

*Література*

1. Гончаревич И.Ф. Динамика горных машин с упругими связями /И.Ф.Гончаревич, Л.В. Докукин. – М.: Изд-во «Наука», 1975. – 212 с.
2. Гончаревич И.Ф. Вибрационные машины в строительстве /И.Ф.Гончаревич, П.А.Сергеев. – М.:Стройиздат, 1967. -162 с.
3. Блехман И.И. Вибрационная механика /И.И.Блехман// - М.: Физматлит, 1994. – 400 с.
4. Арсентьев В.А. Производство кубовидного щеня и строительного песка с использованием вибрационных дробилок / В.А. Арсентьев, Л.А. Вайсберг, Л.П. Зарогатский, А.Д. Шулояков. - СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ. 2004. – 112 с.
5. Блюхин В.С. Основные параметры технологических машин. Машины для дезинтеграции твердых материалов: пособие. ч.1 / В.С. Блюхин, В.И. Большаков, Н.Г. Малич. – Днепронетровек: ИМА-прес, 2006. – 404 с.
6. Перов В.А. Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых./В.А.Перов, Е.Е. Андреев, Л.Ф.Биленко – М.: Недра, 1990. – 301 с.
7. Назаренко І.І. Прикладні задачі теорії вібраційних систем. П'ятьдесят п'ять років (2-е видання) / І.І. Назаренко. – К.: Видавничий Дім «Слово», 2010. – 440 с.
8. Тимошенко С.П. Колебания в инженерном деле / С.П. Тимошенко, Д.Х.Янг, У.Уинер; пер. с англ. Л.Г. Корнейчука; под. ред. Э.И. Григорюка. – М.: Машиностроение, 1985. - 472 с.
9. Динамика машин и управление машинами: справочник. Под ред. Г.В. Крейннина. /В.К. Асташев, В.И.Бабитский, И.И.Вульфсон [и др.]// - М.: Машиностроение, 1988. – 240 с.
10. Борисов А.А. Механика горных пород и массивов./А.А.Борисов – М.: Недра, 1980. – 360 с.

Надійшло до редакції 10.06.2015 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Сівко В.Й.

УДК 693.546

В.С. Ловейкін¹, д.т.н., професор,К.І. Почка², к.т.н., доцент¹ Національний університет біоресурсів і природокористування України² Київський національний університет будівництва і архітектури**ОБГРУНТУВАННЯ КРАЙОВИХ УМОВ ОПТИМАЛЬНОГО РЕЖИМУ РЕВЕРСУВАННЯ РОЛИКОВОЇ ФОРМУВАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ ЗА ПРИСКОРЕННЯМ ТРЕТЬОГО ПОРЯДКУ**

АНОТАЦІЯ. З метою підвищення надійності та довговічності роликової формувальної установки розраховано комбінований режим зворотно-поступального руху формувального візка з реверсування при оптимальних крайових умовах за прискоренням третього порядку. Розроблено конструкцію приводу установки у вигляді кулачкового механізму та побудовано профіль кулачка для забезпечення комбінованого режиму зворотно-поступального руху формувального візка. Також запропоновано конструкцію роликової формувальної установки з приводом від високомоментного крокового двигуна, що вмонтований в уковувальні ролики формувального візка установки.

Ключові слова: роликова формувальна установка, режим руху, кулачковий механізм, кроковий двигун, привод.

ABSTRACT. For the purpose of increase of reliability and durability of roller forming installation the combined mode of back and forth motion of the forming cart with a reversal under optimum regional conditions on acceleration of the third order is calculated. The design of the drive of installation in a type of the cam mechanism is developed and the cam profile for providing the combined mode of back and forth motion of the forming cart is constructed. 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 also offered.

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

Постановка проблеми. В установках роликowego 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 роликowym 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 останніх досліджень і публікацій. В існуючих теоретичних та експериментальних дослідженнях машин роликowego 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 роликовой формувальної установки з метою забезпечення такого режиму руху формувального візка, при якому зменшувалися б динамічні навантаження в елементах установки та підвищувалася її довговічність.

Метою даної роботи є удосконалення конструкції приводного механізму роликовой формувальної установки для підвищення її надійності та довговічності.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для роликовой 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 цьому 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 – прискорення третього порядку.

Умовою мінімуму критерію (1) є рівняння Пуассона:

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

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

З виразу (3) можна записати:



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

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

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

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 $e: t=0: x=-x_1; \dot{x}=\dot{x}_y; \ddot{x}=0; \ddot{\ddot{x}}=0$. Кінцеві умови при гальмуванні: $t=t_n: x=0; \dot{x}=0; \ddot{x}=a; \ddot{\ddot{x}}=b$. 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 $c: t=0: x=0; \dot{x}=0; \ddot{x}=a; \ddot{\ddot{x}}=b$. 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:

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

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

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

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

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

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

або

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

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

$$\begin{aligned}
 I_{zs} = & \frac{m}{2} \cdot \int_0^{t_s} v^2 dt = \frac{8 \cdot m}{t_s^2} \cdot \int_0^{t_s} \left[35 \left(b - 12 \cdot \frac{a}{t_s} + 60 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_s^2} - 120 \cdot \frac{x_1}{t_s^3} \right) \frac{t^3}{t_s^3} + 45 \left(-b + 13 \cdot \frac{a}{t_s} - 72 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_s^2} + 140 \cdot \frac{x_1}{t_s^3} \right) \frac{t^2}{t_s^2} + \right. \\
 & \left. + 15 \left(b - 14 \cdot \frac{a}{t_s} + 90 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_s^2} - 168 \cdot \frac{x_1}{t_s^3} \right) \frac{t}{t_s} + \left(-b + 15 \cdot \frac{a}{t_s} - 120 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_s^2} + 210 \cdot \frac{x_1}{t_s^3} \right) \right]^2 dt = \\
 & - \frac{8 \cdot m}{t_s^2} \cdot \int_0^{t_s} \left[1225 \cdot \left(b - 12 \cdot \frac{a}{t_s} + 60 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_s^2} - 120 \cdot \frac{x_1}{t_s^3} \right)^2 \cdot \frac{t^6}{t_s^6} + 2025 \cdot \left(-b + 13 \cdot \frac{a}{t_s} - 72 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_s^2} + 140 \cdot \frac{x_1}{t_s^3} \right)^2 \cdot \frac{t^4}{t_s^4} + \right. \\
 & + 225 \cdot \left(b - 14 \cdot \frac{a}{t_s} + 90 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_s^2} - 168 \cdot \frac{x_1}{t_s^3} \right)^2 \cdot \frac{t^2}{t_s^2} + \left(-b + 15 \cdot \frac{a}{t_s} - 120 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_s^2} + 210 \cdot \frac{x_1}{t_s^3} \right)^2 + \\
 & + 3150 \cdot \left(b - 12 \cdot \frac{a}{t_s} + 60 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_s^2} - 120 \cdot \frac{x_1}{t_s^3} \right) \cdot \left(-b + 13 \cdot \frac{a}{t_s} - 72 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_s^2} + 140 \cdot \frac{x_1}{t_s^3} \right) \cdot \frac{t^5}{t_s^5} + \\
 & + 1050 \cdot \left(b - 12 \cdot \frac{a}{t_s} + 60 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_s^2} - 120 \cdot \frac{x_1}{t_s^3} \right) \cdot \left(b - 14 \cdot \frac{a}{t_s} + 90 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_s^2} - 168 \cdot \frac{x_1}{t_s^3} \right) \cdot \frac{t^4}{t_s^4} + \\
 & + 70 \cdot \left(b - 12 \cdot \frac{a}{t_s} + 60 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_s^2} - 120 \cdot \frac{x_1}{t_s^3} \right) \cdot \left(-b + 15 \cdot \frac{a}{t_s} - 120 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_s^2} + 210 \cdot \frac{x_1}{t_s^3} \right) \cdot \frac{t^3}{t_s^3} + \\
 & + 1350 \cdot \left(-b + 13 \cdot \frac{a}{t_s} - 72 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_s^2} + 140 \cdot \frac{x_1}{t_s^3} \right) \cdot \left(b - 14 \cdot \frac{a}{t_s} + 90 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_s^2} - 168 \cdot \frac{x_1}{t_s^3} \right) \cdot \frac{t^3}{t_s^3} + \\
 & + 90 \cdot \left(-b + 13 \cdot \frac{a}{t_s} - 72 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_s^2} + 140 \cdot \frac{x_1}{t_s^3} \right) \cdot \left(-b + 15 \cdot \frac{a}{t_s} - 120 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_s^2} + 210 \cdot \frac{x_1}{t_s^3} \right) \cdot \frac{t^2}{t_s^2} + \\
 & \left. + 30 \cdot \left(b - 14 \cdot \frac{a}{t_s} + 90 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_s^2} - 168 \cdot \frac{x_1}{t_s^3} \right) \cdot \left(-b + 15 \cdot \frac{a}{t_s} - 120 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_s^2} + 210 \cdot \frac{x_1}{t_s^3} \right) \cdot \frac{t}{t_s} \right] dt =
 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
& \left[175 \cdot \left(b - 12 \cdot \frac{a}{t_s} + 60 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_s^2} - 120 \cdot \frac{x_1}{t_s^3} \right)^2 + 405 \cdot \left(-b + 13 \cdot \frac{a}{t_s} - 72 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_s^2} + 140 \cdot \frac{x_1}{t_s^3} \right)^2 + \right. \\
& + 75 \cdot \left(b - 14 \cdot \frac{a}{t_s} + 90 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_s^2} - 168 \cdot \frac{x_1}{t_s^3} \right)^2 + \left(-b + 15 \cdot \frac{a}{t_s} - 120 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_s^2} + 210 \cdot \frac{x_1}{t_s^3} \right)^2 + \\
& + 525 \cdot \left(b - 12 \cdot \frac{a}{t_s} + 60 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_s^2} - 120 \cdot \frac{x_1}{t_s^3} \right) \cdot \left(-b + 13 \cdot \frac{a}{t_s} - 72 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_s^2} + 140 \cdot \frac{x_1}{t_s^3} \right) + \\
& + 210 \cdot \left(b - 12 \cdot \frac{a}{t_s} + 60 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_s^2} - 120 \cdot \frac{x_1}{t_s^3} \right) \cdot \left(b - 14 \cdot \frac{a}{t_s} + 90 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_s^2} - 168 \cdot \frac{x_1}{t_s^3} \right) + \\
& + \frac{35}{2} \cdot \left(b - 12 \cdot \frac{a}{t_s} + 60 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_s^2} - 120 \cdot \frac{x_1}{t_s^3} \right) \cdot \left(-b + 15 \cdot \frac{a}{t_s} - 120 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_s^2} + 210 \cdot \frac{x_1}{t_s^3} \right) + \\
& + \frac{675}{2} \cdot \left(-b + 13 \cdot \frac{a}{t_s} - 72 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_s^2} + 140 \cdot \frac{x_1}{t_s^3} \right) \cdot \left(b - 14 \cdot \frac{a}{t_s} + 90 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_s^2} - 168 \cdot \frac{x_1}{t_s^3} \right) + \\
& + 30 \cdot \left(-b + 13 \cdot \frac{a}{t_s} - 72 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_s^2} + 140 \cdot \frac{x_1}{t_s^3} \right) \cdot \left(-b + 15 \cdot \frac{a}{t_s} - 120 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_s^2} + 210 \cdot \frac{x_1}{t_s^3} \right) + \\
& \left. + 15 \cdot \left(b - 14 \cdot \frac{a}{t_s} + 90 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_s^2} - 168 \cdot \frac{x_1}{t_s^3} \right) \cdot \left(-b + 15 \cdot \frac{a}{t_s} - 120 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_s^2} + 210 \cdot \frac{x_1}{t_s^3} \right) \right] \\
& = \frac{8 \cdot m}{t_s} \cdot \left[b^2 - 15 \cdot \frac{a}{t_s} \cdot b + 45 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_s^2} \cdot b - 105 \cdot \frac{x_1}{t_s^3} \cdot b + 75 \cdot \frac{a^2}{t_s^2} - 585 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_s^3} \cdot a + \right. \\
& \left. + 1260 \cdot \frac{x_1}{t_s^4} \cdot a + 1620 \cdot \frac{\dot{x}_y^2}{t_s^4} - 6300 \cdot \frac{x_1}{t_s^5} \cdot \dot{x}_y + 6300 \cdot \frac{x_1^2}{t_s^6} \right].
\end{aligned} \tag{11}$$

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

$$t = 0: \quad C_5 = b; \quad \tilde{N}_6 = a; \quad \tilde{N}_7 = 0; \quad \tilde{N}_8 = 0; \tag{12}$$

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

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

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

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 :

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

або

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

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

$$\begin{aligned}
 I_{2a} & - \frac{m}{2} \int_0^{t_n} x^2 dt - \frac{8 \cdot m}{t_n^2} \int_0^{t_n} \left[35 \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 \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) \frac{t^2}{t_n^2} + \right. \\
 & \left. + 30 \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) \frac{t}{t_n} + 2 \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) \right] dt - \\
 & - \frac{8 \cdot m}{t_n^2} \int_0^{t_n} \left[1225 \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)^2 \frac{t^6}{t_n^6} + 225 \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)^2 \frac{t^4}{t_n^4} + \right. \\
 & + 900 \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)^2 \frac{t^2}{t_n^2} + 4 \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)^2 + \\
 & + 1050 \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 \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^5}{t_n^5} + \\
 & + 2100 \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 \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^4}{t_n^4} + \\
 & + 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 \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{t^3}{t_n^3} + \\
 & + 900 \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 \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^3}{t_n^3} + \\
 & + 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 \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{t^2}{t_n^2} + \\
 & \left. + 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 \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{t}{t_n} \right] dt -
 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
&= \frac{8 \cdot m}{t_n} \cdot \left[\begin{aligned} &175 \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)^2 + 45 \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)^2 + \\ &+ 300 \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)^2 + 4 \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)^2 + \\ &+ 175 \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 \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) + \\ &+ 420 \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 \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) + \\ &+ 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 \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) + \\ &+ 225 \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 \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) + \\ &+ 20 \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 \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) + \\ &+ 60 \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 \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] = \\
&= \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)
\end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}
I_z - I_{z_0} + I_{z_n} - \frac{8 \cdot m}{t_z} \cdot \left[\begin{aligned} &b^2 - 15 \cdot \frac{a}{t_z} \cdot b + 45 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_z^2} \cdot b - 105 \cdot \frac{x_1}{t_z^3} \cdot b + 75 \cdot \frac{a^2}{t_z^2} - 585 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_z^3} \cdot a + \\ &+ 1260 \cdot \frac{x_1}{t_z^4} \cdot a + 1620 \cdot \frac{\dot{x}_y^2}{t_z^4} - 6300 \cdot \frac{x_1}{t_z^5} \cdot \dot{x}_y + 6300 \cdot \frac{x_1^2}{t_z^6} \end{aligned} \right] + \\
+ \frac{8 \cdot m}{t_n} \cdot \left[\begin{aligned} &b^2 + 15 \cdot \frac{a}{t_n} \cdot b - 45 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_n^2} \cdot b + 105 \cdot \frac{x_1}{t_n^3} \cdot b + 75 \cdot \frac{a^2}{t_n^2} - 585 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_n^3} \cdot a + \\ &+ 1260 \cdot \frac{x_1}{t_n^4} \cdot a + 1620 \cdot \frac{\dot{x}_y^2}{t_n^4} - 6300 \cdot \frac{x_1}{t_n^5} \cdot \dot{x}_y + 6300 \cdot \frac{x_1^2}{t_n^6} \end{aligned} \right]. \quad (18)
\end{aligned}$$

Прийнявши рівність часу гальмування візка та його пуску $t_z = t_n = t_1$, 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:

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

Із виразів (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 формуального візка:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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 $x_{0,y}$ 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 $x_{1,y} = \Delta x - x_1$.

Підставивши отримані координати $x_{0,y}$ та $x_{1,y}$ у другий вираз (26) отримаємо 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 формувального візка з одного крайнього положення в інше t_y , його можна розділити на три частини: час пуску – t_n ; час усталеного руху – t_p ; час гальмування – t_s . Для забезпечення ущільнення бетонної суміші формувальним візком з постійною швидкістю руху на більшості його робочого ходу приймемо час усталеного руху, наприклад, $t_p = \frac{2}{3} \cdot t_y$, тоді, задаючись умовою рівності часу розгону та гальмування, їх можна визначити відповідними виразами: $t_n = t_s = t_1 = \frac{1}{6} \cdot t_y$.

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

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

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:

$$x = \frac{27 \cdot \Delta x}{20} \cdot \left(432 \cdot \frac{t^6}{t_y^6} - 60 \cdot \frac{t^4}{t_y^4} + 5 \cdot \frac{t^2}{t_y^2} \right); \quad \dot{x} = \frac{27 \cdot \Delta x}{10} \cdot \left(1296 \cdot \frac{t^5}{t_y^6} - 120 \cdot \frac{t^3}{t_y^4} + 5 \cdot \frac{t}{t_y^2} \right); \quad (29)$$

$$\ddot{x} = \frac{27 \cdot \Delta x}{2} \cdot \left(1296 \cdot \frac{t^4}{t_y^6} - 72 \cdot \frac{t^2}{t_y^4} + \frac{1}{t_y^2} \right); \quad \ddot{\ddot{x}} = 1944 \cdot \Delta x \cdot \left(36 \cdot \frac{t^3}{t_y^6} - \frac{t}{t_y^4} \right);$$

–на ділянці усталеного руху:

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

–на ділянці гальмування:

$$x = \frac{3 \cdot \Delta x}{20} \cdot \left(\frac{69}{12} - 3888 \cdot \frac{t^6}{t_y^6} + 3888 \cdot \frac{t^5}{t_y^5} - 1080 \cdot \frac{t^4}{t_y^4} + 8 \cdot \frac{t}{t_y} \right);$$

$$\dot{x} = -\frac{6 \cdot \Delta x}{5} \cdot \left(2916 \cdot \frac{t^5}{t_y^6} - 2430 \cdot \frac{t^4}{t_y^5} + 540 \cdot \frac{t^3}{t_y^4} - \frac{1}{t_y} \right); \quad (31)$$

$$\ddot{x} = -1944 \cdot \Delta x \cdot \left(9 \cdot \frac{t^4}{t_y^6} - 6 \cdot \frac{t^3}{t_y^5} + \frac{t^2}{t_y^4} \right); \quad \ddot{\ddot{x}} = -3888 \cdot \Delta x \cdot \left(18 \cdot \frac{t^3}{t_y^6} - 9 \cdot \frac{t^2}{t_y^5} + \frac{t}{t_y^4} \right).$$

Задавшись амплітудою переміщення формувального візка $\Delta x = 0,4 \text{ м}$ та загальним часом його руху від одного крайнього положення в інше $t_y = 3 \text{ с}$, 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 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, отримуємо:

–на ділянці пуску:

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

–на ділянці усталеного руху:

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

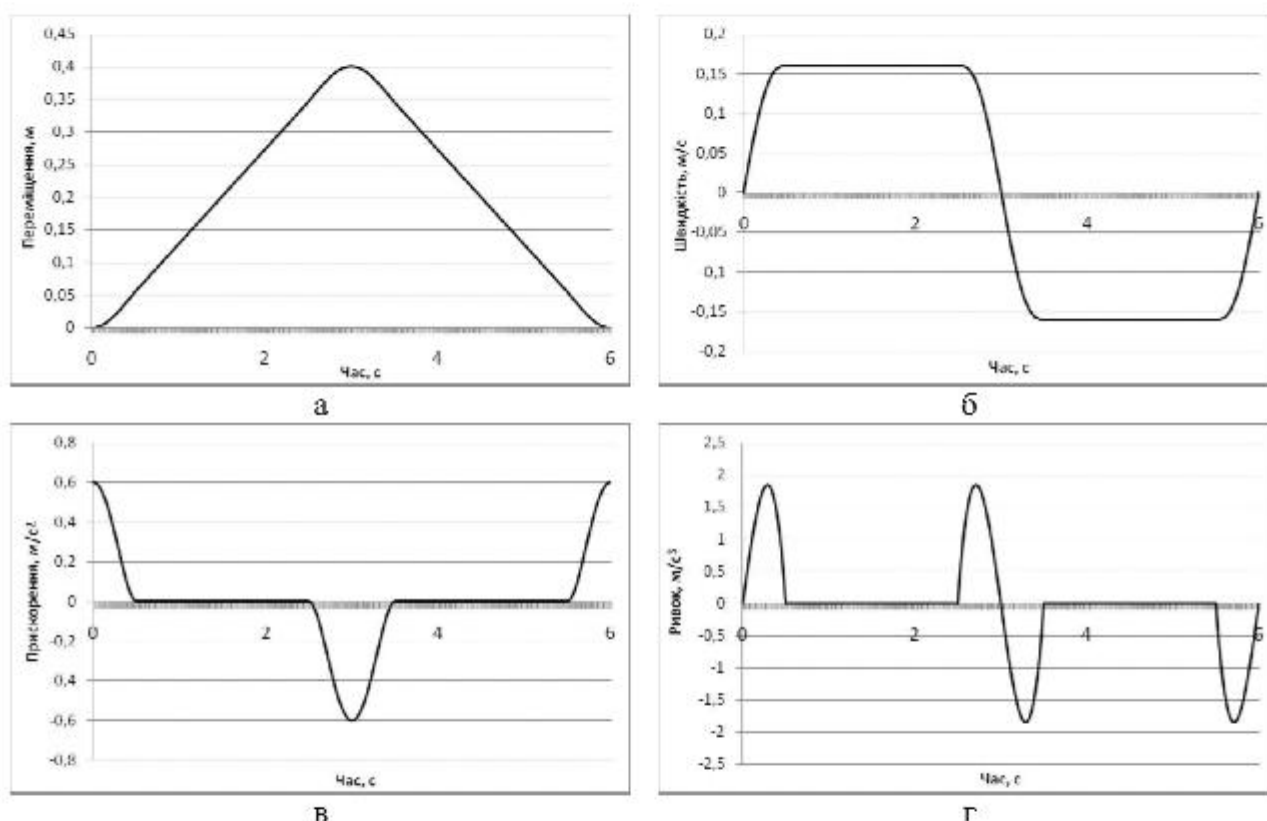


Рис. 1. Графіки зміни переміщення – а, швидкості – б, прискорення – в та ривка – г при русі формувального візка з режимом реверсування при оптимальних крайових умовах за прискоренням третього порядку

–на ділянці гальмування:

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

Закоп 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:



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

– на ділянці усталеного руху:

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

– на ділянці гальмування:

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

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

Час t можна виключити із залежностей (35)-(37), оскільки $t = \frac{\varphi}{\omega}$, а $t_s = \frac{\pi}{\omega}$. Тут φ – кутова координата повороту кулачка, а ω – кутова швидкість обертання кулачка. Оскільки час пуску формувального візка визначається залежністю $t_n = \frac{1}{6} \cdot t_s$, то процес пуску буде здійснюватись при повороті кулачка на кут в межах від $\varphi = 0$ до $\varphi = \frac{\pi}{6}$; час усталеного руху – $t_v = \frac{2}{3} \cdot t_s$, 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 – $t_g = \frac{1}{6} \cdot t_s$, 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:

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

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

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

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

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

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

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

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 палийності запропоновано конструкторську установку 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 шарпірно 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.

При застосуванні в установці кулачкового приводного механізму з кожного боку формувального візка унеможливується його осьове перекошування, підвищується якість поверхні обробленої 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:

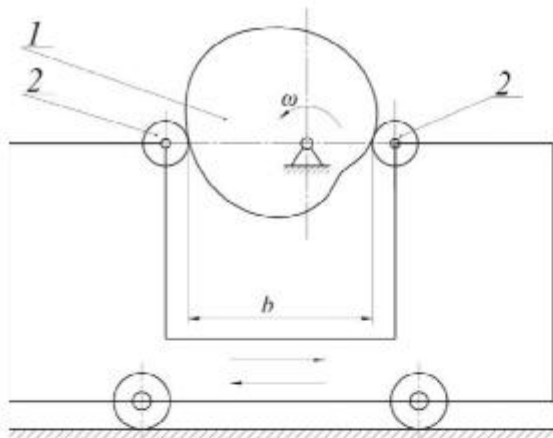


Рис. 2. Схема механізму з кулачковим приводом зворотно-поступального руху візка – на ділянці пуску;

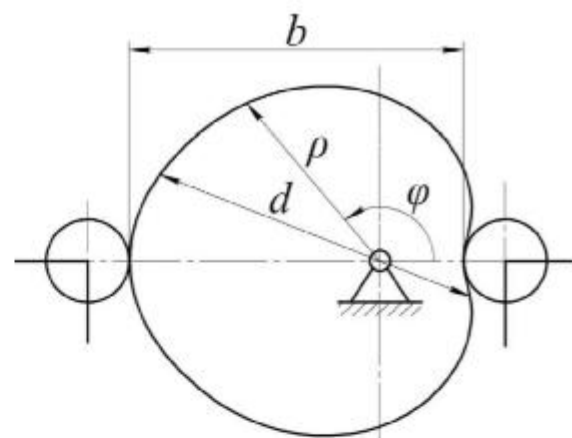


Рис. 3. Профіль кулачка, що реалізує комбінований режим руху формувального візка

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

– на ділянці усталеного руху:

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

– на ділянці гальмування:

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

де R – радіус укочувальних роликів.



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

$$\dot{\varphi} = \frac{27 \cdot \Delta x}{10 \cdot R} \cdot \left(1296 \cdot \frac{t^5}{t_2^6} - 120 \cdot \frac{t^3}{t_2^4} + 5 \cdot \frac{t}{t_2^2} \right), \quad 0 \leq t \leq \frac{t_2}{6}; \quad (47)$$

$$\dot{\varphi} = \frac{6 \cdot \Delta x}{5 \cdot t_2 \cdot R}, \quad \frac{t_2}{6} < t < \frac{5 \cdot t_2}{6}; \quad (48)$$

$$\dot{\varphi} = \frac{6 \cdot \Delta x}{5 \cdot R} \cdot \left[2916 \cdot \left(t - \frac{5 \cdot t_2}{6} \right)^5 \cdot \frac{1}{t_2^6} - 2430 \cdot \left(t - \frac{5 \cdot t_2}{6} \right)^4 \cdot \frac{1}{t_2^5} + 540 \cdot \left(t - \frac{5 \cdot t_2}{6} \right)^3 \cdot \frac{1}{t_2^4} - \frac{1}{t_2} \right], \quad \frac{5 \cdot t_2}{6} < t \leq t_2. \quad (49)$$

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

$$\dot{\varphi} = -\frac{27 \cdot \Delta x}{10 \cdot R} \cdot \left[1296 \cdot \frac{(t-t_2)^5}{t_2^6} - 120 \cdot \frac{(t-t_2)^3}{t_2^4} + 5 \cdot \frac{(t-t_2)}{t_2^2} \right], \quad t_2 \leq t \leq \frac{7 \cdot t_2}{6}; \quad (50)$$

$$\dot{\varphi} = -\frac{6 \cdot \Delta x}{5 \cdot t_2 \cdot R}, \quad \frac{7 \cdot t_2}{6} < t < \frac{11 \cdot t_2}{6}; \quad (51)$$

$$\dot{\varphi} = \frac{6 \cdot \Delta x}{5 \cdot R} \cdot \left[2916 \cdot \left(t - \frac{11 \cdot t_2}{6} \right)^5 \cdot \frac{1}{t_2^6} - 2430 \cdot \left(t - \frac{11 \cdot t_2}{6} \right)^4 \cdot \frac{1}{t_2^5} + 540 \cdot \left(t - \frac{11 \cdot t_2}{6} \right)^3 \cdot \frac{1}{t_2^4} - \frac{1}{t_2} \right], \quad \frac{11 \cdot t_2}{6} < t \leq 2 \cdot t_2. \quad (52)$$

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 уключувальні ролики 6 на осі 7.

Візок приводиться в зворотно-поступальний рух за допомогою висомоментного крокового двигуна, який вмонтовано в ролики, причому вісь ролика виконує роль статора, а сам ролик – ротора [9].

При застосуванні в установці приводу від висомоментного крокового двигуна, що вмонтований в уключувальні 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 рампу конструкції і, відповідно, підвищується надійність та довговічність установки в цілому.

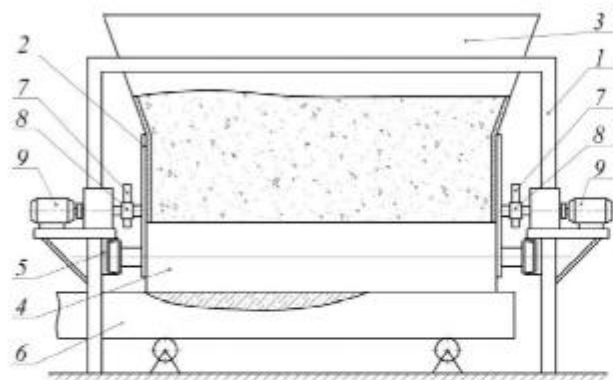


Рис. 4. Роликова формувальна установка з кулачковим приводним механізмом

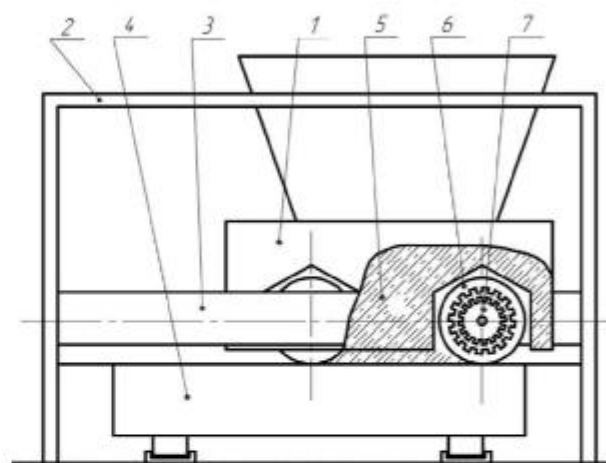


Рис. 5. Роликова формувальна установка з приводом від крокового двигуна

Висновки

1. В результаті проведених досліджень з метою підвищення надійності та довговічності роликової формувальної установки розраховано комбінований режим зворотно-поступально-го руху формувального візка з реверсування 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.

2. Розроблено 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.

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

4. 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, зникнення зайвих руйнівних навантажень на рамну конструкцію і, відповідно, до підвищення надійності та довговічності установки в цілому.

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

Література

1. Гарнець В.М. Прогресивні бетоноформуючі агрегати і комплекси. / В.М. Гарнець. – К.: Будівельник, 1991. – 144 с.
2. Гарнець В.М. Бетоноформувальні агрегати. Конструктивно-функціональні схеми, принципи дії, основи теорії. / В.М. Гарнець, С.В. Зайченко, Ю.В. Човшок, В.О. Шаленко, Я.С. Приходько. – К.: Інтерсервіс, 2015. – 238 с.
3. Кузін В.П. Технологія роликового формування плоских изделий из мелкозернистых бетонов. / В.П. Кузін. – Автореф. дис... канд. наук. – М. – 1981. – 20 с.
4. Рюшин В.Т. Исследование рабочего процесса и разработка методики расчета машин роликового формирования бетонных смесей. / В.Т. Рюшин. – Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. – К. – 1986.



5. Ловейкін В.С. Динамічний аналіз роликів 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 роликів формувальної установки з рекуперативним приводом. / В.С. Ловейкін, К.І. Почка // Вісник Харківського національного університету сільськогосподарства ім. П.Василенка. – Харків, 2007. – № 59, Том I. – С. 465-474.
7. Ловейкін В.С. Визначення оптимального значення кута зміщення кривошипів роликів формувальної установки з рекуперативним приводом. / В.С. Ловейкін, К.І. Почка // Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні. – ІПУ «Львівська політехніка», 2007. – № 41. – С. 127-134.
8. Ловейкин В.С. Расчёты оптимальных режимов движения механизмов строительных машин. Учебное пособие. / В.С. Ловейкин. – Киев: УМК ВО, 1990. – 168 с.
9. Патент України на винахід № 105744 кл. В28В13/00: Установка для формирования виробів з бетонних сумішей. / Ловейкін В.С., Почка К.І., Човшок Ю.В., Діктерук М.Г. – Бюл. № 11 від 10.06.2014 р.

Надійшло до редакції 22.06.2015 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Яковенко В.Б.

УДК 69.002.5

Ю.О. Баранов¹, к.т.н., доцент,

І.В. Косминський¹, к.т.н., доцент,

М.С. Мельниченко¹, студент

¹Київський національний університет будівництва і архітектури (КНУБА)

СИСТЕМИ ПІДГОТУВАННЯ ПОВІТРЯ ДЛЯ РУЧНИХ МАШИН

АНОТАЦІЯ. Детально розглянуті системи підготовки повітря для ручних машин. Зроблено детальні рекомендації з підбору пневматичної системи на будівництві для ручного пневматичного інструменту. Встановлено, що ологовіддільники рекомендовано використовувати спільно з магістральними фільтрами, причому встановлювати вологовіддільники після фільтра. При цьому забезпечується максимально ефективна очистка: фільтр затримує тверді частинки, масло і значну частину вологи, а решта вода буде затримана вологовіддільником. З'ясовано, що після повного очищення з повітря знову випадатиме конденсат при подальшому падінні температури. Пропонується встановлювати вологовіддільник в тому місці магістралі, де температура повітря має мінімальне значення

Ключові слова: пневматика, повітря, ручні машини, точки роси, фільтр.

АННОТАЦИЯ. Подробно рассмотрены системы подготовки воздуха для ручных машин. Сделаны подробные рекомендации по подбору пневматической системы на строительстве для ручного пневматического инструмента. Установлено, что ологоуддильники рекомендуется использовать совместно с магистральными фильтрами, причем устанавливать влагоуддильники после фильтра. При этом обеспечивается максимально эффективная очистка: фильтр задерживает твердые частицы, масло и значительную часть влаги, а оставшиеся вода будет задержана влагоуддильником. Установлено, что после полной очистки из воздуха снова выпадает конденсат при дальнейшем падении температуры. Предлагается устанавливать влагоуддильник в том месте магистральной, где температура воздуха имеет минимальное значение

Ключевые слова: пневматика, воздух, ручные машины, точка росы, фильтр.

ABSTRACT. In detail the system for manual preparation of air vehicles. Made detailed recommendations on the selection of pneumatic systems on construction for pneumatic hand tools. Found