov, K.A. (2002). *ANSYS v prymerakh y zadachakh [ANSYS in examples and tasks] (ed. D.H. Kraskovskoho)*. Moscow: Komp'yuterPress. – (in Russian)
4. Borshchevskyy, A.A. Yl'yn, A.S. (1987). *Mekhanycheskoe oborudovanye dlya proyzvodstva stroytel'nykh materyalov y yzdelyu: Ucheb. dlya vuzov po spets [Mechanical equipment for the production of building materials and products: Textbook. for the institutes of higher education on specialty]*. Moscow: Vyssh.shk. – (in Russian)
5. Stefanov, B.V., Rusanov, N.H., Volyanskyy, A.A. (1982). *Tekhnolohyya betonnykh y zhelezobetonnykh yzdelyy [Technology of concrete and reinforced concrete products (3 ed.)]*. Kyiv: Vyshcha shkola. Holovnoe yzd-vo. – (in Russian)
6. Molchanov, P.O., Nesterenko, M.P., Cherednikov, V.M. (2012). *Analiz poperechnykh kolyvan' aktyvnoho robochoho orhanu kasetnoyi ustanovky [Analysis of transverse vibrations of the active working*



unit of the cassette installation]. *Zbirnyk naukovykh prats'. Seriya haluzeve mashynobuduvannya, budivnytstv [Collection of scientific works. A series of branch engineering, construction], 1 (31), 240-247. – (in Ukrainian)*

7. Molchanov, P.O., Nesterenko, M.P., Cherednikov, V.M. (2013). Vyvchennya kolyvan' aktivnoho robochoho orhana vibratsiynoyi kasetnoyi ustanovky ta yikh dynamichnykh kharakterystyk [Studying the vibration of the active working body of the vibration cassette system and their dynamic characteristics]. *Zbirnyk naukovykh prats'. Seriya haluzeve mashynobuduvannya, budivnytstv [Collection of scientific works. A series of branch engineering, construction], 1 (36), 27-38. – (in Russian)*

8. Sivko, V.Y., Nesterenko, M.P. (2000). Deyaki pytannya teoriiy budivel'nykh materialiv i sumishey [Some questions in the theory of building materials and mixtures]. *Zbirnyk naukovykh prats' (haluzeve mashynobuduvannya, budivnytstv) [Collection of scientific works (branch mechanical engineering, constructions)], 6, 84-89. – (in Ukrainian)*

9. Sivko, V.Y., Kuz'minets', M.P. (2009). *Prykladna mekhanika robochykh protsesiv mashyn [Applied mechanics of working processes of machines]. Kyiv: NTU. – (in Ukrainian)*

Надійшло до редакції 25.04.2016 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Кузьминець М.П.