

РЕАЛІЗАЦІЯ ОПТИМАЛЬНОГО ДИНАМІЧНОГО РЕЖИМУ РЕВЕРСУВАННЯ РОЛИКОВОЇ ФОРМУВАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ

Вячеслав Ловейкін¹, Костянтин Почка²

¹ Національний університет біоресурсів і природокористування України, вул. Героїв Оборони, 15, Київ, Україна

² Київський національний університет будівництва і архітектури, Повітрофлотський просп., 31, Київ, Україна,

REALIZATION OF THE OPTIMUM DYNAMIC MODE OF A REVERSAL OF ROLLER FORMING INSTALLATION

Vjacheslav Lovejkin¹, Konstantin Pochka²

¹ National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Heroyiv Oborony st., 15, Kyiv, Ukraine

² Kyiv National University of Construction and Architecture, Povitroflotskyu Prospect, 31, Kyiv, Ukraine

АНОТАЦІЯ. Розроблено конструкцію роликів формувальної установки з приводом від високомоментного крокового двигуна, що вмонтований в укочувальні ролики і забезпечує комбінований режим зворотньо-поступального руху формувального візка з оптимальним динамічним реверсуванням.

Ключові слова: роликів формувальна установка, режим руху, привід, ролик, кроковий двигун.

АННОТАЦИЯ. Разработана конструкция роликів формувальної установки с приводом от высокомоментного шагового двигателя, смонтированного в укочивающие ролики и обеспечивающего комбинированный режим возвратно-поступательного движения формувальной тележки с оптимальным динамическим реверсированием.

Ключевые слова: роликів формувальная установка, режим движения, привод, ролик, шаговый двигатель.

ABSTRACT. Purpose. Improvement of a design of the driving mechanism of roller forming installation for increase of its reliability and durability is the purpose of work. **Methodology/approach.** Researches in this work are of analytical character. **Findings.** As a result of the conducted researches the combined mode of back and forth motion of the forming cart with an optimum dynamic reversal is calculated. The design of roller forming installation with the drive from the high-moment step engine which is built in the rolling rollers of the forming cart of installation is developed. Use in installation of the drive from the high-moment step engine which realizes the optimum dynamic mode of a reversal leads to improvement of quality of a surface to the processed concrete mix, reduction of dynamic loadings in elements of the driving mechanism, to disappearance of excessive destructive loads of a frame design and, respectively, to increase of reliability and durability of installation in general. **Research limitations/implications.** Results of work can be further useful at specification and improvement of the existing engineering methods of a calculation of driving mechanisms of cars of roller formation both at design/designing stages, and in the modes of real operation. **Originality/value.** The work has scientific and practical interest.

Key words: roller forming installation, movement mode, drive, roller, step engine.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

В установках роликів формування залізобетонних виробів під час їхньої роботи виникають значні динамічні навантаження в елементах привідного механізму та в елементах формувальних візків [1-6]. Не дивлячись на досить широке дослідження технологічного процесу формування залізобетонних виробів безвібраційним роликів методом [1-3], до цих пір не було досліджено динаміку руху формувального візка та її вплив на процес формування. Мало приділялось уваги режимам руху формувального візка та зусиллям, що виникають в елементах привідного механізму.

ОГЛЯД ПУБЛІКАЦІЙ

В існуючих теоретичних та експериментальних дослідженнях машин роликів формування залізобетонних виробів обґрунтовано їхні конструктивні параметри та продуктивність [1-3]. Разом з тим недостатньо уваги приділено дослідженню діючим динамічним навантаженням та режимам руху, що в значній мірі впливає на роботу установки та на якість готової продукції. Під час постійних пускогальмівних режимів руху виникають значні динамічні навантаження в елементах привідного механізму та в елементах формувального візка, що може призвести до передчасного виходу установки з ладу [1-6]. Тому актуальною є

задача удосконалення привідного механізму роликової формувальної установки з метою забезпечення такого режиму руху формувального візка, при якому зменшувалися б динамічні навантаження в елементах установки та підвищувалася її довговічність.

МЕТА РОБОТИ

Мета роботи полягає у вдосконаленні конструкції привідного механізму роликової формувальної установки для підвищення її надійності та довговічності.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Для роликової формувальної установки при ущільненні бетонної суміші бажано мати постійну швидкість зворотно-поступального руху формувального візка на всій ділянці, що позитивно впливатиме на якість готового виробу. Однак на практиці такий режим руху здійснити неможливо, оскільки в ньому відсутні ділянки розгону та гальмування, без яких не може бути циклічного руху. Тому пропонується реалізувати такий режим руху формувального візка при його переміщенні, у якому були б ділянки реверсування з мінімальними динамічними навантаженнями та ділянки руху з постійною швидкістю.

Для плавного процесу реверсування формувального візка запропоновано здійснювати його за оптимальним динамічним режимом руху [7]. При цьому швидкість формувального візка змінюється лінійно, не створюючи значних динамічних навантажень в установці, що в свою чергу позитивно впливає на її довговічність.

Критеріями режиму руху механізмів і машин можуть бути коефіцієнти нерівномірності руху та динамічності [7]. В даній роботі як критерій режиму руху використана критеріальна дія, яка становить інтеграл за часом з підінтегральною функцією, що виражає міру руху або дію системи. Для динамічного режиму реверсування критерій оптимальності руху матимемо у вигляді

$$I_V = \int_0^{t_p} V dt \rightarrow \min, \quad (1)$$

де t – час; t_p – тривалість реверсування;
 V – енергія прискорень

$$V = \frac{1}{2} \cdot m \cdot \ddot{x}^2, \quad (2)$$

де m – маса формувального візка; \ddot{x} – прискорення.

Умовою мінімуму критерію (1) є рівняння Ейлера-Пуассона:

$$\frac{\partial V}{\partial x} - \frac{d}{dt} \frac{\partial V}{\partial \dot{x}} + \frac{d^2}{dt^2} \frac{\partial V}{\partial \ddot{x}} = 0, \quad (3)$$

де x , \dot{x} – координата переміщення та швидкість візка.

З виразу (3) можна записати

$$\begin{aligned} \frac{\partial V}{\partial x} = \frac{\partial V}{\partial \dot{x}} = 0; \quad \frac{\partial V}{\partial \ddot{x}} = m \cdot \ddot{x}; \\ \frac{d^2}{dt^2} \frac{\partial V}{\partial \ddot{x}} = m \cdot \ddot{x} = 0. \end{aligned} \quad (4)$$

З останнього рівняння (4) отримуємо диференціальне рівняння та його розв'язки:

$$\begin{aligned} x = 0; \quad \ddot{x} = C_1; \quad \dot{x} = C_1 \cdot t + C_2; \\ \dot{x} = \frac{1}{2} \cdot C_1 \cdot t^2 + C_2 \cdot t + C_3; \\ x = \frac{1}{6} \cdot C_1 \cdot t^3 + \frac{1}{2} \cdot C_2 \cdot t^2 + C_3 \cdot t + C_4, \end{aligned} \quad (5)$$

де C_1 , C_2 , C_3 , C_4 – постійні інтегрування, які визначаються з граничних умов.

Розділимо процес реверсування на два етапи: гальмування та пуск.

При гальмуванні початковими умовами є $t = 0$: $x = -x_1$; $\dot{x} = \dot{x}_y$. Кінцеві умови при гальмуванні: $t = t_r$; $x = 0$; $\dot{x} = 0$. Тут x_1 – координата початку процесу гальмування; \dot{x}_y – швидкість руху візка на усталеному режимі до початку гальмування.

При пуску початковими умовами є $t = 0$: $x = 0$; $\dot{x} = 0$. Кінцеві умови при пуску: $t = t_n$; $x = -x_1$; $\dot{x} = -\dot{x}_y$.

Розглянемо процес гальмування. Підставивши крайові умови гальмування у рівняння (5), отримуємо

$$t = 0: C_4 = -x_1; C_3 = \dot{x}_y; \quad (6)$$

$$t = t_r: \begin{cases} \frac{1}{6} \cdot C_1 \cdot t_r^3 + \frac{1}{2} \cdot C_2 \cdot t_r^2 + \\ + \dot{x}_y \cdot t_r - x_1 = 0; \\ \frac{1}{2} \cdot C_1 \cdot t_r^2 + C_2 \cdot t_r + \dot{x}_y = 0. \end{cases} \quad (7)$$

Розв'язавши систему рівнянь (7), отримуємо постійні інтегрування C_1 та C_2 :

$$C_1 = 6 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_r^2} - 12 \cdot \frac{x_1}{t_r^3}; C_2 = 6 \cdot \frac{x_1}{t_r^2} - 4 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_r}. \quad (8)$$

Після підстановки визначених постійних інтегрування (6) та (8) у систему (5) отримуємо функцію зміни прискорення формуального візка в процесі гальмування від усталеної швидкості \dot{x}_y до повної зупинки:

$$\ddot{x} = \left(6 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_r^2} - 12 \cdot \frac{x_1}{t_r^3} \right) \cdot t + 6 \cdot \frac{x_1}{t_r^2} - 4 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_r} \quad (9)$$

або

$$\ddot{x} = \frac{2}{t_r} \cdot \left[3 \cdot \left(\dot{x}_y - 2 \cdot \frac{x_1}{t_r} \right) \cdot \frac{t}{t_r} + \left(3 \cdot \frac{x_1}{t_r} - 2 \cdot \dot{x}_y \right) \right]. \quad (10)$$

Після цього критерій оптимальності руху в процесі гальмування з урахуванням виразів (2) та (10) матиме вигляд:

$$I_{Vr} = \frac{m}{2} \cdot \int_0^{t_r} \dot{x}^2 dt = \frac{2 \cdot m}{t_r^2} \cdot \int_0^{t_r} \left[3 \cdot \left(\dot{x}_y - 2 \cdot \frac{x_1}{t_r} \right) \cdot \frac{t}{t_r} + \left(3 \cdot \frac{x_1}{t_r} - 2 \cdot \dot{x}_y \right) \right]^2 dt = \quad (11)$$

$$= \frac{2 \cdot m}{t_r^2} \int_0^{t_r} \left[9 \cdot \left(\dot{x}_y - 2 \cdot \frac{x_1}{t_r} \right)^2 \cdot \frac{t^2}{t_r^2} + 6 \cdot \left(\dot{x}_y - 2 \cdot \frac{x_1}{t_r} \right) \left(3 \cdot \frac{x_1}{t_r} - 2 \cdot \dot{x}_y \right) \frac{t}{t_r} + \left(3 \cdot \frac{x_1}{t_r} - 2 \cdot \dot{x}_y \right)^2 \right] dt =$$

$$= \frac{2 \cdot m}{t_r^2} \left[3 \cdot \left(\dot{x}_y - 2 \cdot \frac{x_1}{t_r} \right)^2 \cdot t_r + 3 \cdot \left(\dot{x}_y - 2 \cdot \frac{x_1}{t_r} \right) \left(3 \cdot \frac{x_1}{t_r} - 2 \cdot \dot{x}_y \right) t_r + \left(3 \cdot \frac{x_1}{t_r} - 2 \cdot \dot{x}_y \right)^2 \cdot t_r \right] =$$

$$= \frac{2 \cdot m}{t_r} \cdot \left[3 \cdot \frac{x_1^2}{t_r^2} - 3 \cdot \frac{x_1}{t_r} \cdot \dot{x}_y + \dot{x}_y^2 \right].$$

Розглянемо процес пуску. Підставивши крайові умови пуску у рівняння (5), отримуємо:

$$t = 0: C_3 = 0; C_4 = 0; \quad (12)$$

$$t = t_{\Pi}: \begin{cases} \frac{1}{6} \cdot C_1 \cdot t_{\Pi}^3 + \frac{1}{2} \cdot C_2 \cdot t_{\Pi}^2 = -x_1; \\ \frac{1}{2} \cdot C_1 \cdot t_{\Pi}^2 + C_2 \cdot t_{\Pi} = -\dot{x}_y. \end{cases} \quad (13)$$

Розв'язавши систему рівнянь (13), отримуємо постійні інтегрування C_1 та C_2 :

$$C_1 = 12 \cdot \frac{x_1}{t_{\Pi}^3} - 6 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_{\Pi}^2}; C_2 = 2 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_{\Pi}} - 6 \cdot \frac{x_1}{t_{\Pi}^2}. \quad (14)$$

Після підстановки визначених постійних інтегрування (12) та (14) у систему (5) отримуємо функцію зміни прискорення формуального візка в процесі пуску від нерухомого стану до руху з усталеною швидкістю \dot{x}_y :

$$\ddot{x} = \left(12 \cdot \frac{x_1}{t_{\Pi}^3} - 6 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_{\Pi}^2} \right) \cdot t + 2 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_{\Pi}} - 6 \cdot \frac{x_1}{t_{\Pi}^2} \quad (15)$$

або

$$\ddot{x} = \frac{2}{t_{\Pi}} \cdot \left[3 \cdot \left(2 \cdot \frac{x_1}{t_{\Pi}} - \dot{x}_y \right) \cdot \frac{t}{t_{\Pi}} + \left(\dot{x}_y - 3 \cdot \frac{x_1}{t_{\Pi}} \right) \right]. \quad (16)$$

Після цього критерій оптимальності руху в процесі пуску з урахуванням виразів (2) та (16) матиме вигляд:

$$\begin{aligned}
 I_{V_{II}} &= \frac{m}{2} \cdot \int_0^{t_{II}} \ddot{x}^2 dt = \\
 &= \frac{2 \cdot m}{t_{II}^2} \cdot \int_0^{t_{II}} \left[3 \cdot \left(2 \cdot \frac{x_1}{t_{II}} - \dot{x}_y \right) \cdot \frac{t}{t_{II}} + \left(\dot{x}_y - 3 \cdot \frac{x_1}{t_{II}} \right) \right]^2 dt = \\
 &= \frac{2 \cdot m}{t_{II}^2} \int_0^{t_{II}} \left[9 \cdot \left(2 \cdot \frac{x_1}{t_{II}} - \dot{x}_y \right)^2 \cdot \frac{t^2}{t_{II}^2} + 6 \left(2 \cdot \frac{x_1}{t_{II}} - \dot{x}_y \right) \left(\dot{x}_y - 3 \cdot \frac{x_1}{t_{II}} \right) \frac{t}{t_{II}} + \left(\dot{x}_y - 3 \cdot \frac{x_1}{t_{II}} \right)^2 \right] dt = \\
 &= \frac{2 \cdot m}{t_{II}^2} \cdot \left[3 \cdot \left(2 \cdot \frac{x_1}{t_{II}} - \dot{x}_y \right)^2 \cdot t_{II} + 3 \left(2 \cdot \frac{x_1}{t_{II}} - \dot{x}_y \right) \left(\dot{x}_y - 3 \cdot \frac{x_1}{t_{II}} \right) t_{II} + \left(\dot{x}_y - 3 \cdot \frac{x_1}{t_{II}} \right)^2 \cdot t_{II} \right] = \\
 &= \frac{2 \cdot m}{t_{II}} \cdot \left[3 \cdot \frac{x_1^2}{t_{II}^2} - 3 \cdot \frac{x_1}{t_{II}} \cdot \dot{x}_y + \dot{x}_y^2 \right]. \quad (17)
 \end{aligned}$$

Загальний критерій оптимальності руху в процесі реверсування з урахуванням виразів (11) та (17) буде визначатися наступним виразом:

$$\begin{aligned}
 I_V &= I_{V_I} + I_{V_{II}} = \\
 &= \frac{2 \cdot m}{t_I} \cdot \left[3 \cdot \frac{x_1^2}{t_I^2} - 3 \cdot \frac{x_1}{t_I} \cdot \dot{x}_y + \dot{x}_y^2 \right] + \\
 &+ \frac{2 \cdot m}{t_{II}} \cdot \left[3 \cdot \frac{x_1^2}{t_{II}^2} - 3 \cdot \frac{x_1}{t_{II}} \cdot \dot{x}_y + \dot{x}_y^2 \right]. \quad (18)
 \end{aligned}$$

Прийнявши рівність часу гальмування візка та його пуску $t_I = t_{II} = t_1$, вираз (18) можна подати у наступному вигляді:

$$I_V = \frac{2 \cdot m}{t_1} \cdot \left[6 \cdot \frac{x_1^2}{t_1^2} - 6 \cdot \frac{x_1}{t_1} \cdot \dot{x}_y + 2 \cdot \dot{x}_y^2 \right]. \quad (19)$$

Для забезпечення виконання нерівності (1) необхідно виконати умову

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial I_V}{\partial x_1} &= \frac{2 \cdot m}{t_1} \cdot \left[12 \cdot \frac{x_1}{t_1^2} - 6 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_1} \right] = \\
 &= \frac{12 \cdot m}{t_1^2} \cdot \left[2 \cdot \frac{x_1}{t_1} - \dot{x}_y \right] = 0. \quad (20)
 \end{aligned}$$

Із виразу (20) можна отримати

$$2 \cdot \frac{x_1}{t_1} - \dot{x}_y = 0 \Rightarrow x_1 = \frac{1}{2} \cdot \dot{x}_y \cdot t_1. \quad (21)$$

Після підстановки другого виразу (21) у рівності (6) та (8) отримано постійні інтегрування в процесі гальмування формульованого візка:

$$\begin{aligned}
 C_1 &= 0; \quad C_2 = -\frac{\dot{x}_y}{t_1}; \\
 C_3 &= \dot{x}_y; \quad C_4 = -\frac{1}{2} \cdot \dot{x}_y \cdot t_1. \quad (22)
 \end{aligned}$$

Після цього з урахуванням постійних інтегрування (22) отримано функції зміни переміщення, швидкості, прискорення та рівка формульованого візка в процесі гальмування:

$$\begin{aligned}
 x &= \frac{1}{2} \cdot \dot{x}_y \cdot \left(-\frac{t^2}{t_1} + 2 \cdot t - t_1 \right); \\
 \dot{x} &= \dot{x}_y \cdot \left(1 - \frac{t}{t_1} \right); \quad \ddot{x} = -\frac{\dot{x}_y}{t_1}; \quad \ddot{\ddot{x}} = 0. \quad (23)
 \end{aligned}$$

Після підстановки другого виразу (21) у рівності (12) та (14) отримано постійні інтегрування в процесі пуску формульованого візка:

$$C_1 = 0; \quad C_2 = -\frac{\dot{x}_y}{t_1}; \quad C_3 = 0; \quad C_4 = 0. \quad (24)$$

Після цього з урахуванням постійних інтегрування (24) отримано функції зміни переміщення, швидкості, прискорення та рівка формульованого візка в процесі пуску:

$$\begin{aligned}
 x &= -\frac{1}{2} \cdot \dot{x}_y \cdot \frac{t^2}{t_1}; \quad \dot{x} = -\dot{x}_y \cdot \frac{t}{t_1}; \\
 \ddot{x} &= -\frac{\dot{x}_y}{t_1}; \quad \ddot{\ddot{x}} = 0. \quad (25)
 \end{aligned}$$

В усталеному режимі руху формульованого візка координата переміщення та

швидкості його центра мас описуються рівняннями [7]:

$$\begin{aligned} x &= x_{0y} + \frac{(x_{1y} - x_{0y}) \cdot t}{t_y}; \\ \dot{x} &= \frac{(x_{1y} - x_{0y})}{t_y} = const; \quad \ddot{x} = 0; \quad \ddot{\ddot{x}} = 0, \end{aligned} \quad (26)$$

де x_{0y} та x_{1y} – координати початкового та кінцевого положень центра мас візка при усталеному русі; t_y – тривалість усталеного руху.

У виразах (26) координату початкового положення центра мас візка при усталеному русі x_{0y} приймаємо рівною x_1 . Тоді, прийнявши амплітуду переміщення візка від одного крайнього положення в інше Δx , кінцеву координату положення центра мас візка при усталеному русі можна визначити як $x_{1y} = \Delta x - x_1$.

Після підстановки координат x_{0y} та x_{1y} у другий вираз (26) отримано залежність для визначення швидкості руху візка на усталеному режимі \dot{x}_y :

$$\begin{aligned} \dot{x}_y &= \frac{\Delta x - 2 \cdot x_1}{t_y} = \frac{\Delta x - \dot{x}_y \cdot t_1}{t_y} \Rightarrow \\ \Rightarrow \dot{x}_y &= \frac{\Delta x}{t_y + t_1}. \end{aligned} \quad (27)$$

Загальний час руху формувального візка з одного крайнього положення в інше t_3 можна розділити на три частини: час пуску $t_{\text{п}}$, час усталеного руху t_y , час гальмування $t_{\text{г}}$. Для забезпечення ущільнення бетонної суміші формувальним візком з постійною швидкістю руху на більшості його робочого ходу приймемо час усталеного руху, наприклад, $t_y = \frac{2}{3} \cdot t_3$. Тоді, задаючись умовою рівності часу розгону та гальмування, їх можна визначити виразами $t_{\text{п}} = t_{\text{г}} = t_1 = \frac{1}{6} \cdot t_3$.

Після цього вирази швидкості руху візка в усталеному режимі та координати x_1 матимуть вигляд:

$$\dot{x}_y = \frac{6 \cdot \Delta x}{5 \cdot t_3}; \quad x_1 = \frac{\Delta x}{10}. \quad (28)$$

Розглядаючи рух формувального візка від одного крайнього положення в інше та підставивши вирази (28) у рівності (23), (25) та (26), отримуємо функції зміни переміщення, швидкості, прискорення та ривка візка:

– на ділянці пуску:

$$\begin{aligned} x &= \frac{18 \cdot \Delta x}{5} \cdot \frac{t^2}{t_3^2}; \quad \dot{x} = \frac{36 \cdot \Delta x}{5} \cdot \frac{t}{t_3^2}; \\ \ddot{x} &= \frac{36 \cdot \Delta x}{5 \cdot t_3^2}; \quad \ddot{\ddot{x}} = 0; \end{aligned} \quad (29)$$

– на ділянці усталеного руху:

$$\begin{aligned} x &= \frac{\Delta x}{10} \cdot \left(1 + 12 \cdot \frac{t}{t_3} \right); \\ \dot{x} &= \frac{6 \cdot \Delta x}{5 \cdot t_3} = const; \quad \ddot{x} = 0; \quad \ddot{\ddot{x}} = 0; \end{aligned} \quad (30)$$

– на ділянці гальмування:

$$\begin{aligned} x &= \frac{\Delta x}{10} \cdot \left(-36 \cdot \frac{t^2}{t_3^2} + 12 \cdot \frac{t}{t_3} + 9 \right); \\ \dot{x} &= \frac{6 \cdot \Delta x}{5 \cdot t_3} \cdot \left(1 - \frac{6 \cdot t}{t_3} \right); \\ \ddot{x} &= -\frac{36 \cdot \Delta x}{5 \cdot t_3^2}; \quad \ddot{\ddot{x}} = 0. \end{aligned} \quad (31)$$

За виразами (29)–(31) було розраховано кінематичні характеристики та побудовано графіки зміни переміщення (рис. 1,а), швидкості (рис. 1,б), прискорення (рис. 1,в) та ривка (рис. 1,г) при русі формувального візка з одного крайнього положення в інше з оптимальним динамічним режимом реверсування при амплітуді переміщення формувального візка $\Delta x = 0,4$ м та загальним у часі його руху від одного крайнього положення в інше $t_3 = 3$ с.

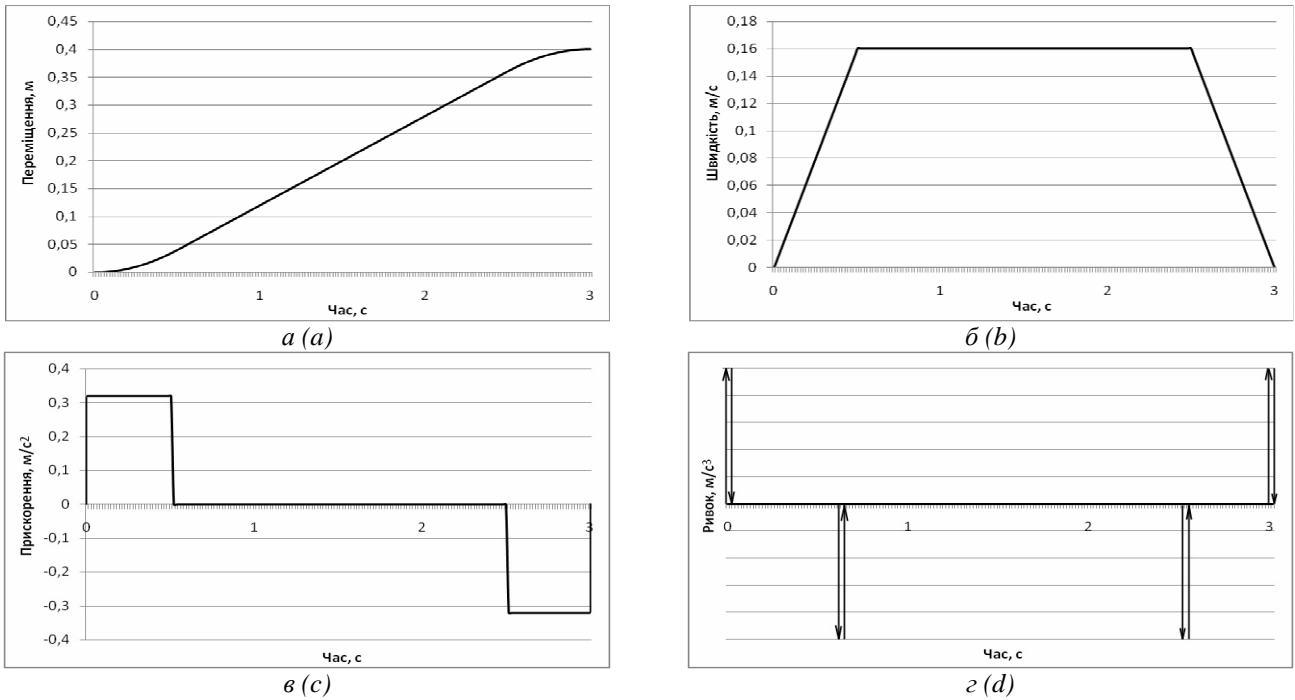


Рис. 1. Графіки зміни переміщення (а), швидкості (б), прискорення (в) та ривка (г) при русі формувального візка з оптимальним динамічним режимом реверсування

Fig. 1. Schedules of change of movement (a), speeds (b), accelerations (c) and breakthrough (d) at the movement of the forming cart with the optimum dynamic mode of a reversal

Закон руху візка, описаний рівняннями (29)-(31), може бути здійснений приводом від високомоментного крокового двигуна, що вмонтований в уключувальні ролики формувального візка установки. При цьому закон зміни кутової швидкості приводного крокового двигуна описується рівняннями:

– на ділянці пуску:

$$\dot{\phi}_п = \frac{1}{R} \cdot \frac{36 \cdot \Delta x}{5} \cdot \frac{t}{t_3^2}; \quad (32)$$

– на ділянці усталеного руху:

$$\dot{\phi}_у = \frac{1}{R} \cdot \frac{6 \cdot \Delta x}{5 \cdot t_3}; \quad (33)$$

– на ділянці гальмування:

$$\dot{\phi}_г = \frac{1}{R} \cdot \frac{6 \cdot \Delta x}{5 \cdot t_3} \cdot \left(1 - \frac{6 \cdot t}{t_3}\right). \quad (34)$$

Прийнявши час пуску формувального візка $t_п = \frac{1}{6}t_3$, час усталеного руху $t_у = \frac{2}{3}t_3$ та час гальмування $t_г = \frac{1}{6}t_3$ отримуємо закон зміни кутової швидкості привідного

крокового двигуна при русі формувального візка від одного крайнього положення до іншого:

$$\dot{\phi} = \frac{1}{R} \cdot \frac{36 \cdot \Delta x}{5} \cdot \frac{t}{t_3^2}, \quad 0 \leq t \leq \frac{t_3}{6}; \quad (35)$$

$$\dot{\phi} = \frac{1}{R} \cdot \frac{6 \cdot \Delta x}{5 \cdot t_3}, \quad \frac{t_3}{6} < t < \frac{5}{6}t_3; \quad (36)$$

$$\dot{\phi} = \frac{1}{R} \cdot \frac{36 \cdot \Delta x}{5 \cdot t_3} \cdot \left(1 - \frac{t}{t_3}\right), \quad \frac{5}{6}t_3 < t \leq t_3. \quad (37)$$

Аналогічно визначається закон зміни кутової швидкості привідного крокового двигуна при русі формувального візка у зворотному напрямку:

$$\dot{\phi} = -\frac{1}{R} \cdot \frac{36 \cdot \Delta x}{5} \cdot \frac{(t-t_3)}{t_3^2}, \quad t_3 \leq t \leq \frac{7}{6}t_3; \quad (38)$$

$$\dot{\phi} = -\frac{1}{R} \cdot \frac{6 \cdot \Delta x}{5 \cdot t_3}, \quad \frac{7}{6}t_3 < t < \frac{11}{6}t_3; \quad (39)$$

$$\dot{\phi} = -\frac{1}{R} \cdot \frac{36 \cdot \Delta x}{5 \cdot t_3} \cdot \left(2 - \frac{t}{t_3}\right), \quad \frac{11}{6}t_3 < t \leq 2t_3. \quad (40)$$

З метою зменшення динамічних навантажень в елементах установки та для підвищення її надійності запропоновано конструкцію установки з приводним механізмом для забезпечення зворотно-поступального руху формувального візка з оптимальним динамічним режимом реверсування (рис. 2). Установка складається з формувального візка 1, що змонтований на порталі 2. Візок здійснює зворотно-поступальний рух у напрямних 3 над порожниною форми 4. Формувальний візок містить подавальний бункер 5 та укочувальні ролики 6 на осі 7.

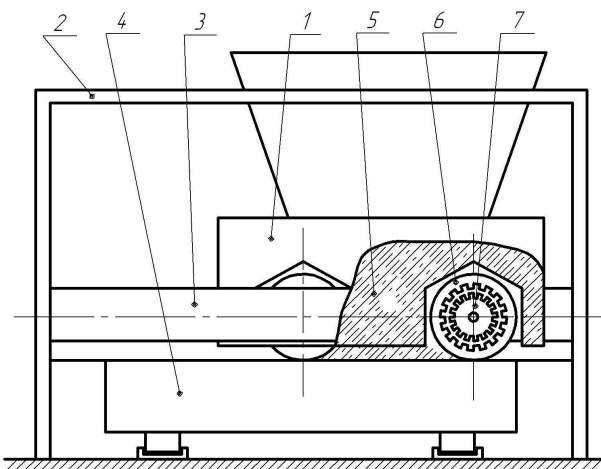


Рис. 2. Роликова формувальна установка з приводом від крокового двигуна

Fig. 2. Roller forming installation with the drive from the step engine

Візок приводиться в зворотно-поступальний рух за допомогою високомоментного крокового двигуна, який вмонтовано в ролики, причому вісь ролика виконує роль статора, а сам ролик – ротора [8].

При застосуванні в установці приводу від високомоментного крокового двигуна, що вмонтований в укочувальні ролики, закон зміни кутової швидкості якого описаний наведеними вище рівняннями, підвищується якість поверхні оброблюваної бетонної суміші, зменшуються динамічні навантаження в елементах приводного механізму, зникають зайві руйнівні навантаження на рамну конструкцію і, відповідно, підвищується надійність та довговічність установки в цілому.

ВИСНОВКИ

1. В результаті проведених досліджень з метою підвищення надійності та довговічності роликової формувальної установки розраховано комбінований режим зворотно-поступального руху формувального візка з оптимальним динамічним реверсуванням.

2. Розроблено конструкцію роликової формувальної установки з приводом від високомоментного крокового двигуна, що вмонтований в укочувальні ролики формувального візка установки.

3. Застосування в установці приводу від високомоментного крокового двигуна, що вмонтований в укочувальні ролики і реалізує оптимальний динамічний режим реверсування, приводить до підвищення якості поверхні оброблюваної бетонної суміші, зменшення динамічних навантажень в елементах приводного механізму, зникненню зайвих руйнівних навантажень на рамну конструкцію і, відповідно, до підвищення надійності та довговічності установки в цілому.

4. Результати роботи можуть в подальшому бути корисними для уточнення та удосконалення існуючих інженерних методів розрахунку приводних механізмів машин роликового формування як на стадіях проектування/конструювання, так і в режимах реальної експлуатації.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Гарнець В.М.* Прогресивні бетоноформуючі агрегати і комплекси. – К.: Будівельник, 1991. – 144 с.
2. *Кузин В.Н.* Технология роликового формирования плоских изделий из мелкозернистых бетонов: Автореф. дис... канд. наук. – М. – 1981. – 20 с.
3. *Рюшин В.Т.* Исследование рабочего процесса и разработка методики расчета машин роликового формирования бетонных смесей: Дис... кандидата техн. наук. – К. – 1986.
4. *Ловейкін В.С., Почка К.І.* Динамічний аналіз роликової формувальної установки з рекупераційним приводом. // Динаміка, міцність і надійність сільськогосподарських машин: Пр. І-ї Міжнародної науково-технічної кон-

- ференції (DSR AM-I). – Тернопіль, 2004. – С. 507-514.
5. *Ловейкін В.С., Почка К.І.* Результати експериментальних досліджень режимів руху роликів формувальної установки з рекуперативним приводом. // Вісник Харківського національного університету сільського господарства ім. П.Василенка. – Харків, 2007. – № 59, Том 1. – С. 465-474.
 6. *Ловейкін В.С., Почка К.І.* Визначення оптимального значення кута зміщення кривошипів роликів формувальної установки з рекуперативним приводом. // Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні. – НУ «Львівська політехніка», 2007. – № 41. – С. 127-134.
 7. *Ловейкін В.С.* Расчёты оптимальных режимов движения механизмов строительных машин. Учебное пособие. – Киев: УМК ВО, 1990. – 168 с.
 8. *Ловейкін В.С., Почка К.І., Човнюк Ю.В., Діктерук М.Г.* Патент України на винахід № 105744 кл. В28В13/00: Установка для формирования виробів з бетонних сумішей. – Бюл. № 11 від 10.06.2014 р.

REFERENCES

1. *Garnec V.M., 1991.* Progressivni betonoformujuchi agregati i kompleksi [Progressive concrete the forming units and complexes]. Kyiv, Budivelnik Publ., 144. – (in Ukrainian)
2. *Kuzin V.N., 1981.* Tehnologija rolikovogo formovanija ploskih izdelij iz melkozernistyh betonov [Technology of roller formation of flat articles from fine-grained concrete]. Avtoref. dis... kand. nauk [Abstract of the thesis of the candidate of science]. Moscow, 20. – (in Russian)
3. *Rjushin V.T., 1986.* Issledovanie raboche-go processa i razrabotka metodiki rascheta mashin rolikovogo formovanija betonnyh smesej [Research of working process and development of a method of calculation of cars of roller formation of concrete mixes]. Dis.... kandidata tehn. nauk. [Thesis of Candidate of Technical Sciences]. Kyiv. – (in Russian)
4. *Lovejkin V.S., Pochka K.I., 2004.* Dina-michnij analiz rolikovoyi formovochnoyi ustanovki z reku-peracijnim privodom [The dynamic analysis of roller forming installation with the reku-perativ drive]. Dinamika, micnist i nadijnist silsko-gospodarskih mashin [Dynamics, durability and reliability of farm vehicles]. Pr. I-i Mizhna-rodnoï naukovu-tehnicnoï konferencii (DSR AM-I) [Works of the first International scientific and technical conference (DSR AM-I)]. Ternopil, 507-514.
5. *Lovejkin V.S., Pochka K.I., 2007.* Rezultati eksperimentalnih doslidzhen rezhimiv ruhu rolikovoyi formuvalnoyi ustanovki z reku-peracijnim privodom [Results of pilot studies of the modes of the movement of roller forming installation with the reku-perativ drive]. Visnik Harkiv-skogo nacionalnogo universitetu silskogo gospodarstva im. P.Vasilenka [The bulletin of the Kharkov national university of agriculture of P.Vasilenko]. Kharkov, no. 59, T. 1, 465-474. – (in Ukrainian)
6. *Lovejkin V.S., Pochka K.I., 2007.* Vznachennja optimalnogo znachennja kuta zmishhen-nja krivoshipiv rolikovoyi formuval'noï ustanovki z reku-peracijnim privodom [Determination of optimum value of a corner of shift of cranks of roller forming installation with the reku-perativ drive]. Avtomatizacija virobnichih procesiv u mashino-buduvanni ta priladobuduvanni [Automation of productions in mechanical engineering and instrument making]. Lviv, National University "Lvov Polyequipment" Publ. no. 41, 127-134. – (in Ukrainian)
7. *Lovejkin V.S., 1990.* Raschjoty optimalnyh rezhimov dvizhenija mehanizmov stroitelnyh mashin [Calculations of the optimum modes of the movement of mechanisms of construction cars]. Uchebnoe posobie [Manual]. Kiev: UMK VO Publ., 168. – (in Russian)
8. *Lovejkin V.S., Pochka K.I., Chovnjuk Ju.V., Dikteruk M.G., 2014.* Ustanovka dlja formu-vannja virobiv z betonnih sumishej [Installation for formation of products from concrete mixes]. Patent Ukrayini na vinahid № 105744 [Patent of Ukraine for the invention № 105744]. Bjul. № 11 vid 10.06.2014 r. [The bulletin No. 11 from 10.06.2014].