

УДК 621.3.011(075.8)

І.І. Назаренко,

докт. техн. наук, професор
ORCID: 0000-0002-1888-3687

В.В. Сліпецький,

інженер
ORCID: 0000-0002-9539-6022

Київський національний університет будівництва і архітектури

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОЦІНКА МЕТОДІВ РЕГУЛЮВАННЯ РЕЖИМІВ І ПАРАМЕТРІВ ВІБРАЦІЙНОЇ МАШИНИ

В роботі здійснені дослідження узагальненої моделі резонансної вібраційної машини, яка досить повно враховує динамічні особливості усіх основних типів резонансних машин і інтегрує динаміку двомасових резонансних вібраційних машин для ущільнення бетонних сумішей.

Методикою досліджень було передбачено використання дискретної моделі резонансної машини із врахуванням бетонної суміші. Бетонна суміш в рівняннях руху представлена коефіцієнтом, який враховує хвильові явища. Прийнята передумова, що найбільш ефективними є резонансні машини, які підлягають стабілізації режиму роботи у часі. При цьому умовою отримання параметрів було прийнято, що регулювання робочого процесу вібраційних машин тим ефективніше, чим режим їх роботи ближче до резонансного і чим вище у них коефіцієнт резонансного посилення коливань.

Для обґрунтування підходів до проблеми автоматизації вібраційних машин здійснено узагальнений аналіз динаміки, який дозволив виявити загальні динамічні особливості цих машин. Виведені рівняння руху приведеної моделі, рішенням яких отримані аналітичні залежності, які описують динаміку резонансної вібраційної машини і слугують передумовою для розробки методів регулювання та конструктивних особливостей вібраційної машини. Дослідженнями визначена низка параметрів, які являються здатними реалізувати процес регулювання та стабілізацію резонансного режиму роботи ударно – вібраційної машини. В умовах даних досліджень встановлено, що параметром для регулювання та забезпечення процесів регулювання може бути фазовий кут. Виявлено, що значення фазового кута зменшується зі збільшенням часу контакту з обмежувачем коливань робочого органу вібраційної машини.

Ключові слова: будівництво, технологія, бетонна суміш, резонансна машина, регулювання, стабілізація, параметри, амплітуда, частота, фазовий кут.

Вступ. Сучасний розвиток будівництва потребує впровадження новітніх технологій та необхідністю вибору та встановлення інженерного обладнання за різним призначенням за критеріями мінімізації енергії, високої ефективності виконання технологічного процесу та екологічності. Існує величезна безліч вібраційних машин, що застосовуються в будівництві і які розрізняються по конструктивному виконанню і за призначенням. Найбільш ефективними є резонансні машини, які підлягають стабілізації режиму роботи у часі. Регулювання робочого процесу вібраційних машин тим ефективніше, чим режим

їх роботи ближче до резонансного і чим вище у них коефіцієнт резонансного посилення коливань. Є резонансні, як лінійні і нелінійні вібраційні машини, що працюють поблизу одного з максимумів своїх амплітудно-частотних характеристик. З числа нелінійних резонансних вібраційних машин слід виділити в окрему групу машини з кусочно-лінійними характеристиками, тобто машини з пружними обмежувачами, які отримали широке поширення, як правило, їх називають резонансними ударно-вібраційними машинами. І у лінійних, і в ударно-вібраційних резонансних машинах для збудження коливань зазвичай використовуються відцентрові і електромагнітні приводи. До резонансних вібраційних машин відносяться віброударні машини для ущільнення ґрунтів; вібромолоти для забивання в ґрунт паль; віброгрохоти для сепарації сипких матеріалів; резонансні вібромайданчики для формування залізобетонних виробів та ін. При гострорезонансному налаштуванні і високих коефіцієнтах резонансного посилення режим роботи машин дуже чутливий до змін зовнішніх дій. Найбільш радикальний шлях усунення цих протиріч полягає в створенні машин з автоматичним регулюванням, режим роботи яких в деяких межах взагалі не залежить від зовнішніх дій. Виявлення параметрів, які являються здатними реалізувати процес регулювання та стабілізацію резонансного режиму роботи ударно – вібраційної машини і є предметом даного дослідження.

Аналіз досліджень і публікацій. Широка область застосування та ефективність вібраційних технологій і процесів обумовлена їхньою ефективністю. Процес удосконалювання вібраційних машин і процесів безперервний. Ефективність цього процесу визначається тим, наскільки вирішена проблема розробки методів визначення оптимальних конструкцій іще на стадії проектування. Дослідженню загальних задач створення резонансних вібраційних машин присвячена робота [1]. Найбільш ефективними є резонансні машини, які реалізують систему стабілізації режиму роботи у часі. Регулювання робочого процесу вібраційних машин тим ефективніше, чим режим їх роботи ближче до резонансного і чим вище у них коефіцієнт резонансного посилення коливань [2]. Є резонансні, як лінійні і нелінійні вібраційні машини, що працюють поблизу одного з максимумів своїх амплітудно-частотних характеристик [3]. Важливим аспектом є визначення режимів та параметрів ударно – вібраційної технології ущільнення бетонних сумішей [4]. З числа нелінійних резонансних вібраційних машин слід виділити в окрему групу машини з кусочно-лінійними характеристиками, тобто машини з пружними обмежувачами, які отримали широке поширення для будівництва [5]. Разом з тим, широке впровадження подібної вібраційної техніки стримувався рядом існуючих причин. Це вібраційна техніка для виготовлення плоских бетонних плит [6], в якій приведена спрощена методика розрахунку параметрів. Такий підхід не можливо використати для розрахунку іншого класу машин. Емпіричні залежності дають задовільні результати тільки в рамках використання подібних конструкцій машин. [7]. Так, адекватність розрахункової моделі реальному процесу довгий час базувався на спрощених підходах врахування взаємовпливу робочих органів і оброблювальних середовищ, як це зазначено в роботі [8]. Безперервна розробка нових матеріалів і методів їхньої обробки забезпечує постійне вдосконалювання робочих параметрів [9]. Таким чином, природним є частковий характер рекомендацій і пропозицій по проблемі вдосконалювання структур силових вібраційних систем. Отже існує проблема розробки основних організаційних принципів формування оптимальної

схеми та параметрів вібраційної системи. З погляду можливості рішення проблеми структурного синтезу теоретичний й експериментальний аналіз систем, дозволяє виявити шляхи вдосконалення режимів і параметрів. Саме цей висновок є передумовою формулювання мети і задач даного дослідження.

Методи дослідження. Методикою досліджень передбачено використання дискретної моделі із врахуванням бетонної суміші, яка інтегрує динаміку двомасових резонансних вібраційних машин для ущільнення бетонних сумішей.

Мета досліджень. Визначення параметрів, які являються здатними реалізувати процес регулювання та стабілізацію резонансного режиму роботи ударно – вібраційної машини.

Основна частина. На рис.1 представлена узагальнена модель резонансної вібраційної машини, де m – маса машини із урахуванням маси бетонної суміші, яка враховується на основі методики, приведені в роботі [10]; C_1 – коефіцієнт жорсткості пружної підвіски; b_1 – опір руху; C_2 – коефіцієнт жорсткості обмежувача; b_2 – коефіцієнт опору деформації обмежувача; X_0 – відстань між ударником і обмежувачем; F_a – амплітуда змушуючої гармонійної сили; ω – частота змушуючої сили; t – поточний час.

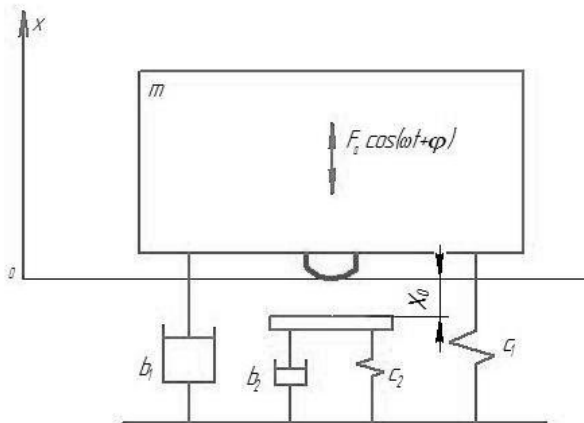


Рис. 1. Узагальнена модель резонансної вібраційної машини

Приведена на рис. 1 модель досить повно враховує динамічні особливості усіх основних типів резонансних машин. При $C_2 = 0$ і $b_2 = 0$ система вироджується в лінійну, тобто перетворюється на модель великої групи лінійних резонансних вібраційних машин. При високих значеннях C_2 ($C_2 > 3 \cdot 10^7$ Н/м) модель відповідає вібромашини з жорстким обмежувачем. При $0 < C_2 < 3 \cdot 10^7$ Н/м вона відповідає таким, що набувають все більшого поширення резонансним вібраційним машинам з пружним обмежувачем, і, нарешті, при $C_1 = 0$ і $b_1 = 0$ модель відповідає ударним вібротрамбовкам.

Модель (див. рис.1) досить повно для обґрунтування способу регулювання інтегрує і динаміку двомасових резонансних вібраційних машин для ущільнення бетонних сумішей у відносному русі зосереджених мас.

Масою обмежувача із-за її малості в порівнянні з масою машини m можна нехтувати. При цьому допущенні рівняння руху системи, представленої на рис.1, зможуть бути записані в наступному виді:

$$m\ddot{x} + b_1\dot{x} + c_1x = F_a \cos(\omega t + \varphi) \text{ при } x > x_0 \quad (1)$$

$$m\ddot{x} + (b_1 + b_2)\dot{x} + c_1(x - x_0) + c_2x = F_a \cos(\omega t + \varphi) \text{ при } x \leq x_0 \quad (2)$$

де φ – початкова фаза змушуючої сили.

Поділивши рівняння (1) і (2) на m , після перетворення отримаємо

$$\ddot{x} + h_1\dot{x} + \omega_1^2x = \frac{F_a}{m_2} \cos(\omega t + \varphi) \text{ при } x > x_0 \quad (3)$$

$$\ddot{x} + h_1(1 + \varepsilon)\dot{x} + \omega_1^2(1 + \gamma_1^2)x = \frac{F_a}{m_2} \cos(\omega t + \varphi) + \omega_1^2x_0 \text{ при } x \leq x_0 \quad (4)$$

$$\text{де } h_1 = b_1/m; \omega_1^2 = l_1/l_1; \varepsilon = h_2/h_1; \gamma_1^2 = l_2/l_1.$$

Для переходу до безрозмірної системи координат введемо наступні позначення:

$$x = \frac{F_a}{m\omega_1^2} \varepsilon; x_0 = \frac{F_a}{m\omega_1^2} \varepsilon; \tau = \omega t.$$

Тоді:

$$\dot{x} = \frac{F_a}{m\omega_1^2} \cdot \frac{d\xi}{d\tau} \cdot \frac{d\tau}{dt} = \frac{F_a\omega}{m\omega_1^2} \xi'; \quad \ddot{x} = \frac{F_a\omega^2}{m\omega_1^2} \xi'';$$

(у останніх виразах і далі штрихами позначено диференціювання по τ).

Підставляючи отримані вирази в (3) і (4) до наведених вище рівнянь отримаємо рівняння руху резонансної вібраційної машини:

$$\gamma^2 \xi'' + \gamma \beta_1 \xi' + \xi = \cos(\tau + \varphi) \text{ при } \xi > \xi_0 \quad (5)$$

$$\gamma^2 \xi'' + \gamma \beta_1 (1 + \varepsilon) \xi' + (1 + \gamma_1^2) \xi = \cos(\tau + \varphi) + \xi \text{ при } \xi \leq \xi_0 \quad (6)$$

$$\text{де } \gamma = \omega/\omega_1; \beta_1 = h_1/\omega_1.$$

Рівняння (5) інтегрується за початкових умов $\xi(0) = 0; \xi'(0) = \xi'_0$ до моменту τ_1 , коли $\xi(\tau_1) = 0$. Момент часу зіткнення ударника з обмежувачем τ_1 береться за початок удару. Рівняння (6) інтегрується за початкових умов $\xi(0) = 0; \xi'(0) = \xi'_1$.

Після удару має витримуватися умова:

$$\xi(\tau_y) = 0; \xi'(\tau_y) = \xi_0.$$

Рішення рівнянь (5) і (6) здійснювалося в наступному діапазоні параметрів системи; $\gamma_1 = 0 \div 150; \varepsilon = 3 \div 10; \gamma = 0 \div 3; \xi_0 = 0 \div 0,15; \beta_1 = 0,3 \div 0,5$.

Для дослідження узагальненої моделі на рис. 1 при $c_2 = \infty$ можна скористатися методикою роботи [10], згідно з якими рівняння руху системи запишеться у виді:

$$m\ddot{x} + c_1x = F \cdot \cos(\omega t + \varphi) \quad (7)$$

а) безпосередньо після удару (при $t = 0$)

$$x = -x_0; \dot{x} = R \cdot \vartheta,$$

б) безпосередньо перед ударом (при $t = 2\pi v / \omega$)

$$x = -x_0; \dot{x} = -\vartheta,$$

де R – коефіцієнт відновлення швидкості при ударі ($0 \leq R \leq 1$); ϑ – абсолютна величина швидкості безпосередньо перед ударом; v – число натурального ряду.

Інтеграл диференціального рівняння (7) з урахуванням початкових умов запишеться, згідно, у виді:

$$\xi_i = -\frac{\xi_i'(1+R)}{2\gamma_i \sin \pi v \gamma_i} \cos(\gamma_i \tau + \pi v \gamma_i) - \frac{1}{1-\gamma_i^2} (\tau + \varphi) \quad (8)$$

У цьому виразі:

$$\xi_i' = -\frac{2}{1-R} \cdot \frac{\sqrt{\xi_{ii} f + \frac{1+f}{(1-\gamma_i^2)^2} - \xi_{ii}^2}}{1+f^2} \quad (9)$$

$$\varphi = \arcsin \frac{\xi_i'(1-R)(1-\gamma_i^2)}{2} \quad (10)$$

де

$$f = \frac{1+R}{1-R} \cdot \frac{ctg \pi v \gamma_i}{\gamma_i} \quad (11)$$

У зв'язку з тим, що далі вивчається робота машин з жорсткими обмежувачами з регулюванням режиму їх роботи по проміжку у виразах (8) – (11) прийняті нові безрозмірні позначення, в яких усе віднесено до постійного значення частоти змушуючої сили:

$$\xi_i = \frac{m\omega^2}{F_a} x; \quad \xi_i' = \frac{m\omega}{F_a} \dot{x}; \quad \xi_i'' = \frac{m}{F_a} \ddot{x}; \quad \gamma_i = \frac{\omega_1}{\omega}.$$

Режими, визначені інтегралом (8), здійснюються тільки усередині певних областей простору параметрів.

Для встановлення меж цих областей необхідно виконати дослідження стійкості рішень (7), такі дослідження викладені у ряді робіт. Рішення рівнянь (5), (6) здійснювалося на ЕОМ із реалізацією стійких резонансних режимів роботи віброплощинки. При заданих частоті коливань і масі робочого органу ефективність ударно-вібраційної машини визначається ударною швидкістю. Оскільки машина є резонансною, максимальна (резонансна) ударна швидкість

досягається лише при конкретних значеннях визначальних параметрів. Так, при заданому максимальна безрозмірна ударна швидкість:

$$\xi'_{i \max} = -\frac{1}{(1-R)(1-\gamma^2)}. \quad (12)$$

Вона досягається при величині безрозмірного проміжку

$$\xi'_{i \max} = -\frac{f}{1-\gamma^2}. \quad (13)$$

Підставивши у вираз (9) значення $\xi'_{i \max}$, що визначається формулою (12), отримаємо наступну рівність:

$$\varphi_{\max} = 3/2 \pi. \quad (14)$$

Ця рівність показує, що для режимів з максимальною ударною швидкістю фаза змушуючої сили у момент удару дорівнює 270° незалежно від значення параметрів, при яких досягнутий максимум ударної швидкості, і від величини цього максимуму.

На рис. 2 представлені осцилограми переміщень і змушуючої сили відповідно криві 3, 4 і 5, отримані по рівняннях (5) і (6) на ЕОМ.

Усі осцилограми відповідають резонансному режиму, тобто режиму з максимальною швидкістю. З приведених на рис. 2 осцилограм випливає висновок, що при будь-яких змінах параметрів системи максимум безрозмірної швидкості досягається при фазовому куті $\varphi_{\max} = 270^\circ$, справедливий лише при дуже жорстких обмежувачах і не поширюється на інші випадки.

Значення фазового кута φ_{\max} зменшується зі збільшенням часу з обмежувачем τ_y , тобто часу, який у свою чергу росте зі зменшенням c_2 .

При $c_2 = 0$, тобто для лінійної системи $\varphi_{\max} = 180^\circ$. у лінійній системі за момент удару умовно приймають момент переходу системи через положення рівноваги.

Таким чином, при зміні c_2 від 0 до ∞ значення φ_{\max} змінюються від 180° до 270° .

Висновки.

1. Розроблена узагальнена модель резонансної вібраційної машини в якій маса бетонної суміші на основі коефіцієнта враховує хвильові процеси.
2. Модель досить повно для обґрунтування способу регулювання інтегрує динаміку двомасових резонансних вібраційних машин для ущільнення бетонних сумішей.
3. Виведені рівняння руху приведеної моделі, рішенням яких отримані аналітичні залежності (9 – 14), які описують динаміку резонансної вібраційної машини і слугують передумовою для розробки методів регулювання та конструктивних особливостей вібраційної машини.
4. Основним параметром для регулювання та забезпечення процесів регулювання являється фазовий кут. Виявлено, що значення фазового кута зменшується зі збільшенням часу контакту з обмежувачем коливальних робочого органу вібраційної машини.

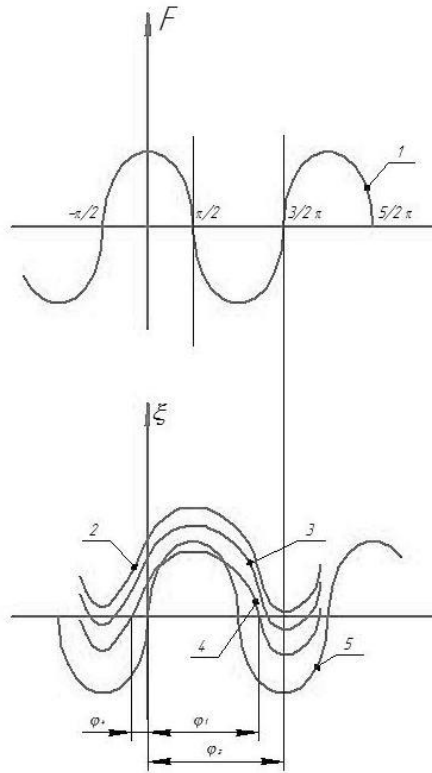


Рис. 2. Осцилограма зміни змушуючої сили I і переміщень ξ

Список літератури.

1. Lanets O., Derevenko I., Borovets V., Kovtonyuk M., Komada P., Mussabekov K., Yeraliyeva B. Substantiation of consolidated inertial parameters of vibrating bunker feeder. *Przeglad elektrotechniczny*. 2019. R. 95, 47–52.
2. Бауман В.А., Быховский И.М. Вибрационные машины и процессы в строительстве. - М.: Высшая школа, 1977. - 255 с.
3. Осмаков С.А., Брауде Ф.Г. Виброударные формовочные машины. - М.:Стройиздат, 1972. - 152 с.
4. Гусев Б.В., Деминов А.Д., Крюков Б.Й. й др. Ударно-вибрационная технология уплотнения бетонных смесей. М.: Стройиздат, 1982. - 150 с.
5. Савинов О.А., Лавринович Е.В. Вибрационная техника уплотнения и формирования бетонных смесей. - Л.: Стройиздат, 1986. - 280 с.
6. Nesterenko, M. Prohresyvnii rozvytok vibratsiynykh ustanovok z prostorovymy kolyvanniamy dlia formuvannia zalizobetonnykh vyrobiv. *Zbirnyk naukovykh prats. Ser.: Haluzeve mashynobuduvannia, budivnytstvo*. Issue 2015., 2 (44), 16–23.

7. Маслов, О., Саленко Ю., Маслова Н. Дослідження взаємодії віброуючої плити з цементобетонною сумішшю. Вісник КНУ імені Михайла Остроградського. Випуск 2/2011 (67). Частина 1, 93–98.

8. Nazarenko, I.I., Ruchynskyi, M.M., Sviderskyi, A.T., Kobylanska, I. M., Kalizhanova, A., Kozbakova, A. Development of energy-efficient vibration machines for the buiding-and-contruction industry. *Przegląd Elektrotechniczny*. 2019. 95. 4, P. 53-59.

9. Назаренко І., Свідерський А., Дедов О. Створення високоефективних віброуцільнюючих машин нового покоління. *Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут»*. 2011, 63, 219–238.

10. Назаренко І.І. Прикладні задачі теорії вібраційних систем: навчальний посібник (2-е видання): – К.: КНУБА, 2007. – 252с.

References

1. Lanets, O., Derevenko, I., Borovets, V., Kovtonyuk, M., Komada, P., Mussabekov, K. & Yeraliyeva, B. (2019). Substantiation of consolidated inertial parameters of a vibrating bunker feeder. *Przegląd elektrotechniczny*. R. 95, pp. 47–52.

2 Bauman, V.A., Bykhovsky, I.M. (1977). *Vibration machines and processes in construction*. M.: Higher school, 255 p.

3. Osmakov, S.A., Braude, F.G. (1972). *Shock-forming machines*. M.: Stroyizdat, 152 p.

4. Gusev, B.V., Deminov, A.D., Kryukov, B.I. (1982). *Shock-vibration technology of compaction of concrete mixtures*. M.: Stroizdat, 150 p.

5. Savinov, O.A., Lavrinovich, E.V. (1986). *Vibration technique of compaction and molding of concrete mixtures*. L.: Stroizdat, 280 p.

6. Nesterenko, M. (2015). Prohresyvnyi rozvytok vibratsiynykh instalok z prostоровymy kolyvanniamy dlia formuvannia zalizobetonnykh vyrobiv. *Zbirnyk naukovykh prats. Ser. : Haluzeve mashynobuduvannia, budivnytstvo*. Issue 2 (44), pp.16–23.

7. Maslov, O., Salenko, Y., Maslova N. (2011). Investigation of the interaction of a vibrating plate with a cement-concrete mixture. *Bulletin of the Mykola Ostrogradsky National University*. Issue 2(67). Part 1, pp.93–98.

8. Nazarenko, I.I., Ruchynskyi, M.M., Sviderskyi, A.T., Kobylanska, I.M., Kalizhanova, A., Kozbakova, A. (2019). Development of energy-efficient vibration machines for the buiding-and-contruction industry. *Przegląd Elektrotechniczny*. № 95. 4, pp. 53-59.

9. Nazarenko, I., Svidersky, A., Dedov, O. (2011). Creation of high-efficiency vibration sealing machines of the new generation. *Bulletin of the National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute"*. № 63, pp.219–238.

10. Nazarenko, I.I. (2007). *Applied problems of vibration systems theory: Textbook (2nd edition)*. K.: KNUCA, 252p.

И.И. Назаренко, В.В. Слипецкий

Исследования и оценка методов регулирования режимов и параметров вибрационных машин

В работе осуществлены исследования обобщенной модели резонансной вибрационной машины, достаточно полно учитывает динамические особенности всех основных типов резонансных машин и интегрирует динамику двухмассовых

резонансных вибрационных машин для уплотнения бетонных смесей.

Методике исследований было предусмотрено использование дискретной модели резонансной машины с учетом бетонной смеси. Бетонная смесь в уравнениях движения представлена коэффициентом, который учитывает волновые явления .. Принятая предпосылка, что наиболее эффективными являются резонансные машины, подлежащих стабилизации режима работы во времени. При этом условием получения параметров было принято, что регулирование рабочего процесса вибрационных машин тем эффективнее, чем режим их работы ближе к резонансному и чем выше у них коэффициент резонансного усиления колебаний.

Для обоснования подходов к проблеме автоматизации вибрационных машин осуществлено обобщенный анализ динамики, который позволил выявить общие динамические особенности этих машин. Выведены уравнения движения приведенной модели, решением которых получены аналитические зависимости, описывающие динамику резонансной вибрационной машины и служат предпосылкой для разработки методов регулирования и конструктивных особенностей вибрационной машины. Исследованиями определен ряд параметров, которые являются способными реализовать процесс регулирования и стабилизации резонансного режима работы ударно - вибрационной машины. В условиях данных исследований установлено, что параметром для регулирования и обеспечения процессов регулирования может быть фазовый угол. Выявлено, что значение фазового угла уменьшается с увеличением времени контакта с ограничителем колебаний рабочего органа вибрационной машины.

Ключевые слова: строительство, технология, бетонная смесь, резонансная машина, регулирования, стабилизация, параметры, амплитуда, частота, фазовый угол.

I.I. Nazarenko, V.V. Slipecki

Research and evaluation of methods of regulating the modes and parameters of the selection machine

The paper deals with the study of a generalized model of a resonant vibrating machine, which fully takes into account the dynamic features of all major types of resonant machines and integrates the dynamics of two-mass resonant vibrating machines for compacting concrete mixtures.

The research method envisaged the use of a discrete model of a resonant machine taking into account the concrete mixture. Concrete mixture in the equations of motion is represented by a factor that takes into account the wave phenomena .. The assumption is made that the most effective are the resonance machines that are subject to stabilization of the mode of operation over time. In this condition, it was assumed that the regulation of the working process of vibrating machines is more efficient than the mode of their operation closer to the resonance and the higher the coefficient of resonant amplification of vibrations.

In order to substantiate approaches to the problem of vibration machine automation, a generalized dynamics analysis was performed, which revealed the general dynamic features of these machines. The equations of motion of the resulted model are deduced, the solution of which is obtained analytical dependences, which describe the dynamics of the resonant vibrating machine and serve as a prerequisite for the development of methods of regulation and design features of the vibrating machine.

Research has identified a number of parameters that are capable of implementing the process of regulation and stabilization of the resonant mode of operation of the shock - vibrating machine. In the context of these studies, it is established that the phase angle can be a parameter for regulating and ensuring the regulation processes. It is found that the value of the phase angle decreases with increasing contact time with the vibration limiter of the vibration machine working body.

Keywords: *construction, technology, concrete mix, resonant machine, regulation, stabilization, parameters, amplitude, frequency, phase angle.*

Посилання на статтю

АРА: Nazarenko, I.I. & Slipecki, V.V. (2020). Doslidzhennya ta otsinka metodiv rehulyuvannya rezhymiv i parametriv vibratsiynoyi mashyny. *Shliakhy pidvyshchennia efektyvnosti budivnytstva v umovakh formuvannia rynkovykh vidnosyn*, 43, 166–175.

ДСТУ: Назаренко І.І. Дослідження та оцінка методів регулювання режимів і параметрів вібраційної машини [Текст] / І.І. Назаренко, В.В. Сліпецький // Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин. – 2020. – № 43. – С. 166–175.