

## ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РЕВЕРСУВАННЯ РОЛИКОВОЇ ФОРМУВАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ В РИВКОВОМУ РЕЖИМІ

*К. І. Почка, доктор технічних наук, професор  
ORCID: 0000-0002-0355-002X*

**Київський національний університет будівництва і архітектури**

**Анотація.** З метою підвищення надійності та довговічності роликкової формувальної установки розраховано режим зворотно-поступального руху формувального візка з ривковим реверсуванням. Розраховано кінематичні характеристики формувального візка при режимі зворотно-поступального руху з ривковим реверсуванням. Запропоновано конструкцію роликкової формувальної установки з кулачковим приводним механізмом та побудовано профіль кулачка для забезпечення комбінованого режиму зворотно-поступального руху формувального візка з ривковим реверсуванням.

**Ключові слова:** роликкова формувальна установка, привідний механізм, зусилля, режим руху, закон, прискорення, ривок, кулачковий механізм.

**Постановка проблеми.** В установках роликкового формування залізобетонних виробів під час їхньої роботи виникають значні динамічні навантаження в елементах приводного механізму та в елементах формувальних візків [1-9]. Не дивлячись на досить широке дослідження технологічного процесу формування залізобетонних виробів безвібраційним роликковим методом [1-4], 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 приводного механізму.

**Аналіз публікацій по темі дослідження.** В існуючих теоретичних та експериментальних дослідженнях машин роликкового формування залізобетонних виробів обґрунтовано їхні конструктивні параметри та продуктивність [1-4]. 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 приводного механізму та в елементах формувального візка, що може привести до передчасного виходу установки з ладу [7-24]. Тому актуальною є задача удосконалення приводного механізму роликкової формувальної установки з метою забезпечення такого режиму руху формувального візка, при якому зменшувалися б динамічні навантаження в елементах установки та підвищувалася її довговічність.

**Мета даної роботи** полягає в удосконаленні конструкції приводного механізму роликкової формувальної установки для підвищення її надійності та довговічності.

### **Виклад основного матеріалу дослідження.**

Для роликкової формувальної установки при ущільненні бетонної суміші бажано мати постійну швидкість зворотно-поступального руху формувального візка на всій ділянці, що позитивно вплинуло б 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 ривковим режимом руху [25]. При цьому швидкість та прискорення формувального візка змінюються плавно, 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 [25]. В даній роботі в якості критерію режиму руху використана критеріальна дія, яка являє собою інтеграл за часом з підінтегральною функцією, що виражає міру руху або дію системи. Для ривкового режиму реверсування критерій оптимальності руху матимемо у вигляді:

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

де  $t$  – час;  $t_p$  – тривалість реверсування;  $W$  – енергія ривків:

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

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

Умовою мінімуму критерію (1) є рівняння Пуассона:

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

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

З виразу (3) можна записати:

$$\frac{\partial W}{\partial x} = \frac{\partial W}{\partial \dot{x}} = \frac{\partial W}{\partial \ddot{x}} = 0; \quad \frac{\partial W}{\partial \ddot{x}} = m \cdot \ddot{x}; \quad \frac{d^3}{dt^3} \frac{\partial W}{\partial \ddot{x}} = m \cdot \overset{VI}{x} = 0. \quad (4)$$

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

$$\overset{VI}{x} = 0; \quad \overset{V}{x} = C_1; \quad \overset{IV}{x} = C_1 \cdot t + C_2; \quad \ddot{x} = \frac{1}{2} \cdot C_1 \cdot t^2 + C_2 \cdot t + C_3;$$

$$\ddot{x} = \frac{1}{6} \cdot C_1 \cdot t^3 + \frac{1}{2} \cdot C_2 \cdot t^2 + C_3 \cdot t + C_4; \quad \dot{x} = \frac{1}{24} \cdot C_1 \cdot t^4 + \frac{1}{6} \cdot C_2 \cdot t^3 + \frac{1}{2} \cdot C_3 \cdot t^2 + C_4 \cdot t + C_5; \quad (5)$$

$$x = \frac{1}{120} \cdot C_1 \cdot t^5 + \frac{1}{24} \cdot C_2 \cdot t^4 + \frac{1}{6} \cdot C_3 \cdot t^3 + \frac{1}{2} \cdot C_4 \cdot t^2 + C_5 \cdot t + C_6,$$

де  $C_1, C_2, C_3, C_4, C_5, C_6$  – постійні інтегрування, які визначаються з граничних умов.

Розділимо процес реверсування на два етапи: гальмування та пуск.

При гальмуванні початковими умовами є:  $t = 0: x = -x_1; \dot{x} = \dot{x}_y; \ddot{x} = 0$ . Кінцеві умови при гальмуванні:  $t = t_2: x = 0; \dot{x} = 0; \ddot{x} = 0$ . Тут  $x_1$  – координата початку процесу гальмування;  $\dot{x}_y$  – швидкість руху візка на усталеному режимі до початку гальмування.

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

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

$$t = 0: C_6 = -x_1; C_5 = \dot{x}_y; C_4 = 0; \quad (6)$$

$$t = t_2: \begin{cases} \frac{1}{120} \cdot C_1 \cdot t_2^5 + \frac{1}{24} \cdot C_2 \cdot t_2^4 + \frac{1}{6} \cdot C_3 \cdot t_2^3 + \dot{x}_y \cdot t_2 - x_1 = 0; \\ \frac{1}{24} \cdot C_1 \cdot t_2^4 + \frac{1}{6} \cdot C_2 \cdot t_2^3 + \frac{1}{2} \cdot C_3 \cdot t_2^2 + \dot{x}_y = 0; \\ \frac{1}{6} \cdot C_1 \cdot t_2^3 + \frac{1}{2} \cdot C_2 \cdot t_2^2 + C_3 \cdot t_2 = 0. \end{cases} \quad (7)$$

Розв'язавши систему рівнянь (7), отримуємо постійні інтегрування  $C_1, C_2$  та  $C_3$ :

$$C_1 = \frac{360 \cdot \left( 2 \cdot \frac{x_1}{t_2} - \dot{x}_y \right)}{t_2^4}; \quad C_2 = \frac{24 \cdot \left( 8 \cdot \dot{x}_y - 15 \cdot \frac{x_1}{t_2} \right)}{t_2^3}; \quad C_3 = \frac{12 \cdot \left( 5 \cdot \frac{x_1}{t_2} - 3 \cdot \dot{x}_y \right)}{t_2^2}. \quad (8)$$

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

$$\ddot{x} = 180 \cdot \left( 2 \cdot \frac{x_1}{t_2} - \dot{x}_y \right) \cdot \frac{t^2}{t_2^4} + 24 \cdot \left( 8 \cdot \dot{x}_y - 15 \cdot \frac{x_1}{t_2} \right) \cdot \frac{t}{t_2^3} + 12 \cdot \left( 5 \cdot \frac{x_1}{t_2} - 3 \cdot \dot{x}_y \right) \cdot \frac{1}{t_2^2} \quad (9)$$

або

$$\ddot{x} = \frac{12}{t_2^2} \cdot \left[ 15 \cdot \left( 2 \cdot \frac{x_1}{t_2} - \dot{x}_y \right) \cdot \frac{t^2}{t_2^2} + 2 \cdot \left( 8 \cdot \dot{x}_y - 15 \cdot \frac{x_1}{t_2} \right) \cdot \frac{t}{t_2} + \left( 5 \cdot \frac{x_1}{t_2} - 3 \cdot \dot{x}_y \right) \right]. \quad (10)$$

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

$$\begin{aligned} I_{W_2} &= \frac{m}{2} \cdot \int_0^{t_2} \ddot{x}^2 dt = \frac{72 \cdot m}{t_2^4} \cdot \int_0^{t_2} \left[ 15 \left( 2 \cdot \frac{x_1}{t_2} - \dot{x}_y \right) \cdot \frac{t^2}{t_2^2} + 2 \left( 8 \cdot \dot{x}_y - 15 \cdot \frac{x_1}{t_2} \right) \cdot \frac{t}{t_2} + \left( 5 \cdot \frac{x_1}{t_2} - 3 \cdot \dot{x}_y \right) \right]^2 dt = \\ &= \frac{72 \cdot m}{t_2^4} \cdot \int_0^{t_2} \left[ 225 \cdot \left( 2 \cdot \frac{x_1}{t_2} - \dot{x}_y \right)^2 \cdot \frac{t^4}{t_2^4} + 4 \cdot \left( 8 \cdot \dot{x}_y - 15 \cdot \frac{x_1}{t_2} \right)^2 \cdot \frac{t^2}{t_2^2} + \left( 5 \cdot \frac{x_1}{t_2} - 3 \cdot \dot{x}_y \right)^2 + \right. \\ &\quad \left. + 60 \left( 2 \cdot \frac{x_1}{t_2} - \dot{x}_y \right) \cdot \left( 8 \cdot \dot{x}_y - 15 \cdot \frac{x_1}{t_2} \right) \cdot \frac{t^3}{t_2^3} + 30 \left( 2 \cdot \frac{x_1}{t_2} - \dot{x}_y \right) \cdot \left( 5 \cdot \frac{x_1}{t_2} - 3 \cdot \dot{x}_y \right) \cdot \frac{t^2}{t_2^2} + \right. \\ &\quad \left. + 4 \cdot \left( 8 \cdot \dot{x}_y - 15 \cdot \frac{x_1}{t_2} \right) \cdot \left( 5 \cdot \frac{x_1}{t_2} - 3 \cdot \dot{x}_y \right) \cdot \frac{t}{t_2} \right] dt = \\ &= \frac{72 \cdot m}{t_2^3} \cdot \left[ 45 \cdot \left( 2 \cdot \frac{x_1}{t_2} - \dot{x}_y \right)^2 + \frac{4}{3} \cdot \left( 8 \cdot \dot{x}_y - 15 \cdot \frac{x_1}{t_2} \right)^2 + \left( 5 \cdot \frac{x_1}{t_2} - 3 \cdot \dot{x}_y \right)^2 + \right. \\ &\quad \left. + 15 \cdot \left( 31 \cdot \frac{x_1}{t_2} \cdot \dot{x}_y - 30 \cdot \frac{x_1^2}{t_2^2} - 8 \cdot \dot{x}_y^2 \right) + 10 \cdot \left( 10 \cdot \frac{x_1^2}{t_2^2} - 11 \cdot \frac{x_1}{t_2} \cdot \dot{x}_y + 3 \cdot \dot{x}_y^2 \right) + \right. \\ &\quad \left. + 2 \cdot \left( 85 \cdot \frac{x_1}{t_2} \cdot \dot{x}_y - 24 \cdot \dot{x}_y^2 - 75 \cdot \frac{x_1^2}{t_2^2} \right) \right] = \\ &= \frac{72 \cdot m}{t_2^3} \cdot \left[ 5 \cdot \frac{x_1^2}{t_2^2} - 5 \cdot \frac{x_1}{t_2} \cdot \dot{x}_y + \frac{4}{3} \cdot \dot{x}_y^2 \right]. \end{aligned} \quad (11)$$

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

$$t = 0: \quad C_4 = 0; \quad C_5 = 0; \quad C_6 = 0; \quad (12)$$

$$t = t_n: \quad \begin{cases} \frac{1}{120} \cdot C_1 \cdot t_n^5 + \frac{1}{24} \cdot C_2 \cdot t_n^4 + \frac{1}{6} \cdot C_3 \cdot t_n^3 = -x_1; \\ \frac{1}{24} \cdot C_1 \cdot t_n^4 + \frac{1}{6} \cdot C_2 \cdot t_n^3 + \frac{1}{2} \cdot C_3 \cdot t_n^2 = -\dot{x}_y; \\ \frac{1}{6} \cdot C_1 \cdot t_n^3 + \frac{1}{2} \cdot C_2 \cdot t_n^2 + C_3 \cdot t_n = 0. \end{cases} \quad (13)$$

Розв'язавши систему рівнянь (13), отримуємо постійні інтегрування  $C_1$ ,  $C_2$  та  $C_3$ :

$$C_1 = \frac{360 \cdot \left( \dot{x}_y - 2 \cdot \frac{x_1}{t_n} \right)}{t_n^4}; \quad C_2 = \frac{24 \cdot \left( 15 \cdot \frac{x_1}{t_n} - 7 \cdot \dot{x}_y \right)}{t_n^3}; \quad C_3 = \frac{12 \cdot \left( 2 \cdot \dot{x}_y - 5 \cdot \frac{x_1}{t_n} \right)}{t_n^2}. \quad (14)$$

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

$$\ddot{x} = 180 \cdot \left( \dot{x}_y - 2 \cdot \frac{x_1}{t_n} \right) \cdot \frac{t^2}{t_n^4} + 24 \cdot \left( 15 \cdot \frac{x_1}{t_n} - 7 \cdot \dot{x}_y \right) \cdot \frac{t}{t_n^3} + 12 \cdot \left( 2 \cdot \dot{x}_y - 5 \cdot \frac{x_1}{t_n} \right) \cdot \frac{1}{t_n^2} \quad (15)$$

або

$$\ddot{x} = \frac{12}{t_n^2} \cdot \left[ 15 \cdot \left( \dot{x}_y - 2 \cdot \frac{x_1}{t_n} \right) \cdot \frac{t^2}{t_n^2} + 2 \cdot \left( 15 \cdot \frac{x_1}{t_n} - 7 \cdot \dot{x}_y \right) \cdot \frac{t}{t_n} + \left( 2 \cdot \dot{x}_y - 5 \cdot \frac{x_1}{t_n} \right) \right]. \quad (16)$$

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

$$\begin{aligned} I_{Wn} &= \frac{m}{2} \cdot \int_0^{t_n} \ddot{x}^2 dt = \frac{72 \cdot m}{t_n^4} \cdot \int_0^{t_n} \left[ 15 \cdot \left( \dot{x}_y - 2 \cdot \frac{x_1}{t_n} \right) \cdot \frac{t^2}{t_n^2} + 2 \cdot \left( 15 \cdot \frac{x_1}{t_n} - 7 \cdot \dot{x}_y \right) \cdot \frac{t}{t_n} + \left( 2 \cdot \dot{x}_y - 5 \cdot \frac{x_1}{t_n} \right) \right]^2 dt = \\ &= \frac{72 \cdot m}{t_n^4} \cdot \int_0^{t_n} \left[ 225 \cdot \left( \dot{x}_y - 2 \cdot \frac{x_1}{t_n} \right)^2 \cdot \frac{t^4}{t_n^4} + 4 \cdot \left( 15 \cdot \frac{x_1}{t_n} - 7 \cdot \dot{x}_y \right)^2 \cdot \frac{t^2}{t_n^2} + \left( 2 \cdot \dot{x}_y - 5 \cdot \frac{x_1}{t_n} \right)^2 + \right. \\ &\quad \left. + 60 \cdot \left( \dot{x}_y - 2 \cdot \frac{x_1}{t_n} \right) \cdot \left( 15 \cdot \frac{x_1}{t_n} - 7 \cdot \dot{x}_y \right) \cdot \frac{t^3}{t_n^3} + 30 \cdot \left( \dot{x}_y - 2 \cdot \frac{x_1}{t_n} \right) \cdot \left( 2 \cdot \dot{x}_y - 5 \cdot \frac{x_1}{t_n} \right) \cdot \frac{t^2}{t_n^2} + \right. \\ &\quad \left. + 4 \cdot \left( 15 \cdot \frac{x_1}{t_n} - 7 \cdot \dot{x}_y \right) \cdot \left( 2 \cdot \dot{x}_y - 5 \cdot \frac{x_1}{t_n} \right) \cdot \frac{t}{t_n} \right] dt = \\ &= \frac{72 \cdot m}{t_n^3} \cdot \left[ 45 \cdot \left( \dot{x}_y - 2 \cdot \frac{x_1}{t_n} \right)^2 + \frac{4}{3} \cdot \left( 15 \cdot \frac{x_1}{t_n} - 7 \cdot \dot{x}_y \right)^2 + \left( 2 \cdot \dot{x}_y - 5 \cdot \frac{x_1}{t_n} \right)^2 + \right. \\ &\quad \left. + 15 \cdot \left( 29 \cdot \frac{x_1}{t_n} \cdot \dot{x}_y - 30 \cdot \frac{x_1^2}{t_n^2} - 7 \cdot \dot{x}_y^2 \right) + 10 \cdot \left( 10 \cdot \frac{x_1^2}{t_n^2} - 9 \cdot \frac{x_1}{t_n} \cdot \dot{x}_y + 2 \cdot \dot{x}_y^2 \right) + \right. \\ &\quad \left. + 2 \cdot \left( 65 \cdot \frac{x_1}{t_n} \cdot \dot{x}_y - 14 \cdot \dot{x}_y^2 - 75 \cdot \frac{x_1^2}{t_n^2} \right) \right] = \\ &= \frac{72 \cdot m}{t_n^3} \cdot \left[ 5 \cdot \frac{x_1^2}{t_n^2} - 5 \cdot \frac{x_1}{t_n} \cdot \dot{x}_y + \frac{4}{3} \cdot \dot{x}_y^2 \right]. \end{aligned} \quad (17)$$

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

$$I_W = I_{Wz} + I_{Wn} = \frac{72 \cdot m}{t_z^3} \cdot \left[ 5 \cdot \frac{x_1^2}{t_z^2} - 5 \cdot \frac{x_1}{t_z} \cdot \dot{x}_y + \frac{4}{3} \cdot \dot{x}_y^2 \right] + \frac{72 \cdot m}{t_n^3} \cdot \left[ 5 \cdot \frac{x_1^2}{t_n^2} - 5 \cdot \frac{x_1}{t_n} \cdot \dot{x}_y + \frac{4}{3} \cdot \dot{x}_y^2 \right]. \quad (18)$$

Прийнявши рівність часу гальмування візка та його пуску  $t_z = t_n = t_1$ , вираз (18) можна подати у наступному вигляді:

$$I_W = \frac{72 \cdot m}{t_1^3} \cdot \left[ 10 \cdot \frac{x_1^2}{t_1^2} - 10 \cdot \frac{x_1}{t_1} \cdot \dot{x}_y + \frac{8}{3} \cdot \dot{x}_y^2 \right]. \quad (19)$$

Для забезпечення виконання нерівності (1) необхідно виконати умову:

$$\frac{\partial I_W}{\partial x_1} = \frac{72 \cdot m}{t_1^3} \cdot \left[ 20 \cdot \frac{x_1}{t_1^2} - 10 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_1} \right] = \frac{72 \cdot m}{t_1^4} \cdot \left[ 20 \cdot \frac{x_1}{t_1} - 10 \cdot \dot{x}_y \right] = 0. \quad (20)$$

Із виразу (20) можна отримати:

$$20 \cdot \frac{x_1}{t_1} - 10 \cdot \dot{x}_y = 0 \quad \Rightarrow \quad x_1 = \frac{1}{2} \cdot \dot{x}_y \cdot t_1. \quad (21)$$

Підставивши другий вираз (21) у рівності (6) та (8) отримано постійні інтегрування в процесі гальмування формувального візка:

$$C_1 = 0; \quad C_2 = 12 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_1^3}; \quad C_3 = -6 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_1^2}; \quad C_4 = 0; \quad C_5 = \dot{x}_y; \quad C_6 = -\frac{1}{2} \cdot \dot{x}_y \cdot t_1. \quad (22)$$

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

$$x = \frac{1}{2} \cdot \dot{x}_y \cdot \left( \frac{t^4}{t_1^3} - 2 \cdot \frac{t^3}{t_1^2} + 2 \cdot t - t_1 \right); \quad \dot{x} = \dot{x}_y \cdot \left( 2 \cdot \frac{t^3}{t_1^3} - 3 \cdot \frac{t^2}{t_1^2} + 1 \right); \quad (23)$$

$$\ddot{x} = 6 \cdot \dot{x}_y \cdot \left( \frac{t^2}{t_1^3} - \frac{t}{t_1^2} \right); \quad \ddot{x} = 6 \cdot \dot{x}_y \cdot \left( 2 \cdot \frac{t}{t_1^3} - \frac{1}{t_1^2} \right).$$

Підставивши другий вираз (21) у рівності (12) та (14) отримано постійні інтегрування в процесі пуску формульовального візка:

$$C_1 = 0; \quad C_2 = 12 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_1^3}; \quad C_3 = -6 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_1^2}; \quad C_4 = 0; \quad C_5 = 0; \quad C_6 = 0. \quad (24)$$

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

$$x = \frac{1}{2} \cdot \dot{x}_y \cdot \left( \frac{t^4}{t_1^3} - 2 \cdot \frac{t^3}{t_1^2} \right); \quad \dot{x} = \dot{x}_y \cdot \left( 2 \cdot \frac{t^3}{t_1^3} - 3 \cdot \frac{t^2}{t_1^2} \right); \quad (25)$$

$$\ddot{x} = 6 \cdot \dot{x}_y \cdot \left( \frac{t^2}{t_1^3} - \frac{t}{t_1^2} \right); \quad \ddot{x} = 6 \cdot \dot{x}_y \cdot \left( 2 \cdot \frac{t}{t_1^3} - \frac{1}{t_1^2} \right).$$

На усталеному режимі руху формульовального візка координата переміщення та швидкості його центра мас описуються рівняннями [25]:

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

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  $\Delta x$ , кінцеву координату положення центра мас візка при усталеному русі можна визначити  $x_{1y} = \Delta x - x_1$ .

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

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

Прийнявши загальний час руху формульовального візка з одного крайнього положення в інше  $t_3$ , його можна розділити на три частини: час пуску –  $t_n$ ; час усталеного руху –  $t_y$ ; час гальмування –  $t_2$ . Для забезпечення ущільнення бетонної суміші формульовальним 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 відповідними виразами:  $t_n = t_2 = t_1 = \frac{1}{6} \cdot t_3$ .

Після цього вирази швидкості руху візка на 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:

$$\begin{aligned} x &= \frac{216 \cdot \Delta x}{5} \cdot \left( \frac{t^3}{t_3^3} - 3 \cdot \frac{t^4}{t_3^4} \right); & \dot{x} &= \frac{648 \cdot \Delta x}{5} \cdot \left( \frac{t^2}{t_3^3} - 4 \cdot \frac{t^3}{t_3^4} \right); \\ \ddot{x} &= \frac{1296 \cdot \Delta x}{5} \cdot \left( 6 \cdot \frac{t^2}{t_3^4} - \frac{t}{t_3^3} \right); & \ddot{\ddot{x}} &= \frac{1296 \cdot \Delta x}{5} \cdot \left( \frac{1}{t_3^3} - 12 \cdot \frac{t}{t_3^4} \right); \end{aligned} \quad (29)$$

– на ділянці усталеного руху:

$$x = \frac{\Delta x}{10} + \frac{6 \cdot \Delta x \cdot t}{5 \cdot t_3}; \quad \dot{x} = \frac{6 \cdot \Delta x}{5 \cdot t_3} = const; \quad \ddot{x} = 0; \quad \ddot{\ddot{x}} = 0; \quad (30)$$

– на ділянці гальмування:

$$\begin{aligned} x &= \frac{3 \cdot \Delta x}{5} \cdot \left( 216 \cdot \frac{t^4}{t_3^4} - 72 \cdot \frac{t^3}{t_3^3} + 2 \cdot \frac{t}{t_3} + \frac{3}{2} \right); & \dot{x} &= \frac{6 \cdot \Delta x}{5} \cdot \left( 432 \cdot \frac{t^3}{t_3^4} - 108 \cdot \frac{t^2}{t_3^3} + \frac{1}{t_3} \right); \\ \ddot{x} &= \frac{1296 \cdot \Delta x}{5} \cdot \left( 6 \cdot \frac{t^2}{t_3^4} - \frac{t}{t_3^3} \right); & \ddot{\ddot{x}} &= \frac{1296 \cdot \Delta x}{5} \cdot \left( 12 \cdot \frac{t}{t_3^4} - \frac{1}{t_3^3} \right). \end{aligned} \quad (31)$$

Задавшись амплітудою переміщення формувального візка  $\Delta x = 0,4 \text{ м}$  та загальним часом його руху від одного крайнього положення в інше  $t_3 = 3 \text{ с}$ , 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 ривковим режимом реверсування.

Перетворивши перші рівняння виразів (29)-(31) для випадку, коли початок координат відраховується від середнього положення переміщення формувального візка, отримаємо:

– на ділянці пуску:

$$x = \frac{216 \cdot \Delta x}{5} \cdot \left( \frac{t^3}{t_3^3} - 3 \cdot \frac{t^4}{t_3^4} \right) - \frac{\Delta x}{2}; \quad (32)$$

– на ділянці усталеного руху:

$$x = \frac{2 \cdot \Delta x}{5} \cdot \left( \frac{3 \cdot t}{t_3} - 1 \right); \quad (33)$$

– на ділянці гальмування:

$$x = \frac{3 \cdot \Delta x}{5} \cdot \left( 216 \cdot \frac{t^4}{t_3^4} - 72 \cdot \frac{t^3}{t_3^3} + 2 \cdot \frac{t}{t_3} + \frac{3}{2} \right) - \frac{\Delta x}{2}. \quad (34)$$

Закон руху візка, описаний рівняннями (32)-(34), може бути здійснений приводом з кулачковим механізмом (рис. 2) зворотно-поступального руху візка. При цьому рух візка в одному напрямку здійснюється за рахунок повороту кулачка 1 на половину оберту (тобто  $\varphi = \pi$ ) і в зворотному напрямку ще на половину оберту; повний цикл руху візка – за один оберт кулачка.

Для здійснення описаного закону руху візка необхідно, щоб приріст радіуса кулачка відповідав приросту переміщення візка. Згідно з цим перемінний радіус кулачка визначається залежностями:

– на ділянці пуску:

$$\rho = \frac{b}{2} + \frac{216 \cdot \Delta x}{5} \cdot \left( \frac{t^3}{t_3^3} - 3 \cdot \frac{t^4}{t_3^4} \right) - \frac{\Delta x}{2}; \quad (35)$$

– на ділянці усталеного руху:

$$\rho = \frac{b}{2} + \frac{2 \cdot \Delta x}{5} \cdot \left( \frac{3 \cdot t}{t_3} - 1 \right); \quad (36)$$

– на ділянці гальмування:

$$\rho = \frac{b}{2} + \frac{3 \cdot \Delta x}{5} \cdot \left( 216 \cdot \frac{t^4}{t_3^4} - 72 \cdot \frac{t^3}{t_3^3} + 2 \cdot \frac{t}{t_3} + \frac{3}{2} \right) - \frac{\Delta x}{2}, \quad (37)$$

де  $b$  – відстань між штовхачами 2 (рис. 2).

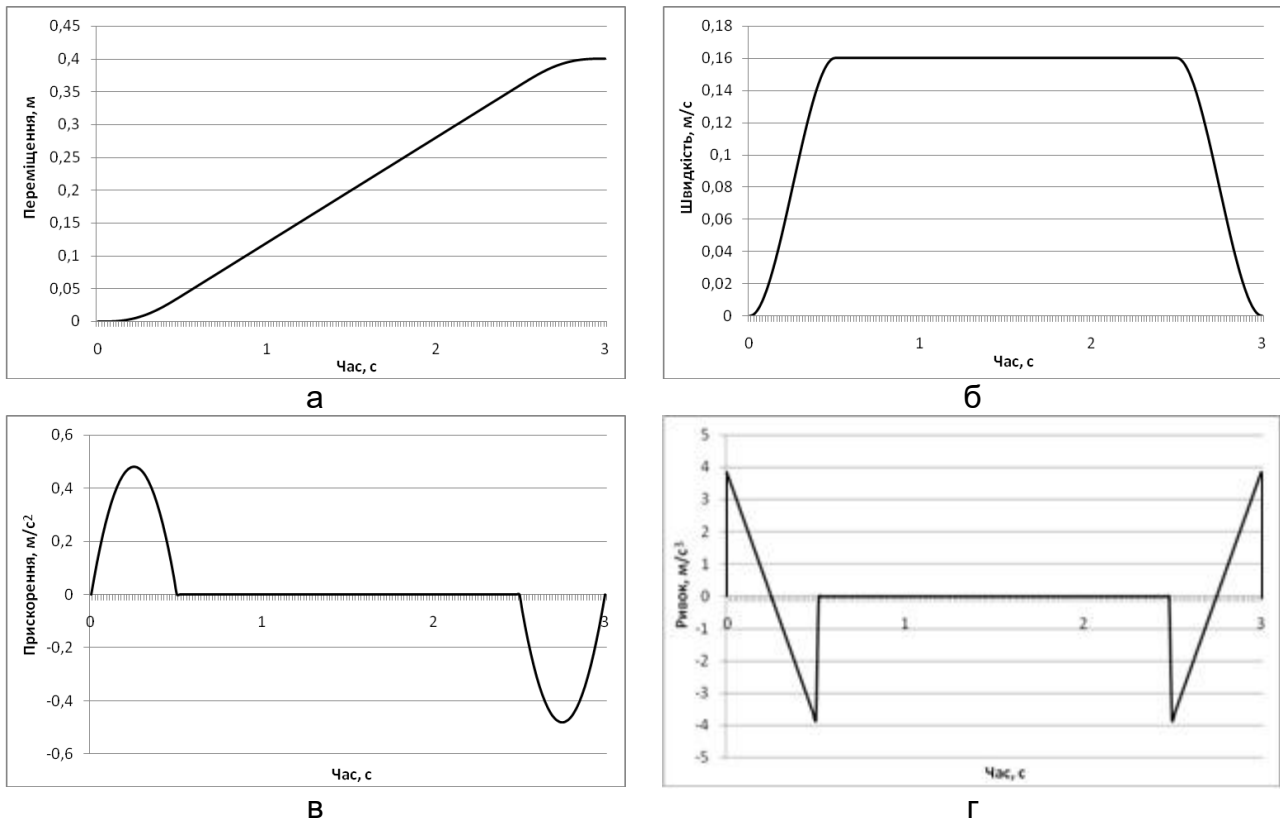


Рис. 1. Графіки зміни переміщення – а, швидкості – б, прискорення – в та ривка – г при русі формувального візка з оптимальним ривковим режимом реверсування

Час  $t$  можна виключити із залежностей (35)-(37), оскільки  $t = \frac{\varphi}{\omega}$ , а  $t_3 = \frac{\pi}{\omega}$ . Тут  $\varphi$  – кутова координата повороту кулачка, а  $\omega$  – кутова швидкість обертання кулачка. Оскільки час пуску формувального візка визначається залежністю  $t_n = \frac{1}{6} \cdot t_3$ , то процес пуску буде здійснюватись при повороті кулачка на кут в межах від  $\varphi = 0$  до  $\varphi = \frac{\pi}{6}$ ; час усталеного руху –  $t_y = \frac{2}{3} \cdot t_3$ , тоді усталений рух візка буде забезпечуватись поворотом кулачка на кут в межах від  $\varphi = \frac{\pi}{6}$  до  $\varphi = \frac{5\pi}{6}$ ; час гальмування –  $t_2 = \frac{1}{6} \cdot t_3$ , тоді процес гальмування буде здійснюватись при повороті кулачка на кут в межах від  $\varphi = \frac{5\pi}{6}$  до  $\varphi = \pi$ . Після відповідних перетворень радіус кулачка, що описує його профіль, пов'язується з кутовою координатою наступними виразами:

$$\rho = \frac{b}{2} + \frac{216 \cdot \Delta x}{5} \cdot \left( \frac{\varphi^3}{\pi^3} - 3 \cdot \frac{\varphi^4}{\pi^4} \right) - \frac{\Delta x}{2}, \quad 0 \leq \varphi \leq \frac{\pi}{6}; \quad (38)$$

$$\rho = \frac{b}{2} + \frac{2 \cdot \Delta x}{5} \cdot \left[ 3 \cdot \left( \varphi - \frac{\pi}{6} \right) \cdot \frac{1}{\pi} - 1 \right], \quad \frac{\pi}{6} < \varphi < \frac{5\pi}{6}; \quad (39)$$

$$\rho = \frac{b}{2} + \frac{3 \cdot \Delta x}{5} \cdot \left[ \begin{aligned} &216 \cdot \left(\varphi - \frac{5\pi}{6}\right)^4 \cdot \frac{1}{\pi^4} - 72 \cdot \left(\varphi - \frac{5\pi}{6}\right)^3 \cdot \frac{1}{\pi^3} + \\ &+ 2 \cdot \left(\varphi - \frac{5\pi}{6}\right) \cdot \frac{1}{\pi} + \frac{3}{2} \end{aligned} \right] - \frac{\Delta x}{2}, \quad \frac{5\pi}{6} < \varphi \leq \pi. \quad (40)$$

Аналогічно визначається профіль кулачка на ділянці його повороту від  $\pi$  до  $2\pi$ , який описується радіусом, що змінюється залежностями:

$$\rho = \frac{b}{2} - \frac{216 \cdot \Delta x}{5} \cdot \left[ \frac{(\varphi - \pi)^3}{\pi^3} - 3 \cdot \frac{(\varphi - \pi)^4}{\pi^4} \right] + \frac{\Delta x}{2}, \quad \pi \leq \varphi \leq \frac{7\pi}{6}; \quad (41)$$

$$\rho = \frac{b}{2} - \frac{2 \cdot \Delta x}{5} \cdot \left[ 1 - 3 \cdot \left(\varphi - \frac{7\pi}{6}\right) \cdot \frac{1}{\pi} \right] + \frac{\Delta x}{2}, \quad \frac{7\pi}{6} < \varphi < \frac{11\pi}{6}; \quad (42)$$

$$\rho = \frac{b}{2} - \frac{3 \cdot \Delta x}{5} \cdot \left[ \begin{aligned} &216 \cdot \left(\varphi - \frac{11\pi}{6}\right)^4 \cdot \frac{1}{\pi^4} - 72 \cdot \left(\varphi - \frac{11\pi}{6}\right)^3 \cdot \frac{1}{\pi^3} + \\ &+ 2 \cdot \left(\varphi - \frac{11\pi}{6}\right) \cdot \frac{1}{\pi} + \frac{3}{2} \end{aligned} \right] + \frac{\Delta x}{2}, \quad \frac{11\pi}{6} < \varphi \leq 2\pi. \quad (43)$$

Для унеможливлення ударів кулачка об штовхачі при зміні напрямку руху візка описаний рівняннями (38)-(43) профіль кулачка (рис. 3) має такий вид, що в будь-якому положенні його діаметр  $d$  – величина постійна і рівна відстані між штовхачами  $b$  ( $d = b$ ).

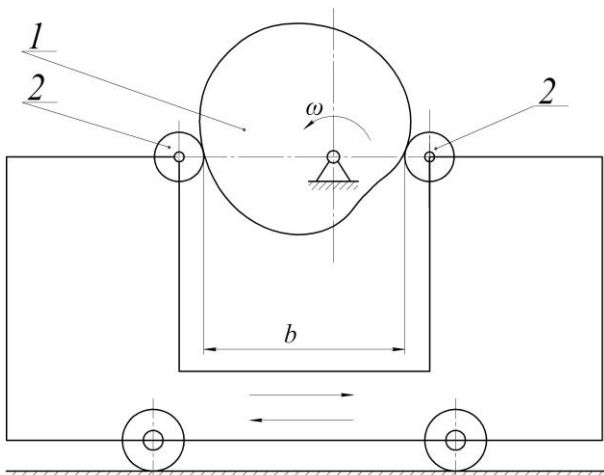


Рис. 2. Схема механізму з кулачковим приводом зворотно-поступального руху візка

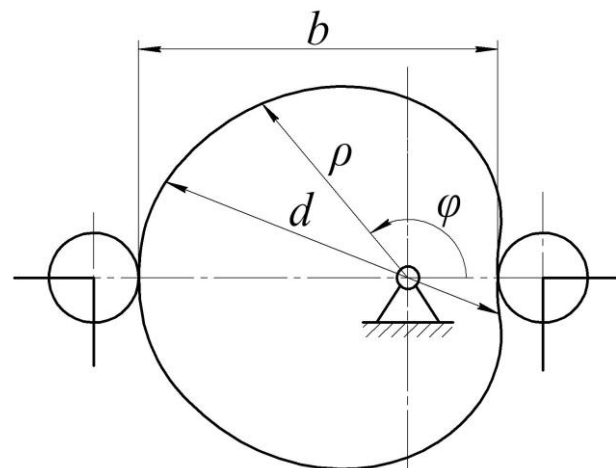


Рис. 3. Профіль кулачка, що реалізує комбінований динамічний режим руху формувального візка

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 ривковим режимом реверсування (рис. 4). Приводний механізм виконаний у вигляді шарнірно встановлених на порталі кулачкових механізмів, що контактують з штовхачами, жорстко прикріпленими до формувального візка.

Установка вміщує змонтований на нерухомому порталі 1 формувальний візок 2, що вміщує подавальний бункер 3 та укочувальні ролики 4 і здійснює зворотно-поступальний рух в напрямках 5 над порожниною форми 6. Візок приводиться в зворотно-поступальний рух за допомогою двох приводів 7, прикріплених до порталу 1 у вигляді двох кулачкових механізмів, що обертаються з постійною кутовою швидкістю ( $\omega = const$ ), але різною за напрямками, і контактують з двома штовхачами 8, жорстко з'єднаними з візком 2. Наявність двох штовхачів 8 з кожного боку формувального візка 2 дозволяє створювати жорсткий силовий ланцюг при його прямому і зворотному ході.

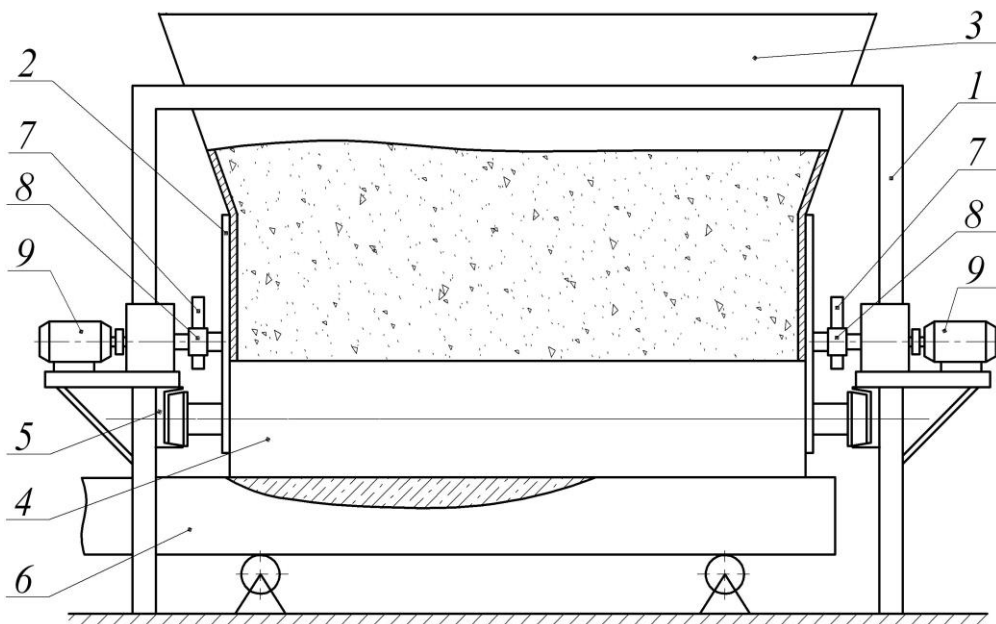


Рис. 4. Роликова формувальна установка з кулачковим приводним механізмом

При застосуванні в установці кулачкового приводного механізму з кожного боку формувального візка унеможливується його осьове перекошування, підвищується якість поверхні оброблюваної бетонної суміші, зменшуються динамічні навантаження в елементах приводу, зменшуються зайві руйнівні навантаження на рамну конструкцію і, відповідно, підвищується довговічність установки в цілому.

#### Висновки.

1. В результаті проведених досліджень з метою підвищення надійності та довговічності роликової формувальної установки розроблено конструкцію її приводу у вигляді кулачкового механізму та побудовано профіль кулачка для забезпечення зворотно-поступального руху формувального візка з оптимальним ривковим режимом реверсування.

2. Запропоновано конструкцію роликової формувальної установки з кулачковим приводним механізмом з обох боків формувального візка для унеможливлення його осьового перекошування, що в свою чергу приводить до підвищення якості поверхні оброблюваної бетонної суміші, зменшення динамічних навантажень в елементах приводу, зменшення зайвих руйнівних навантажень на рамну конструкцію і, відповідно, до підвищення довговічності установки в цілому.

3. 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.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ловейкін В.С., Почка К.І., Ромасевич Ю.О., Почка О.Б. Динамічний аналіз роликової формувальної установки з кривошипно-шатунним приводним механізмом // Опір матеріалів і теорія споруд. – 2019. – № 102. – С. 91-108. – DOI: 10.32347/2410-2547.2019.102.91-108.

2. Гарнець В. М., Зайченко С. В., Човнюк Ю. В., Шаленко В. О., Приходько Я. С. Бетоноформувальні агрегати. Конструктивно-функціональні схеми, принцип дії, основи теорії. К.: Інтерсервіс, 2015. 238 с.

3. Гарнець В.М., Човнюк Ю.В., Зайченко С.В., Шаленко В.О., Приходько Я.С. Теорія і практика створення бетоноформувальних агрегатів (БФА). Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини. 2014. Вип. 83. С. 49-54.

4. Почка К.І. Розробка та аналіз роликової формувальної установки з рекуперативним приводом: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.05.02 «Машини для виробництва будівельних матеріалів і конструкцій». Київ, 2008. 24 с.

5. Ловейкін В. С., Почка К. І. Динамічний аналіз роликів формувальної установки з рекупераційним приводом. *Динаміка, міцність і надійність с.-г машин: Пр. І міжнар. наук.-техн. конф. (DSR AM-I)*. (Тернопіль, 4-7 жовт. 2004). Тернопіль, 2004. С. 507–514.
6. Ловейкін В. С., Почка К. І. Результати експериментальних досліджень режимів руху роликів формувальної установки з рекупераційним приводом. *Вісн. Харк. нац. ун-ту сільськ. госп-ва ім. П. Василенка*. 2007. Т 1. № 59. С. 465-474.
7. Loveikin, V. S., Pochka, K. I. Synthesis of camshaft driving mechanism in roller molding installation with combined motion mode according to acceleration of third order. *Science & Technique*. 2017. No. 16 (3). 206-214. DOI: 10.21122/2227-1031-2017-16-3-206-214.
8. Loveykin V., Pochka K. Realization of optimum mode of movement of roller forming installation on acceleration of fourth order. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research*. Kyiv. Ukraine. 2018. Vol. 9, No. 2. P. 19-26. doi.org/10.31548/me2018.02.019.
9. Ловейкін В. С., Почка К. І. Визначення оптимального значення кута зміщення кривошипів роликів формувальної установки з рекупераційним приводом. *Автоматизація вироб. процесів у машинобуд. та приладобуд.* НУ «Львівська політехніка». 2007. № 41. С. 127-134.
10. Ловейкін В. С., Почка К. І. Визначення навантажень в елементах роликів формувальних установок. *Зб. наук. пр. Укр. акад. залізнич. трансп.* Харків: УкрДАЗТ, 2008. Вип. 88. С. 15-20.
11. Ловейкін В. С., Почка К.І. Визначення навантажень в елементах роликів формувальної установки. *Теорія і практика буд-ва*. 2007. № 3. С. 19-23.
12. Ловейкін В. С., Почка К. І. Дослідження динамічних навантажень в елементах роликів формувальних установок. *Vzrik moderni vedecke – 2012. Materialy VIII mezinarodni vedecko-prakticka conference– Dil. 18. Technicke vedy. Moderni informacni technologie: Praha. Publishing House “Education and Science” s.r.o.* P. 20-25.
13. Ловейкін В. С., Почка К. І. Дослідження навантажень в елементах роликів формувальної установки з врівноваженим приводом. *Автоматизація виробн. процесів у машинобуд. та приладобуд.* НУ «Львівська політехніка», 2015. Вип. 49. С. 73-79.
14. Loveikin V., Pochka K., Prystailo M., Balaka M., Pochka O. Dynamic balancing of roller forming unit drive. *Strength of Materials and Theory of Structures*. 2021. 107. P. 140-158. DOI: 10.32347/2410-2547.2021.107.140-158.
15. Ловейкін В.С., Почка К.І., Пристайло М.О., Почка О.Б. Динамічне зрівноваження привідного механізму роликів формувальної установки з енергетично врівноваженим приводом. *Опір матеріалів і теорія споруд.* – 2019. – Вип. 103. – С. 112-130. doi: 10.32347/2410-2547.2019.103.112-130.
16. Ловейкін В. С., Почка К. І. Обґрунтування параметрів енергетично врівноваженого приводу роликів формувальної установки. *Техніка будівництва*. 2014. № 32. С. 25-32.
17. Ловейкін В. С., Почка К. І. Аналіз нерівномірності руху роликів формувальної установки з енергетично врівноваженим приводом. *Вібрації в техніці та технологіях*. 2010. № 4 (60). С. 20-29.
18. Ловейкін В. С., Ковбаса В. П., Почка К. І. Динамічний аналіз роликів формувальної установки з енергетично врівноваженим приводом. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК*. 2010. Вип. 144, ч. 5. С. 338-344.
19. Ловейкін В.С., Почка К.І. Динамічна оптимізація машин роликів формувальних установок. Монографія. Київ: ЦП «Компринт», 2016. 240 с. ISBN 978-966-929-251-3.
20. Ловейкін В.С., Почка К.І. Силовий аналіз роликів формувальної установки з рекупераційним приводом. *Техніка будівництва*. 2003. № 14. С. 27-37.
21. Loveikin V., Pochka K., Prystailo M., Balaka M., Pochka O. Impact of cranks displacement angle on the motion non-uniformity of roller forming unit with energy-balanced drive. *Strength of Materials and Theory of Structures*. 2021. 106. P. 141-155. DOI: 10.32347/2410-2547.2021.106.141-155.
22. Loveikin V.S., Romasevich Yu.O., Spodoba O.O., Loveykin A.V., Pochka K.I. Mathematical model of the dynamics change departure of the jib system manipulator with the simultaneous movement of its links. *Strength of Materials and Theory of Structures*. 2020. 104. 175-190. DOI: 10.32347/2410-2547.2020.104.175-190.
23. Loveikin V. S., Pochka K. I., Romasevych Yu. O. Modeling Roller Forming Unit Dynamic Analysis with Energy Balanced Drive Dissipative Properties Taken into Account. *Проблеми машинобудування*. 2018. Т. 21, № 2. С. 32-44.
24. Ловейкін В. С., Почка К. І., Ромасевич Ю. О., Ловейкін Ю. В. Динамічний аналіз роликів формувальної установки з урахуванням дисипативних властивостей врівноваженого приводного

механізму. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research*. Kyiv. Ukraine. 2018. Vol. 9, No. 3. P. 45-58. doi.org/10.31548/me2018.03.045.

25. Ловейкін В.С., Почка К.І. Динамічна оптимізація кулачкового приводу машин роликів формувальних. Монографія. Київ: ЦП «Компринт», 2016. 177 с. ISBN 978-966-929-197-4.

26. Ловейкін В.С., Почка К.І. Дослідження навантажень в елементах роликів формувальних установок з врівноваженим приводом. *Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні*. 2015. Вип. 49. С. 73-79.

27. Ловейкін В.С., Почка К.І. Аналіз нерівномірності руху приводних механізмів машин роликів формувальних. *Техніка будівництва*. № 30, 2013. С. 23-32.

28. Ловейкін В.С., Почка К.І. Аналіз руху роликів формувальних установок з врівноваженим приводом. *Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету*. № 27. 2004. С. 95-101.

## REFERENCES

1. Loveikin V., Pochka K., Romasevich Yu.O., Pochka O. (2019). Dynamic analysis of roller forming installation about a crank connecting rod the driving mechanism // *Strength of Materials and Theory of Structures*. 102. P. 91-108. DOI: 10.32347/2410-2547.2019.102.91-108.

2. Garnec, V. M., Zajchenko, S. V., Chovnjuk, Ju. V., Shalenko, V. O. & Prihodko Ja. S. (2015). Concrete the forming units. Constructive and functional to the scheme, principle of action, theory basis. Kyiv: Interservis.

3. Garnec, V. M., Chovnjuk, Ju. V., Zajchenko, S. V., Shalenko, V. O., Prihod'ko, Ja. S. (2014). Teorija i praktika stvorenja betonofornuval'nih agregativ (BFA) [Theory and practice of creation of units of formation of concrete]. *Girnichy, budivelni, dorozhni ta meliorativni mashini* [Mining, construction, road and melioration machines], No 83, P. 49-54.

4. Pochka, K.I. (2008). Rozrobka ta analiz rolykovoyi formuval'noyi ustanovky z rekuperatsiynym pryvodom: avtoref. dys. na zdobuttya nauk. stupenya kand. tekhn. nauk: spets. 05.05.02 «Mashyny dlya vyrobnytstva budivelnnykh materialiv i konstruksiy» [Development and analysis of a roller forming unit with a recuperation drive: abstract of the dissertation for obtaining the scientific degree of candidate of technical sciences: specialty 05.05.02 "Machines for the production of building materials and structures"]. Kyiv. 24p.

5. Loveikin, V. S. & Pochka, K. I. (2004). The dynamic analysis of roller forming installation with the rekuperativ drive. Dynamics, durability and reliability of farm vehicles. Works of the first International scientific and technical conference (DSR AM-I), 507-514. Ternopil.

6. Loveikin, V. S. & Pochka, K. I. (2007). Results of pilot studies of the modes of the movement of roller form-ing installation with the rekuperativ drive. The bulletin of the Kharkov national university of agriculture of P. Va-silenko, vol. 1, No. 59, 465-474.

7. Loveikin, V. S. & Pochka, K. I. (2017). Synthesis of camshaft driving mechanism in roller molding installation with combined motion mode according to acceleration of third order. *Science & Technique*. No. 16 (3), 206-214. DOI: 10.21122/2227-1031-2017-16-3-206-214.

8. Loveikin, V. & Pochka, K. (2018). Realization of optimum mode of movement of roller forming installation on acceleration of fourth order. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research*. Kyiv. Ukraine. Vol. 9. No. 2, 19-26. doi.org/10.31548/me2018.02.019.

9. Loveikin, V. S. & Pochka, K. I. (2007). Determination of optimum value of a corner of shift of cranks of roller forming installation with the recuperative drive. *Automation of productions in mechanical engineering and instrument making, National University "Lviv Poly-equipment"*, No. 41, 127-134.

10. Loveikin, V. S. & Pochka, K. I. (2008). Definition of loadings in elements of roller forming installations. *Collection of scientific works of Ukrainian state academy of railway transport*, No 88, 15-20.

11. Loveikin, V. S. & Pochka, K. I. (2007). Definition of loadings in elements of roller forming installation. *Theory and practice of construction*, No. 3, 19-23.

12. Loveikin, V. S. & Pochka, K. I. (2012). Research of dynamic loadings in elements of roller forming installations. *Formation of Modern Science – 2012: Materials VIII of the intern. sci. and pract. conf. Section 18. Technical science. Formation of information technologies, Praha*, 20-25.

13. Loveikin, V. S. & Pochka, K. I. (2015). Research of loadings in elements of roller forming installation with the balanced drive. *Automation of productions in mechanical engineering and instrument making, National University "Lviv Poly-equipment"*, No 49, 73-79.

14. Loveikin V., Pochka K., Prystailo M., Balaka M., Pochka O. (2021). Dynamic balancing of roller forming unit drive. *Strength of Materials and Theory of Structures*. 107. P. 140-158. DOI: 10.32347/2410-2547.2021.107.140-158.

15. Loveikin V., Pochka K., Prystailo M., Pochka O. (2019). Dynamic balancing of drive mechanism of roller forming installation with energy balanced drive. *Strength of Materials and Theory of Structures*. 103. P. 112-130. DOI: 10.32347/2410-2547.2019.103.112-130.
16. Loveikin, V. S. & Pochka, K. I. (2014). Justification by the parameter of energetically balanced drive of roller forming installation. *Tekhnika budivnytstva [Construction machinery]*, No. 32, 25-32.
17. Loveikin, V. S. & Pochka, K. I. (2010). The analysis of unevenness of the movement of roller forming installation with energetically balanced drive. *Vibrations in the equipment and technologies*, No. 4 (60), 20-29.
18. Loveikin, V. S., Kovbasa, V. P. & Pochka, K. I. (2010). The dynamic analysis of roller forming installation with energetically balanced drive. *Scientific bulletin of the National university of bioresources and environmental management of Ukraine. Series of the technician and power engineering specialist of agro-industrial complex*, Iss. 144, Pt. 5, 338–344.
19. Loveikin V.S. & Pochka K.I. (2016). *Dynamichna optymizatsiya mashyn rolykovoho formuvannya*. Monohrafiya [Dynamic optimization of roller forming machines. Monograph]. Kyiv: CP "Komprint". 240 p. ISBN 978-966-929-251-3.
20. Loveikin V. S. & Pochka K. I. (2003). Sylovyi analiz rolykovoi formovochnoi ustanovky z rekuperatsiinym pryvodom [Power analysis of roller forming unit with recuperative drive]. *Tekhnika budivnytstva [Construction machinery]*. Issue 14, 27-37.
21. Loveikin V., Pochka K., Prystailo M., Balaka M. & Pochka O. (2021). Impact of cranks displacement angle on the motion non-uniformity of roller forming unit with energy-balanced drive. *Strength of Materials and Theory of Structures*. 106. P. 141-155. DOI: 10.32347/2410-2547.2021.106.141-155.
22. Loveikin V.S., Romasevich Yu.O., Spodoba O.O., Loveykin A.V. & Pochka K.I. (2020). Mathematical model of the dynamics change departure of the jib system manipulator with the simultaneous movement of its links. *Strength of Materials and Theory of Structures*. 104. 175-190. DOI: 10.32347/2410-2547.2020.104.175-190.
23. Loveikin, V. S., Pochka, K. I. & Romasevych, Yu. O. (2018). Roller forming unit dynamic analysis with energy balanced drive dissipative properties taken into account. *Journal of Mechanical Engineering*. Vol. 21. № 2, 32-44.
24. Loveikin, V. S., Pochka, K. I., Romasevych, Yu. O. & Loveikin, Yu. V. (2018). Dynamic analysis of roller molding installation taking into account dissipative properties balanced drive mechanism. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research*. Kyiv. Ukraine. Vol. 9, No. 3, 45-58. doi.org/10.31548/me2018.03.045.
25. Loveikin V.S. & Pochka K.I. (2016). *Dynamichna optymizatsiya kulachkovoho pryvodu mashyn rolykovoho formuvannya*. Monohrafiya. [Dynamic optimization of the cam drive of roll forming machines. Monograph]. Kyiv, CP Komprint Publ., 177. ISBN 978-966-929-197-4.
26. Loveikin V.S. & Pochka K.I. (2015). *Doslidzhennya navantazhen' v elementakh rolykovoyi formoval'noyi ustanovky z vrvnovazhenym pryvodom* [Research of loads in elements of a roller forming plant with a balanced drive]. *Avtomatyzatsiya vyrobnychkh protsesiv u mashynobuduvanni ta prykladobuduvanni* [Automation of production processes in mechanical engineering and instrument making]. Vol. 49. 73-79.
27. Loveikin V.S. & Pochka K.I. (2013). *Analiz nerivnomirnosti rukhu pryvodnykh mekhanizmiv mashyn rolykovoho formuvannya* [Analysis of the unevenness of the movement of drive mechanisms of roller forming machines]. *Tekhnika budivnytstva [Construction machinery]*. № 30. 23-32.
28. Loveikin V.S. & Pochka K.I. (2004). *Analiz rukhu rolykovoyi formovochnoyi ustanovky z vrvnovazhenym pryvodom* [Analysis of the motion of a roller forming unit with a balanced drive]. *Visnyk Kharkivs'koho natsional'noho avtomobil'no-dorozhn'oho universytetu* [Bulletin of the Kharkiv National Automobile and Road University]. № 27. 95-101.

#### **Pochka K.I. Improving the efficiency of roller forming equipment reversal in intermittent mode.**

In order to increase the reliability and durability of the roller forming unit, the reciprocating motion mode of the forming carriage with jerk reversal has been calculated. The kinematic characteristics of the forming carriage in the reciprocating motion mode with jerk reversal have been calculated. The design of a roller forming unit with a cam drive mechanism has been proposed, and a cam profile has been constructed to ensure a combined reciprocating motion mode of the forming carriage with jerk reversal.

**Key words:** roller forming unit, drive mechanism, force, motion mode, law, acceleration, jerk, cam mechanism.