

УДК 693.548.4.001.5

Дослідження форм власних коливань листів касетних установок для формування залізобетонних виробів

Володимир Сівко¹, Валерій Яковенко², Євген Міщук³

¹Національний транспортний університет,
01010, вул. Ємельяновича-Павленко 1, Київ, Україна,
^{2,3}Київський національний університет будівництва і архітектури,
03037, Повітрофлотський просп., 31, Київ, Україна,
¹jqc20749@cuoly.com, <https://orcid.org/0000-0003-4826-6601>
²vyakoven@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-8759-8652>
³jmishchuk@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-7850-0975>

Received: 07.04.2020; Accepted: 25.05.2020
<https://doi.org/10.32347/gbdmm2020.95.0301>

Анотація. Касетні установки отримали широке застосування для формування виробів будівництва: панелей перегородок, внутрішніх стін, плит перекриття. 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. 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, які 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. Розрахункова модель отримана діленням листа на 7x16 кінцевих елементів. Отримано п'ять частот і відповідних їм форм власних коливань, аналіз яких показав, що найбільш допустимою з технологічної точки зору є третя форма, яка має дві напівхвилі в поздовжньому напрямку з вузловою лінією по середині пластини. Врахування бетонної суміші при коливаннях роздільних листів виконувалось при значеннях коефіцієнтів приєднання маси бето-

ну $\alpha = 0,3$ з двох боків. 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.

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

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

При швидкому будівництві будинків актуальним є застосування виробів, формування яких здійснюється касетними установками: панелей перегородок, внутрішніх стін, плит перекриття [1]. Конструктивно вони представляють набір роздільних листів і парових просторів, встановлених із 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 елементами: розпірними конусами, закладними деталями, дверними блоками [2, 3]. Ущільнення суміші відбувається за рахунок коливань роздільних листів вібраторами, що навішуються збоку на корпус установки [3, 4] (Рис.1).

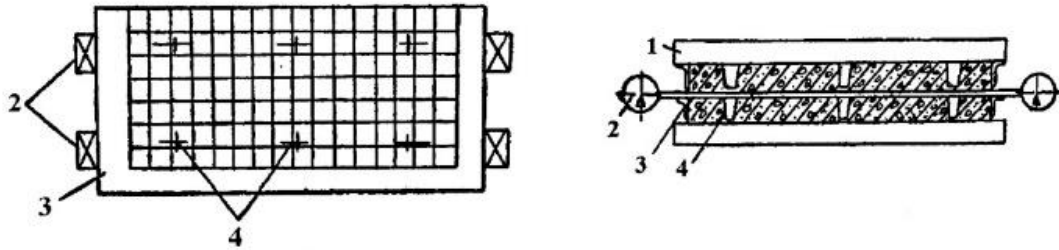


Рис. 1. Фрагмент касетної установки:

1 – паровий відсік; 2 – віброзбуджувач; 3 – бортоснащення; 4 – розпірні конуси.

Fig. 1. Fragment of cassette device:

1 – steam compartment; 2 – vibrating exciter; 3 – board equipment; 4 – spacer cones

Касетна технологія виготовлення залізо-бетонних виробів характеризується простою 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 [3-6] 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 ДОСЛІДЖЕННЯ

Дослідити форми власних коливань листів касетних установок без врахування і з врахуванням бетонної суміші та проаналізувати режими їх роботи, визначивши найбільш сприятливі умови для ущільнення бетону.

ВИКЛАД 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 [7-9]. 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 прикладання 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 збуджуючої сили $P_0 \sin \omega t$ (P_0 - амплітуда збуджуючого 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 збуджуючих 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.

Амплітуда деформацій

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

де

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

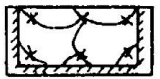
Аналогічно визначаються Δ_{a2}, Δ_{a3} .

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.

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 [10].

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.

Таблиця 1. Форми коливань пластини касетної установки для формування залізобетонних виробів**Table 1.** Forms of oscillations of the plate of the cassette device for the formation of reinforced concrete products

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					

Форми змушених коливань пластини з бетонною сумішшю вивчалися при частотах характерних для заводських умов формування (24; 36,8; 43; 49; 62; Гц). Найбільш часто зустрічається частота 43 Гц. Із Табл. 1 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 влюбій точці площини листа при різних видах технологічного навантаження. Замір 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%). Наявність похибки значень для точки 1,1 викликано неможливістю точного врахування способу заземлення листа в реальних умовах роботи касетних установок.

ВИСНОВКИ

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) [10, 11]. З метою зменшення

Таблиця 2. Результати замірів амплітуд коливань роздільного листа касетної установки**Table 2.** The results of measurements of the amplitudes of oscillations of the separate sheet of the cassette device

№ 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

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.

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. **Стефанов Б. В.** Технология бетонных и железобетонных изделий // Б. В. Стефанов, Н. Г. Русанов, А. А. Волянский. – 3-е изд., перераб. и доп. – Киев: Вища школа. Головное изд-во, 1982. – 406 с.
3. **Борщевский А. А.** Механическое оборудование для производства строительных материалов и изделий: Учеб. для вузов по спец. / А. А. Борщевский, А. С. Ильин. – «Пр-во строит. изделий и конструкций». – М.: Высш.шк., – 1987. – 368 с.
4. **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.
5. **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.
6. **Сівко В. Й.** Деякі питання теорії будівельних матеріалів і сумішей // В. Й. Сівко, М. П. Нестеренко / Збірник наукових праць Серія галузеве машинобудування, будівництв). – 2000. - №6. – С. 84-89.
7. **Назаренко І.** Обґрунтування алгоритму розрахунку вібраційної установки для ущільнення бетонних сумішей зі змінним режимом роботи // І. Назаренко, О. Дєдов, О. Дьяченко / Гірничі будівельні, дорожні та

- меліоративні машини. – 2019. – №93. – С. 19-26.
8. **Басов К. А.** ANSYS в примерах и задачах / Под общ. ред. Д. Г. Красковского. – М.: Компьютер Пресс, – 2002. – 224 с.
 9. **Сівко В. Й.** Прикладна механіка робочих процесів машин / В. Й. Сівко, М. П. Кузьмінець. – К.: НТУ, – 2009 – 349 с.
 10. **Назаренко І. І.** Дослідження напружено-деформованого стану вібраційної шокової дробарки з використанням САЕ технологій // І. І. Назаренко, Є. О. Міщук / Теорія і практика будівництва, - №9.–2012.–С. 27-30
 11. **Міщук Є., Назаренко І.** Дослідження динаміки вібраційної шокової дробарки двосторонньої дії // Є. Міщук, І. Назаренко / Гірничі будівельні, дорожні та меліоративні машини, – 2019. – №94. – С. 5-15. <https://doi.org/10.32347/gbdmm2019.94.0101>.
 12. **Шаленко В. О.** Експериментальні дослідження процесу вібраційного формування бетонних сумішей / В. О. Шаленко, В. О. Гарнец., М. О. Пристайло // Гірничі будівельні, дорожні та меліоративні машини. – 2016. – №87. – С. 63-68.

REFERENCES

1. **Sivko V. Y., Polyachenko V. A., Kuz'minets M. P., Sivko J. V., Naumenko U. V.** (2010). Napruzhenno-deformovanyy stan budivel'nykh materialiv v tekhnolohichnykh protsesakh vyrobnytstva [Stress-deformed state of building materials in technological processes of production]. Kyiv, NTU., 347. – (in Ukrainian).
2. **Stefanov B. V., Rusanov N. H., Volyanskyy A. A.** (1982). Tekhnolohyya betonnykh y zhelezobetonnykh izdeliy [Technology of concrete and reinforced concrete products (3 ed.)]. Kyiv, Vyshcha shkola Publ., 406. – (in Russian).
3. **Borshchevskyy A. A. Ylyn A. S.** (1987). Mekhanycheskoe oborudovanye dlya proyzvodstva stroytel'nykh materyalov y izdeliy [Mechanical equipment for the production of building materials and products: Textbook. for the institutes of higher education on specialty]. Moscow, Vyssh. Shk. Publ., 368. – (in Russian).
4. **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).
5. **Molchanov P. O., Nesterenko M. P., Cherednikov V. M.** (2013). Vychennya kolyvan' aktyvnoho 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], Nr.1 (36), 27-38. – (in Russian)
 6. **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. Seriya haluzeve mashynobuduvannya, budivnytstv [Collection of scientific works (branch mechanical engineering, constructions)], Nr. 6, 84-89. – (in Ukrainian).
 7. **Nazarenko I., Dedov O., Diachenko O.** (2019). Substantiation of the algorithm of calculation of a vibrating installation for compaction of concrete mixes with variable operating mode. [Mining construction, road and reclamation machines], Nr. 93, 19-26. – (in Ukrainian).
 8. **Basov K. A.** (2002). ANSYS v prymerakh y zadachakh [ANSYS in examples and tasks] (ed. D. H. Kraskovskoho). Moscow, Kompyuter Press., 224. – (in Russian).
 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).
 10. **Nazarenko I. I., Mishuk Ye. O.** (2012). Research of deflect mode of vibration jaw crusher using CAE technology. Teoriya i praktika budivnictva, Nr. 9, 27-30. – (in Ukrainian).
 11. **Shalenko V. O., Garnec V. O., Pristajlo M. O.** (2016) Eksperimental'ni doslidzhennja procesu vibracijnogo formuvannja betonnih sumishey [Experimental research on the process of vibration formation of concrete mixtures] Girnichi budivel'ni, dorozhni ta meliorativni mashini, Nr. 87, 63-68.
 12. **Mishchuk Ye., Nazarenko I.** (2019). Doslidzhennya dinamiki vibracijnoyi shokovoyi drobarki dvostoronnoyi diyi. Girnichi budivel'ni, dorozhni ta meliorativni mashini [Mining construction, road and reclamation machines],

Nr. 94, 5-15. <https://doi.org/2010.32347/gbdmm2019.94.0101>.

Improvement of dynamics battery moulds for the formation of reinforced concrete products

*Volodymyr Sivko¹, Valeriy Yakovenko²,
Yevhen Mishchuk³*

¹National Transport University,
^{2,3}Kyiv National University of
Construction and Architecture

Abstract. Battery moulds have widely use for the formation elements of the house during its construction: partition panels, internal walls, floor plate. Cassette technology for the manufacture of reinforced concrete products is characterized by the simplicity of equipment, high productivity, but has a number of significant drawbacks: the use of moving concrete mixtures (cone draft 12 ... 16 cm) which leads to increased costs of cement; unsatisfactory in some cases the surface quality, which requires additional spatula work; heterogeneous indexes of strength in the height of the product. The paper presents results of experimental studies forms of natural oscillations of cassette devices with and without the without concrete. Analyzed the most favorable modes of cassette devices which based on the research. Presented results of numerical calculations, which are performed on the finite element method taking into account coefficients of influence are known from the course of strength of materials and show the value of the deflection from the action of the single load when considering the plate as a two-dimensional beam. The calculation model is obtained by dividing the letter into 7x16 finite elements. Five frequencies and their corresponding forms of oscillation have been obtained, the analysis of which has shown that the most acceptable from the technological point of view is the third form, which has two half-wave in the longitudinal direction with a nodal line in the middle of the plate. At fluctuations of separate sheets the account of the concrete mixture was carried out at the values of the coefficients of connection of the mass of concrete $\alpha = 0,3$ on both sides. Experimental studies of battery mould were carried out in natural conditions, measuring the amplitudes of oscillations of separate sheets using a special vibration sensor fixed on a telescopic rod and connected with an oscilloscope.

Keywords: the cassette device, forms of oscillations, concrete mix, oscillation frequency.