

УДК 693.546

Ловейкін В. С., Почка К. І.

## ОБҐРУНТУВАННЯ КРАЙОВИХ УМОВ ОПТИМАЛЬНОГО РЕЖИМУ РЕВЕРСУВАННЯ РОЛИКОВОЇ ФОРМУВАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ ЗА ПРИСКОРЕННЯМ ТРЕТЬОГО ПОРЯДКУ

В установках роликового формування залізобетонних виробів під час їхньої роботи виникають значні динамічні навантаження в елементах приводного механізму та в елементах формувальних візків [1–7]. Не дивлячись на досить широке дослідження технологічного процесу формування залізобетонних виробів безвібраційним роликовим 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.

В існуючих теоретичних та експериментальних дослідженнях машин роликового 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 [1–6]. Тому актуальною є задача удосконалення приводного 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 даної роботи полягає в удосконаленні конструкції приводного механізму роликової формувальної установки для підвищення її надійності та довговічності.

Для роликової 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 режимом руху за прискоренням третього порядку [8]. При цьому швидкість, прискорення та ривок 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 [8]. 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 оптимального режиму реверсування за прискоренням третього порядку критерій оптимальності руху матимемо у вигляді:

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

де  $t$  – час;

$t_p$  – тривалість реверсування;

$Z$  – енергія прискорень третього порядку:

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

де  $m$  – маса формувального візка;

$x^{IV}$

$x$  – прискорення третього порядку.

Умовою мінімуму критерію (1) є рівняння Пуассона:

$$\frac{\partial Z}{\partial x} - \frac{d}{dt} \frac{\partial Z}{\partial \dot{x}} + \frac{d^2}{dt^2} \frac{\partial Z}{\partial \ddot{x}} - \frac{d^3}{dt^3} \frac{\partial Z}{\partial \ddot{\ddot{x}}} + \frac{d^4}{dt^4} \frac{\partial Z}{\partial x^{IV}} = 0, \quad (3)$$

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

З виразу (3) можна записати:

$$\frac{\partial Z}{\partial x} = \frac{\partial Z}{\partial \dot{x}} = \frac{\partial Z}{\partial \ddot{x}} = \frac{\partial Z}{\partial \ddot{\ddot{x}}} = 0; \quad \frac{\partial Z}{\partial x^{IV}} = m \cdot x; \quad \frac{d^4}{dt^4} \frac{\partial Z}{\partial x^{IV}} = m \cdot x^{VIII} = 0. \quad (4)$$

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

$$\begin{aligned} x^{VIII} &= 0; & x^{VII} &= C_1; & x^{VI} &= C_1 \cdot t + C_2; & x^V &= \frac{1}{2} \cdot C_1 \cdot t^2 + C_2 \cdot t + C_3; \\ x^{IV} &= \frac{1}{6} \cdot C_1 \cdot t^3 + \frac{1}{2} \cdot C_2 \cdot t^2 + C_3 \cdot t + C_4; & \ddot{x} &= \frac{1}{24} \cdot C_1 \cdot t^4 + \frac{1}{6} \cdot C_2 \cdot t^3 + \frac{1}{2} \cdot C_3 \cdot t^2 + C_4 \cdot t + C_5; \\ \ddot{\ddot{x}} &= \frac{1}{120} \cdot C_1 \cdot t^5 + \frac{1}{24} \cdot C_2 \cdot t^4 + \frac{1}{6} \cdot C_3 \cdot t^3 + \frac{1}{2} \cdot C_4 \cdot t^2 + C_5 \cdot t + C_6; \\ \dot{x} &= \frac{1}{720} \cdot C_1 \cdot t^6 + \frac{1}{120} \cdot C_2 \cdot t^5 + \frac{1}{24} \cdot C_3 \cdot t^4 + \frac{1}{6} \cdot C_4 \cdot t^3 + \frac{1}{2} \cdot C_5 \cdot t^2 + C_6 \cdot t + C_7; \\ x &= \frac{1}{5040} \cdot C_1 \cdot t^7 + \frac{1}{720} \cdot C_2 \cdot t^6 + \frac{1}{120} \cdot C_3 \cdot t^5 + \frac{1}{24} \cdot C_4 \cdot t^4 + \frac{1}{6} \cdot C_5 \cdot t^3 + \frac{1}{2} \cdot C_6 \cdot t^2 + C_7 \cdot t + C_8, \end{aligned} \quad (5)$$

де  $C_1, C_2, C_3, C_4, C_5, C_6, C_7, C_8$  – постійні інтегрування, які визначаються з граничних умов.

Розділимо процес реверсування на два етапи: гальмування та пуск.

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

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

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

$$t = 0: \quad C_8 = -x_1; \quad C_7 = \dot{x}_y; \quad C_6 = 0; \quad C_5 = 0; \quad (6)$$

$$t = t_2: \quad \begin{cases} \frac{1}{5040} \cdot C_1 \cdot t_2^7 + \frac{1}{720} \cdot C_2 \cdot t_2^6 + \frac{1}{120} \cdot C_3 \cdot t_2^5 + \frac{1}{24} \cdot C_4 \cdot t_2^4 + \dot{x}_y \cdot t_2 - x_1 = 0; \\ \frac{1}{720} \cdot C_1 \cdot t_2^6 + \frac{1}{120} \cdot C_2 \cdot t_2^5 + \frac{1}{24} \cdot C_3 \cdot t_2^4 + \frac{1}{6} \cdot C_4 \cdot t_2^3 + \dot{x}_y = 0; \\ \frac{1}{120} \cdot C_1 \cdot t_2^5 + \frac{1}{24} \cdot C_2 \cdot t_2^4 + \frac{1}{6} \cdot C_3 \cdot t_2^3 + \frac{1}{2} \cdot C_4 \cdot t_2^2 = a; \\ \frac{1}{24} \cdot C_1 \cdot t_2^4 + \frac{1}{6} \cdot C_2 \cdot t_2^3 + \frac{1}{2} \cdot C_3 \cdot t_2^2 + C_4 \cdot t_2 = b. \end{cases} \quad (7)$$

Розв'язавши систему рівнянь (7), отримуємо постійні інтегрування  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$  та  $C_4$ :

$$\begin{aligned} C_1 &= 840 \cdot \left( \frac{b}{t_2^4} - 12 \cdot \frac{a}{t_2^5} + 60 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_2^6} - 120 \cdot \frac{x_1}{t_2^7} \right); \quad C_2 = 360 \cdot \left( -\frac{b}{t_2^3} + 13 \cdot \frac{a}{t_2^4} - 72 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_2^5} + 140 \cdot \frac{x_1}{t_2^6} \right); \\ C_3 &= 60 \cdot \left( \frac{b}{t_2^2} - 14 \cdot \frac{a}{t_2^3} + 90 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_2^4} - 168 \cdot \frac{x_1}{t_2^5} \right); \quad C_4 = 4 \cdot \left( -\frac{b}{t_2} + 15 \cdot \frac{a}{t_2^2} - 120 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_2^3} + 210 \cdot \frac{x_1}{t_2^4} \right). \end{aligned} \quad (8)$$

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

$$\begin{aligned} {}^{IV}x &= 140 \cdot \left( b - 12 \cdot \frac{a}{t_2} + 60 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_2^2} - 120 \cdot \frac{x_1}{t_2^3} \right) \cdot \frac{t^3}{t_2^4} + 180 \cdot \left( -b + 13 \cdot \frac{a}{t_2} - 72 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_2^2} + 140 \cdot \frac{x_1}{t_2^3} \right) \cdot \frac{t^2}{t_2^3} + \\ &+ 60 \cdot \left( b - 14 \cdot \frac{a}{t_2} + 90 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_2^2} - 168 \cdot \frac{x_1}{t_2^3} \right) \cdot \frac{t}{t_2^2} + 4 \cdot \left( -b + 15 \cdot \frac{a}{t_2} - 120 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_2^2} + 210 \cdot \frac{x_1}{t_2^3} \right) \cdot \frac{1}{t_2} \end{aligned} \quad (9)$$

або

$${}^{IV}x = \frac{4}{t_2} \cdot \left[ \begin{aligned} &35 \cdot \left( b - 12 \cdot \frac{a}{t_2} + 60 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_2^2} - 120 \cdot \frac{x_1}{t_2^3} \right) \cdot \frac{t^3}{t_2^3} + 45 \cdot \left( -b + 13 \cdot \frac{a}{t_2} - 72 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_2^2} + 140 \cdot \frac{x_1}{t_2^3} \right) \cdot \frac{t^2}{t_2^2} + \\ &+ 15 \cdot \left( b - 14 \cdot \frac{a}{t_2} + 90 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_2^2} - 168 \cdot \frac{x_1}{t_2^3} \right) \cdot \frac{t}{t_2} + \left( -b + 15 \cdot \frac{a}{t_2} - 120 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_2^2} + 210 \cdot \frac{x_1}{t_2^3} \right) \end{aligned} \right]. \quad (10)$$

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

$$\begin{aligned}
 I_{Z_2} &= \frac{m}{2} \int_0^{t_2} x^2 dt = \frac{8 \cdot m}{t_2^2} \int_0^{t_2} \left[ 35 \left( b - 12 \frac{a}{t_2} + 60 \frac{\dot{x}_y}{t_2^2} - 120 \frac{x_1}{t_2^3} \right) \frac{t^3}{t_2^3} + 45 \left( -b + 13 \frac{a}{t_2} - 72 \frac{\dot{x}_y}{t_2^2} + 140 \frac{x_1}{t_2^3} \right) \frac{t^2}{t_2^2} + \right. \\
 &\quad \left. + 15 \left( b - 14 \frac{a}{t_2} + 90 \frac{\dot{x}_y}{t_2^2} - 168 \frac{x_1}{t_2^3} \right) \frac{t}{t_2} + \left( -b + 15 \frac{a}{t_2} - 120 \frac{\dot{x}_y}{t_2^2} + 210 \frac{x_1}{t_2^3} \right) \right] dt = \\
 &= \frac{8 \cdot m}{t_2} \cdot \left[ b^2 - 15 \cdot \frac{a}{t_2} \cdot b + 45 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_2^2} \cdot b - 105 \cdot \frac{x_1}{t_2^3} \cdot b + 75 \cdot \frac{a^2}{t_2^2} - 585 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_2^3} \cdot a + \right. \\
 &\quad \left. + 1260 \cdot \frac{x_1}{t_2^4} \cdot a + 1620 \cdot \frac{\dot{x}_y^2}{t_2^4} - 6300 \cdot \frac{x_1}{t_2^5} \cdot \dot{x}_y + 6300 \cdot \frac{x_1^2}{t_2^6} \right]. \quad (11)
 \end{aligned}$$

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

$$t = 0: \quad C_5 = b; \quad C_6 = a; \quad C_7 = 0; \quad C_8 = 0; \quad (12)$$

$$t = t_n: \quad \begin{cases} \frac{1}{5040} \cdot C_1 \cdot t_n^7 + \frac{1}{720} \cdot C_2 \cdot t_n^6 + \frac{1}{120} \cdot C_3 \cdot t_n^5 + \frac{1}{24} \cdot C_4 \cdot t_n^4 + \frac{1}{6} \cdot b \cdot t_n^3 + \frac{1}{2} \cdot a \cdot t_n^2 = -x_1; \\ \frac{1}{720} \cdot C_1 \cdot t_n^6 + \frac{1}{120} \cdot C_2 \cdot t_n^5 + \frac{1}{24} \cdot C_3 \cdot t_n^4 + \frac{1}{6} \cdot C_4 \cdot t_n^3 + \frac{1}{2} \cdot b \cdot t_n^2 + a \cdot t_n = -\dot{x}_y; \\ \frac{1}{120} \cdot C_1 \cdot t_n^5 + \frac{1}{24} \cdot C_2 \cdot t_n^4 + \frac{1}{6} \cdot C_3 \cdot t_n^3 + \frac{1}{2} \cdot C_4 \cdot t_n^2 + b \cdot t_n + a = 0; \\ \frac{1}{24} \cdot C_1 \cdot t_n^4 + \frac{1}{6} \cdot C_2 \cdot t_n^3 + \frac{1}{2} \cdot C_3 \cdot t_n^2 + C_4 \cdot t_n + b = 0. \end{cases} \quad (13)$$

Розв'язавши систему рівнянь (13), отримуємо постійні інтегрування  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$  та  $C_4$ :

$$\begin{aligned}
 C_1 &= 840 \cdot \left( \frac{b}{t_n^4} + 12 \frac{a}{t_n^5} - 60 \frac{\dot{x}_y}{t_n^6} + 120 \frac{x_1}{t_n^7} \right); \quad C_2 = 120 \cdot \left( -4 \frac{b}{t_n^3} - 45 \frac{a}{t_n^4} + 204 \frac{\dot{x}_y}{t_n^5} - 420 \frac{x_1}{t_n^6} \right); \\
 C_3 &= 120 \cdot \left( \frac{b}{t_n^2} + 10 \frac{a}{t_n^3} - 39 \frac{\dot{x}_y}{t_n^4} + 84 \frac{x_1}{t_n^5} \right); \quad C_4 = 8 \cdot \left( -2 \frac{b}{t_n} - 15 \frac{a}{t_n^2} + 45 \frac{\dot{x}_y}{t_n^3} - 105 \frac{x_1}{t_n^4} \right). \quad (14)
 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}
 {}^{IV}x &= 140 \cdot \left( b + 12 \cdot \frac{a}{t_n} - 60 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_n^2} + 120 \cdot \frac{x_1}{t_n^3} \right) \cdot \frac{t^3}{t_n^4} + 60 \cdot \left( -4 \cdot b - 45 \cdot \frac{a}{t_n} + 204 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_n^2} - 420 \cdot \frac{x_1}{t_n^3} \right) \cdot \frac{t^2}{t_n^3} + \\
 &+ 120 \cdot \left( b + 10 \cdot \frac{a}{t_n} - 39 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_n^2} + 84 \cdot \frac{x_1}{t_n^3} \right) \cdot \frac{t}{t_n^2} + 8 \cdot \left( -2 \cdot b - 15 \cdot \frac{a}{t_n} + 45 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_n^2} - 105 \cdot \frac{x_1}{t_n^3} \right) \cdot \frac{1}{t_n} \quad (15)
 \end{aligned}$$

або

$$IV_x = \frac{4}{t_n} \cdot \left[ \begin{aligned} &35 \cdot \left( b + 12 \cdot \frac{a}{t_n} - 60 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_n^2} + 120 \cdot \frac{x_1}{t_n^3} \right) \frac{t^3}{t_n^3} + 15 \cdot \left( -4b - 45 \frac{a}{t_n} + 204 \frac{\dot{x}_y}{t_n^2} - 420 \frac{x_1}{t_n^3} \right) \frac{t^2}{t_n^2} + \\ &+ 30 \cdot \left( b + 10 \cdot \frac{a}{t_n} - 39 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_n^2} + 84 \cdot \frac{x_1}{t_n^3} \right) \cdot \frac{t}{t_n} + 2 \cdot \left( -2 \cdot b - 15 \cdot \frac{a}{t_n} + 45 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_n^2} - 105 \cdot \frac{x_1}{t_n^3} \right) \end{aligned} \right]. \quad (16)$$

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

$$I_{Zn} = \frac{m}{2} \cdot \int_0^{t_2} x^2 dt = \frac{8 \cdot m}{t_n^2} \cdot \int_0^{t_n} \left[ \begin{aligned} &35 \cdot \left( b + 12 \cdot \frac{a}{t_n} - 60 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_n^2} + 120 \cdot \frac{x_1}{t_n^3} \right) \cdot \frac{t^3}{t_n^3} + \\ &+ 15 \cdot \left( -4 \cdot b - 45 \cdot \frac{a}{t_n} + 204 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_n^2} - 420 \cdot \frac{x_1}{t_n^3} \right) \cdot \frac{t^2}{t_n^2} + \\ &+ 30 \cdot \left( b + 10 \cdot \frac{a}{t_n} - 39 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_n^2} + 84 \cdot \frac{x_1}{t_n^3} \right) \cdot \frac{t}{t_n} + \\ &+ 2 \cdot \left( -2 \cdot b - 15 \cdot \frac{a}{t_n} + 45 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_n^2} - 105 \cdot \frac{x_1}{t_n^3} \right) \end{aligned} \right]^2 dt = \\ = \frac{8 \cdot m}{t_n} \cdot \left[ \begin{aligned} &b^2 + 15 \cdot \frac{a}{t_n} \cdot b - 45 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_n^2} \cdot b + 105 \cdot \frac{x_1}{t_n^3} \cdot b + 75 \cdot \frac{a^2}{t_n^2} - 585 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_n^3} \cdot a + \\ &+ 1260 \cdot \frac{x_1}{t_n^4} \cdot a + 1620 \cdot \frac{\dot{x}_y^2}{t_n^4} - 6300 \cdot \frac{x_1}{t_n^5} \cdot \dot{x}_y + 6300 \cdot \frac{x_1^2}{t_n^6} \end{aligned} \right]. \quad (17)$$

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

$$I_Z = I_{Z_2} + I_{Zn} = \frac{8 \cdot m}{t_2} \cdot \left[ \begin{aligned} &b^2 - 15 \cdot \frac{a}{t_2} \cdot b + 45 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_2^2} \cdot b - 105 \cdot \frac{x_1}{t_2^3} \cdot b + 75 \cdot \frac{a^2}{t_2^2} - 585 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_2^3} \cdot a + \\ &+ 1260 \cdot \frac{x_1}{t_2^4} \cdot a + 1620 \cdot \frac{\dot{x}_y^2}{t_2^4} - 6300 \cdot \frac{x_1}{t_2^5} \cdot \dot{x}_y + 6300 \cdot \frac{x_1^2}{t_2^6} \end{aligned} \right] + \\ + \frac{8 \cdot m}{t_n} \cdot \left[ \begin{aligned} &b^2 + 15 \cdot \frac{a}{t_n} \cdot b - 45 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_n^2} \cdot b + 105 \cdot \frac{x_1}{t_n^3} \cdot b + 75 \cdot \frac{a^2}{t_n^2} - 585 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_n^3} \cdot a + \\ &+ 1260 \cdot \frac{x_1}{t_n^4} \cdot a + 1620 \cdot \frac{\dot{x}_y^2}{t_n^4} - 6300 \cdot \frac{x_1}{t_n^5} \cdot \dot{x}_y + 6300 \cdot \frac{x_1^2}{t_n^6} \end{aligned} \right]. \quad (18)$$

Прийнявши рівність часу гальмування візка та його пуску  $t_2 = t_n = t_1$ , вираз (18) можна подати у наступному вигляді:

$$I_Z = \frac{16 \cdot m}{t_1} \cdot \left[ b^2 + 75 \cdot \frac{a^2}{t_1^2} - 585 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_1^3} \cdot a + 1260 \cdot \frac{x_1}{t_1^4} \cdot a + 1620 \cdot \frac{\dot{x}_y^2}{t_1^4} - 6300 \cdot \frac{x_1}{t_1^5} \cdot \dot{x}_y + 6300 \cdot \frac{x_1^2}{t_1^6} \right]. \quad (19)$$

Для забезпечення виконання нерівності (1) необхідно виконати умови:

$$\begin{cases} \frac{\partial I_Z}{\partial x_1} = \frac{16 \cdot m}{t_1} \cdot \left[ 1260 \cdot \frac{a}{t_1^4} - 6300 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_1^5} + 12600 \cdot \frac{x_1}{t_1^6} \right] = \frac{20160 \cdot m}{t_1^5} \cdot \left[ a - 5 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_1} + 10 \cdot \frac{x_1}{t_1^2} \right] = 0; \\ \frac{\partial I_Z}{\partial a} = \frac{16 \cdot m}{t_1} \cdot \left[ 150 \cdot \frac{a}{t_1^2} - 585 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_1^3} + 1260 \cdot \frac{x_1}{t_1^4} \right] = \frac{240 \cdot m}{t_1^3} \cdot \left[ 10 \cdot a - 39 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_1} + 84 \cdot \frac{x_1}{t_1^2} \right] = 0; \\ \frac{\partial I_Z}{\partial b} = \frac{16 \cdot m}{t_1} \cdot [2 \cdot b] = \frac{32 \cdot m}{t_1} \cdot b = 0. \end{cases} \quad (20)$$

Із виразу (20) можна отримати:

$$\begin{cases} \left[ a - 5 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_1} + 10 \cdot \frac{x_1}{t_1^2} \right] = 0 \\ \left[ 10 \cdot a - 39 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_1} + 84 \cdot \frac{x_1}{t_1^2} \right] = 0 \\ b = 0 \end{cases} \Rightarrow x_1 = \frac{11}{16} \cdot \dot{x}_y \cdot t_1; \quad a = -\frac{15}{8} \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_1}. \quad (21)$$

Підставивши два останні вирази (21) у рівності (6) та (8) отримано постійні інтегрування в процесі гальмування формульованого візка:

$$\begin{aligned} C_1 = 0; \quad C_2 = -45 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_1^5}; \quad C_3 = 45 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_1^4}; \quad C_4 = -15 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_1^3}; \\ C_5 = 0; \quad C_6 = 0; \quad C_7 = \dot{x}_y; \quad C_8 = -\frac{11}{16} \dot{x}_y \cdot t_1. \end{aligned} \quad (22)$$

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

$$\begin{aligned} x = -\frac{1}{8} \cdot \dot{x}_y \cdot \left( \frac{1}{2} \cdot \frac{t^6}{t_1^5} - 3 \cdot \frac{t^5}{t_1^4} + 5 \cdot \frac{t^4}{t_1^3} - 8 \cdot t + \frac{11}{2} \cdot t_1 \right); \quad \dot{x} = -\frac{1}{8} \cdot \dot{x}_y \cdot \left( 3 \cdot \frac{t^5}{t_1^5} - 15 \cdot \frac{t^4}{t_1^4} + 20 \cdot \frac{t^3}{t_1^3} - 8 \right); \\ \ddot{x} = -\frac{15}{8} \cdot \dot{x}_y \cdot \left( \frac{t^4}{t_1^5} - 4 \cdot \frac{t^3}{t_1^4} + 4 \cdot \frac{t^2}{t_1^3} \right); \quad \ddot{\ddot{x}} = -\frac{15}{2} \cdot \dot{x}_y \cdot \left( \frac{t^3}{t_1^5} - 3 \cdot \frac{t^2}{t_1^4} + 2 \cdot \frac{t}{t_1^3} \right). \end{aligned} \quad (23)$$

Підставивши два останні вирази (21) у рівності (12) та (14) отримано постійні інтегрування в процесі пуску формуального візка:

$$\begin{aligned} C_1 = 0; \quad C_2 = -45 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_1^5}; \quad C_3 = 0; \quad C_4 = \frac{15}{2} \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_1^3}; \\ C_5 = 0; \quad C_6 = -\frac{15}{8} \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_1}; \quad C_7 = 0; \quad C_8 = 0. \end{aligned} \quad (24)$$

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

$$\begin{aligned} x = -\frac{1}{16} \cdot \dot{x}_y \cdot \left( \frac{t^6}{t_1^5} - 5 \cdot \frac{t^4}{t_1^3} + 15 \cdot \frac{t^2}{t_1} \right); \quad \dot{x} = -\frac{1}{8} \cdot \dot{x}_y \cdot \left( 3 \cdot \frac{t^5}{t_1^5} - 10 \cdot \frac{t^3}{t_1^3} + 15 \cdot \frac{t}{t_1} \right); \\ \ddot{x} = -\frac{15}{8} \cdot \dot{x}_y \cdot \left( \frac{t^4}{t_1^5} - 2 \cdot \frac{t^2}{t_1^3} + \frac{1}{t_1} \right); \quad \ddot{\dot{x}} = -\frac{15}{2} \cdot \dot{x}_y \cdot \left( \frac{t^3}{t_1^5} - \frac{t}{t_1^3} \right). \end{aligned} \quad (25)$$

На усталеному режимі руху формуального візка координата переміщення, швидкості, прискорення та ривка його центра мас описуються рівняннями [7]:

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

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 формуального 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 формуальним 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:

$$\dot{x}_y = \frac{6 \cdot \Delta x}{5 \cdot t_3}; \quad x_1 = \frac{11}{80} \cdot \Delta x. \quad (28)$$

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:

$$\begin{aligned} x &= \frac{27 \cdot \Delta x}{20} \cdot \left( 432 \cdot \frac{t^6}{t_3^6} - 60 \cdot \frac{t^4}{t_3^4} + 5 \cdot \frac{t^2}{t_3^2} \right); & \dot{x} &= \frac{27 \cdot \Delta x}{10} \cdot \left( 1296 \cdot \frac{t^5}{t_3^6} - 120 \cdot \frac{t^3}{t_3^4} + 5 \cdot \frac{t}{t_3^2} \right); \\ \ddot{x} &= \frac{27 \cdot \Delta x}{2} \cdot \left( 1296 \cdot \frac{t^4}{t_3^6} - 72 \cdot \frac{t^2}{t_3^4} + \frac{1}{t_3^2} \right); & \ddot{\ddot{x}} &= 1944 \cdot \Delta x \cdot \left( 36 \cdot \frac{t^3}{t_3^6} - \frac{t}{t_3^4} \right); \end{aligned} \quad (29)$$

– на ділянці усталеного руху:

$$x = \frac{\Delta x}{80} \cdot \left( 11 + 87 \cdot \frac{t}{t_3} \right); \quad \dot{x} = \frac{6 \cdot \Delta x}{5 \cdot t_3} = const; \quad \ddot{x} = 0; \quad \ddot{\ddot{x}} = 0; \quad (30)$$

– на ділянці гальмування:

$$\begin{aligned} x &= \frac{3 \cdot \Delta x}{20} \cdot \left( \frac{69}{12} - 3888 \cdot \frac{t^6}{t_3^6} + 3888 \cdot \frac{t^5}{t_3^5} - 1080 \cdot \frac{t^4}{t_3^4} + 8 \cdot \frac{t}{t_3} \right); \\ \dot{x} &= -\frac{6 \cdot \Delta x}{5} \cdot \left( 2916 \cdot \frac{t^5}{t_3^6} - 2430 \cdot \frac{t^4}{t_3^5} + 540 \cdot \frac{t^3}{t_3^4} - \frac{1}{t_3} \right); \\ \ddot{x} &= -1944 \cdot \Delta x \cdot \left( 9 \cdot \frac{t^4}{t_3^6} - 6 \cdot \frac{t^3}{t_3^5} + \frac{t^2}{t_3^4} \right); & \ddot{\ddot{x}} &= -3888 \cdot \Delta x \cdot \left( 18 \cdot \frac{t^3}{t_3^6} - 9 \cdot \frac{t^2}{t_3^5} + \frac{t}{t_3^4} \right). \end{aligned} \quad (31)$$

Задавшись амплітудою переміщення формувального візка  $\Delta x = 0,4$  м та загальним часом його руху від одного крайнього положення в інше  $t_3 = 3$  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 та у зворотному напрямку з режимом реверсування при оптимальних крайових умовах за прискоренням третього порядку.

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

– на ділянці пуску:

$$x = \frac{27 \cdot \Delta x}{20} \cdot \left( 432 \cdot \frac{t^6}{t_3^6} - 60 \cdot \frac{t^4}{t_3^4} + 5 \cdot \frac{t^2}{t_3^2} \right) - \frac{\Delta x}{2}; \quad (32)$$



– на ділянці усталеного руху:

$$x = \frac{29 \cdot \Delta x}{80} \cdot \left( 3 \cdot \frac{t}{t_3} - 1 \right); \quad (33)$$

– на ділянці гальмування:

$$x = \frac{3 \cdot \Delta x}{20} \cdot \left( \frac{69}{12} - 3888 \cdot \frac{t^6}{t_3^6} + 3888 \cdot \frac{t^5}{t_3^5} - 1080 \cdot \frac{t^4}{t_3^4} + 8 \cdot \frac{t}{t_3} \right) - \frac{\Delta x}{2}. \quad (34)$$

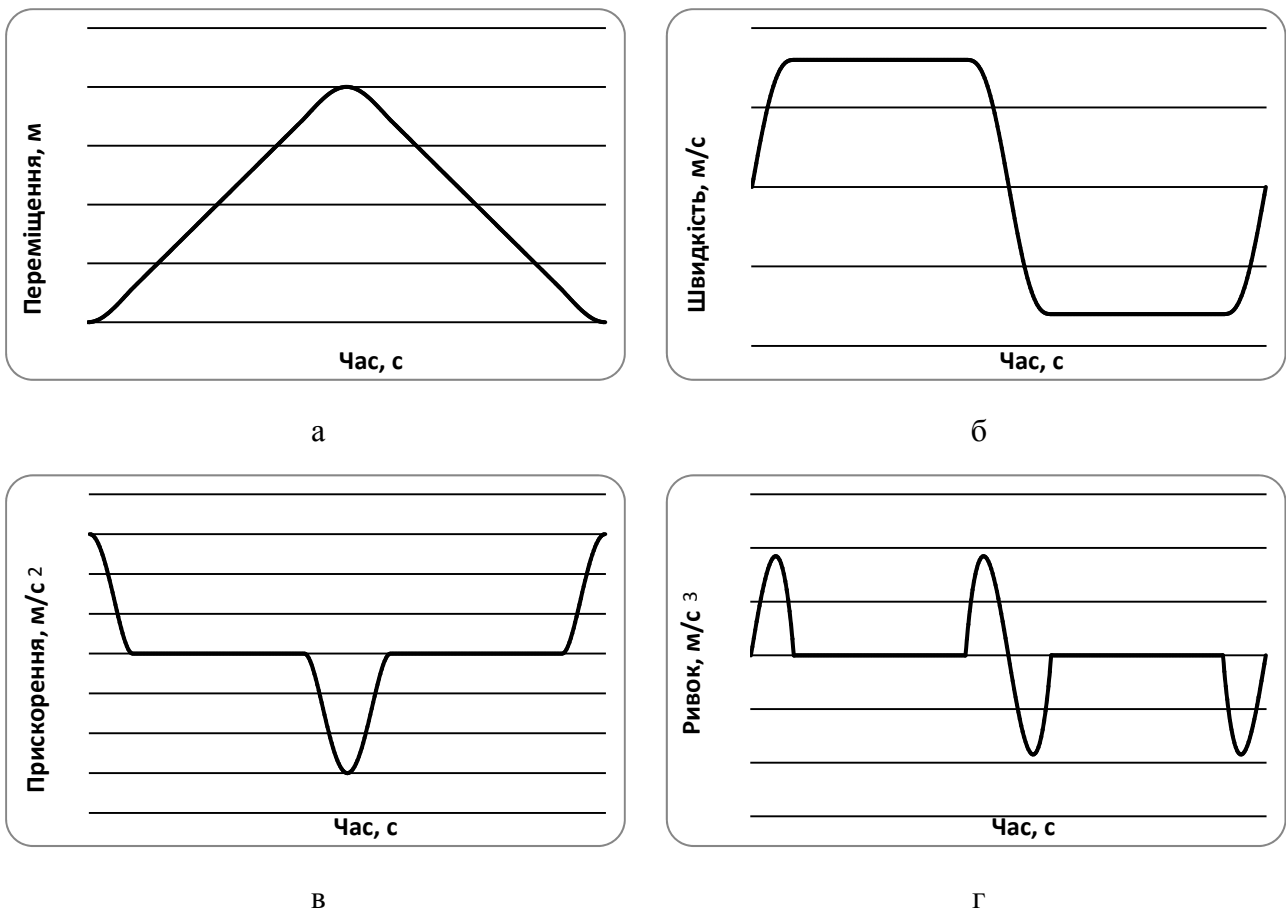


Рис. 1. Графіки зміни переміщення – а, швидкості – б, прискорення – в та ривка – г при русі формувального візка з режимом реверсування при оптимальних крайових умовах за прискоренням третього порядку

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:

$$\rho = \frac{b}{2} + \frac{27 \cdot \Delta x}{20} \cdot \left( 432 \cdot \frac{t^6}{t_3^6} - 60 \cdot \frac{t^4}{t_3^4} + 5 \cdot \frac{t^2}{t_3^2} \right) - \frac{\Delta x}{2}; \quad (35)$$

– на ділянці усталеного руху:

$$\rho = \frac{b}{2} + \frac{29 \cdot \Delta x}{80} \cdot \left( 3 \cdot \frac{t}{t_3} - 1 \right); \quad (36)$$

– на ділянці гальмування:

$$\rho = \frac{b}{2} + \frac{3 \cdot \Delta x}{20} \cdot \left( \frac{69}{12} - 3888 \cdot \frac{t^6}{t_3^6} + 3888 \cdot \frac{t^5}{t_3^5} - 1080 \cdot \frac{t^4}{t_3^4} + 8 \cdot \frac{t}{t_3} \right) - \frac{\Delta x}{2}, \quad (37)$$

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

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:

$$\rho = \frac{b}{2} + \frac{27 \cdot \Delta x}{20} \cdot \left( 432 \cdot \frac{\varphi^6}{\pi^6} - 60 \cdot \frac{\varphi^4}{\pi^4} + 5 \cdot \frac{\varphi^2}{\pi^2} \right) - \frac{\Delta x}{2}, \quad 0 \leq \varphi \leq \frac{\pi}{6}; \quad (38)$$

$$\rho = \frac{b}{2} + \frac{29 \cdot \Delta x}{80} \cdot \left[ 3 \cdot \left( \varphi - \frac{\pi}{6} \right) \cdot \frac{1}{\pi} - 1 \right], \quad \frac{\pi}{6} < \varphi < \frac{5\pi}{6}; \quad (39)$$

$$\rho = \frac{b}{2} + \frac{3 \cdot \Delta x}{20} \cdot \left( \frac{69}{12} - 3888 \cdot \left( \varphi - \frac{5\pi}{6} \right)^6 \cdot \frac{1}{\pi^6} + 3888 \cdot \left( \varphi - \frac{5\pi}{6} \right)^5 \cdot \frac{1}{\pi^5} - \right. \\ \left. - 1080 \cdot \left( \varphi - \frac{5\pi}{6} \right)^4 \cdot \frac{1}{\pi^4} + 8 \cdot \left( \varphi - \frac{5\pi}{6} \right) \cdot \frac{1}{\pi} \right) - \frac{\Delta x}{2}, \quad \frac{5\pi}{6} < \varphi \leq \pi. \quad (40)$$

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

$$\rho = \frac{b}{2} - \frac{27 \cdot \Delta x}{20} \cdot \left[ 432 \cdot \frac{(\varphi - \pi)^6}{\pi^6} - 60 \cdot \frac{(\varphi - \pi)^4}{\pi^4} + 5 \cdot \frac{(\varphi - \pi)^2}{\pi^2} \right] + \frac{\Delta x}{2}, \quad \pi \leq \varphi \leq \frac{7\pi}{6}; \quad (41)$$

$$\rho = \frac{b}{2} - \frac{29 \cdot \Delta x}{80} \cdot \left[ 3 \cdot \left( \varphi - \frac{7\pi}{6} \right) \cdot \frac{1}{\pi} - 1 \right], \quad \frac{7\pi}{6} < \varphi < \frac{11\pi}{6}; \quad (42)$$

$$\rho = \frac{b}{2} - \frac{3 \cdot \Delta x}{20} \cdot \left( \begin{aligned} & \frac{69}{12} - 3888 \cdot \left( \varphi - \frac{11\pi}{6} \right)^6 \cdot \frac{1}{\pi^6} + 3888 \cdot \left( \varphi - \frac{11\pi}{6} \right)^5 \cdot \frac{1}{\pi^5} - \\ & - 1080 \cdot \left( \varphi - \frac{11\pi}{6} \right)^4 \cdot \frac{1}{\pi^4} + 8 \cdot \left( \varphi - \frac{11\pi}{6} \right) \cdot \frac{1}{\pi} \end{aligned} \right) + \frac{\Delta x}{2}, \quad \frac{11\pi}{6} < \varphi \leq 2\pi. \quad (43)$$

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  $b$  ( $d = b$ ).

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 режимом реверсування за прискоренням третього порядку (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 напрямних 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.

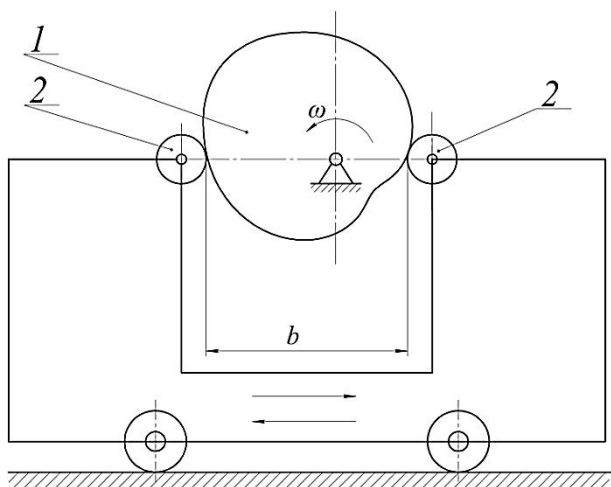


Рис. 2. Схема механізму з кулачковим приводом зворотно-поступального руху візка

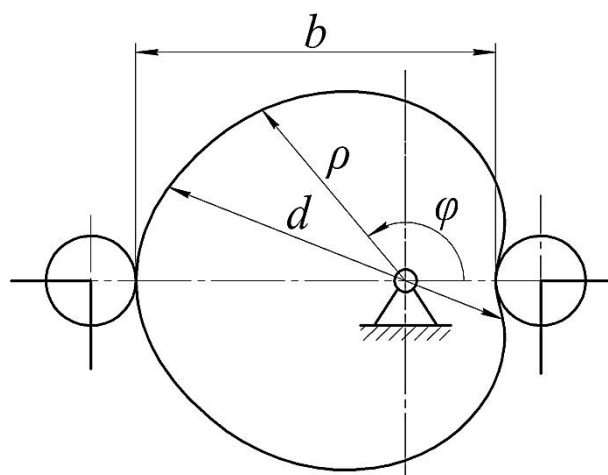


Рис. 3. Профіль кулачка, що реалізує комбінований режим руху формувального візка

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.

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

– на ділянці пуску:

$$\dot{\varphi}_n = \frac{27 \cdot \Delta x}{10 \cdot R} \cdot \left( 1296 \cdot \frac{t^5}{t_3^6} - 120 \cdot \frac{t^3}{t_3^4} + 5 \cdot \frac{t}{t_3^2} \right); \quad (44)$$

– на ділянці усталеного руху:

$$\dot{\varphi}_y = \frac{6 \cdot \Delta x}{5 \cdot t_3 \cdot R}; \quad (45)$$

– на ділянці гальмування:

$$\dot{\varphi}_2 = -\frac{6 \cdot \Delta x}{5 \cdot R} \cdot \left( 2916 \cdot \frac{t^5}{t_3^6} - 2430 \cdot \frac{t^4}{t_3^5} + 540 \cdot \frac{t^3}{t_3^4} - \frac{1}{t_3} \right), \quad (46)$$

де  $R$  – радіус укочувальних роликів.

Прийнявши час пуску формувального візка  $t_n = \frac{1}{6} \cdot t_3$ , час усталеного руху –  $t_y = \frac{2}{3} \cdot t_3$  та час гальмування –  $t_2 = \frac{1}{6} \cdot t_3$ , отримуємо закон зміни кутової швидкості приводного крокового двигуна при русі формувального візка від одного крайнього положення до іншого:

$$\dot{\varphi} = \frac{27 \cdot \Delta x}{10 \cdot R} \cdot \left( 1296 \cdot \frac{t^5}{t_3^6} - 120 \cdot \frac{t^3}{t_3^4} + 5 \cdot \frac{t}{t_3^2} \right), \quad 0 \leq t \leq \frac{t_3}{6}; \quad (47)$$

$$\dot{\varphi} = \frac{6 \cdot \Delta x}{5 \cdot t_3 \cdot R}, \quad \frac{t_3}{6} < t < \frac{5 \cdot t_3}{6}; \quad (48)$$

$$\dot{\varphi} = -\frac{6 \cdot \Delta x}{5 \cdot R} \cdot \left[ \begin{aligned} & 2916 \cdot \left( t - \frac{5 \cdot t_3}{6} \right)^5 \cdot \frac{1}{t_3^6} - 2430 \cdot \left( t - \frac{5 \cdot t_3}{6} \right)^4 \cdot \frac{1}{t_3^5} + \\ & + 540 \cdot \left( t - \frac{5 \cdot t_3}{6} \right)^3 \cdot \frac{1}{t_3^4} - \frac{1}{t_3} \end{aligned} \right], \quad \frac{5 \cdot t_3}{6} < t \leq t_3. \quad (49)$$

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

$$\dot{\varphi} = -\frac{27 \cdot \Delta x}{10 \cdot R} \cdot \left[ 1296 \cdot \frac{(t-t_3)^5}{t_3^6} - 120 \cdot \frac{(t-t_3)^3}{t_3^4} + 5 \cdot \frac{(t-t_3)}{t_3^2} \right], \quad t_3 \leq t \leq \frac{7 \cdot t_3}{6}; \quad (50)$$

$$\dot{\varphi} = -\frac{6 \cdot \Delta x}{5 \cdot t_3 \cdot R}, \quad \frac{7 \cdot t_3}{6} < t < \frac{11 \cdot t_3}{6}; \quad (51)$$

$$\dot{\varphi} = \frac{6 \cdot \Delta x}{5 \cdot R} \cdot \left[ 2916 \cdot \left( t - \frac{11 \cdot t_3}{6} \right)^5 \cdot \frac{1}{t_3^6} - 2430 \cdot \left( t - \frac{11 \cdot t_3}{6} \right)^4 \cdot \frac{1}{t_3^5} + \right. \\ \left. + 540 \cdot \left( t - \frac{11 \cdot t_3}{6} \right)^3 \cdot \frac{1}{t_3^4} - \frac{1}{t_3} \right], \quad \frac{11 \cdot t_3}{6} < t \leq 2 \cdot t_3. \quad (52)$$

Також запропоновано конструкцію роликів формувальної установки з приводом від висомоментного крокового двигуна для забезпечення зворотно-поступального руху формувального візка з режимом реверсування при оптимальних крайових умовах за прискоренням третього порядку (рис. 4). Установка складається з формувального візка 1, що змонтований на порталі 2, і здійснює зворотно-поступальний рух у напрямках 3 над порожниною форми 4. Формувальний візок вміщує подавальний бункер 5 та укочувальні ролики 6 на осі 7.

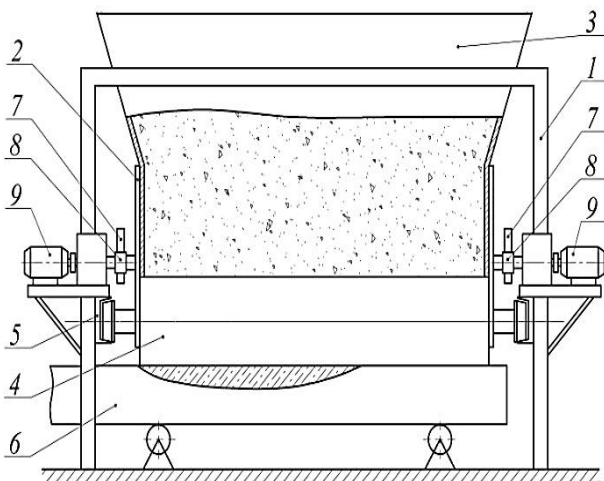


Рис. 4. Роликова формувальна установка з кулачковим приводним механізмом

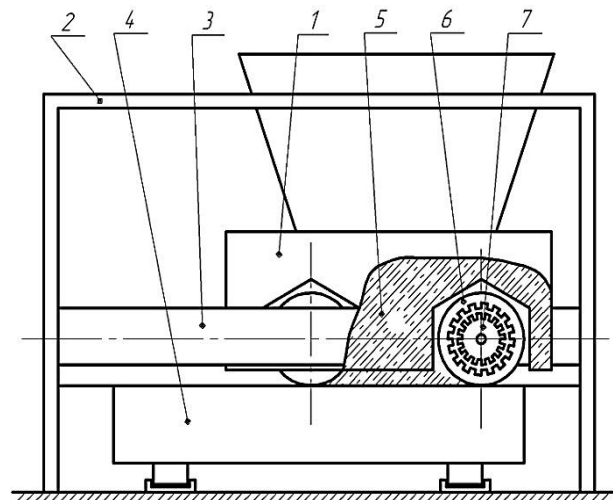


Рис. 5. Роликова формувальна установка з приводом від крокового двигуна

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 [9].

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.

## ВІСНОВКИ

В результаті проведених досліджень з метою підвищення надійності та довговічності роликової формувальної установки розраховано комбінований режим зворотно-поступального руху формувального візка з реверсуванням при оптимальних крайових умовах за прискоренням третього порядку. Розраховано оптимальне значення прискорення формувального візка в кінці етапу гальмування, а також встановлено, що оптимальне значення ривка в цей момент дорівнює нулю.

Запропоновано конструкцію приводу установки у вигляді кулачкового механізму та побудовано профіль кулачка для забезпечення зворотно-поступального руху формувального візка з реверсування при оптимальних крайових умовах за прискоренням третього порядку.

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

Застосування в установці приводу від кулачкового механізму або від високомоментного крокового двигуна, що вмонтований в укочувальні ролики, які реалізують режим реверсування при оптимальних крайових умовах за прискоренням третього порядку 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.

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. Також результати роботи можуть бути корисними при проектуванні або удосконаленні механізмів із зворотно-поступальним рухом виконавчих елементів.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Гарнець В. М. Прогресивні бетоноформуючі агрегати і комплекси / В. М. Гарнець. – К. : Будівельник, 1991. – 144 с.
2. Бетоноформульні агрегати. Конструктивно-функціональні схеми, принцип дії, основи теорії / В. М. Гарнець, С. В. Зайченко, Ю. В. Човнюк, В. О. Шаленко, Я. С. Приходько. – К. : Інтерсервіс, 2015. – 238 с.
3. Кузин В. Н. Технология роликового формования плоских изделий из мелкозернистых бетонов / В. Н. Кузин. – Автореф. дис... канд. наук. – М, 1981. – 20 с.
4. Рюшин В. Т. Исследование рабочего процесса и разработка методики расчета машин роликового формования бетонных смесей : дис. на соиск. уч. ст. канд. техн. наук. / В. Т. Рюшин. – К. – 1986.
5. Ловейкін В. С. Динамічний аналіз роликової формувальної установки з рекуперативним приводом / В. С. Ловейкін, К. І. Почка // Динаміка, міцність і надійність сільськогосподарських машин : Пр. І-ї Міжнародної науково-технічної конференції (DSR AM-I). – Тернопіль, 2004. – С. 507–514.
6. Ловейкін В. С. Результати експериментальних досліджень режимів руху роликової формувальної установки з рекуперативним приводом / В. С. Ловейкін, К. І. Почка // Вісник Харківського національного університету сільськогосподарства ім. П. Василенка. – Харків, 2007. – № 59, Том 1. – С. 465–474.
7. Ловейкін В. С. Визначення оптимального значення кута зміщення кривошипів роликової формувальної установки з рекуперативним приводом / В. С. Ловейкін, К. І. Почка // Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні. – НУ «Львівська політехніка», 2007. – № 41. – С. 127–134.
8. Ловейкін В. С. Расчёты оптимальных режимов движения механизмов строительных машин : учеб. пособ. / В. С. Ловейкин. – Киев : УМК ВО, 1990. – 168 с.
9. Пат. України на винахід № 105744 кл. B28B13/00. Установка для формирования виробів з бетонних сумішей / Ловейкін В. С., Почка К. І., Човнюк Ю. В., Діктерук М. Г. – Бюл. № 11 від 10.06.2014 р.