

УДК 693.546

*В.С. Ловейкін, д.т.н., професор;
К.І. Почка, к.т.н., доцент*

ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ЕНЕРГЕТИЧНО ВРІВНОВАЖЕНОГО ПРИВОДУ РОЛИКОВОЇ ФОРМУВАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ

АНОТАЦІЯ. Для роликової формувальної установки з енергетично врівноваженим приводом на три формувальні візки визначено оптимальне значення кута зміщення кривошипів. В якості критерію оптимальності використано функції зміни кінетичної енергії кожного з формувальних візків та сумарної кінетичної енергії всієї установки.

Ключові слова: роликова формувальна установка, приводний механізм, формувальний візок, кінетична енергія, кут зміщення.

SUMMARY. For roller forming installation with energetically balanced drive on three forming carts optimum value of a corner of shift of cranks is defined. As criterion of an optimality functions of change of kinetic energy of each of forming carts and total kinetic energy of all installation are used.

Key words: roller forming installation, driving mechanism, forming cart, kinetic energy, shift corner.

Постановка проблеми. В існуючих установках поверхневого роликового ущільнення залізобетонних виробів використовується кривошипно-повзунний або гідравлічний привод зворотно-поступального руху формувального візка з укочувальними роликами [1-5]. Значним недоліком даних пристроїв є недосконалість приводного механізму. Цей недолік проявляється в тому, що під час постійних пускогальмівних режимів руху втрачається значна частина кінетичної енергії, яка йде на втомлене руйнування конструкції.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В існуючих теоретичних та експериментальних дослідженнях машин роликового формування залізобетонних виробів обґрунтовано їхні конструктивні параметри та продуктивність [1-5]. 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. Тому постає задача створення такого приводного механізму роликової формувальної установки, в якому при зворотно-поступальному русі формувального візка кінетична енергія одних ланок установки змогла б перетворюватися в кінетичну енергію інших ланок.

Метою даної роботи є розробка конструкції роликової формувальної установки з енергетично врівноваженим приводом на три формувальні візки, у якій при зворотно-поступальному русі формувальних візків кінетична енергія змогла б перерозподілятися між ними.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для вирішення поставленої задачі пропонується схема пристрою (рис. 1), в якому при зміні напрямку руху візків відбувається перерозподіл кінетичної енергії між ними. Пристрій складається з трьох однакових візків 1, 2 та 3, кожний з яких приводиться в зворотно-поступальний рух від спільного приводу, до складу якого входять три кривошипно-повзунні механізми. Вказані кривошипно-повзунні механізми вміщують в собі візки 1, 2 і 3, шатуни 4, 5 і 6, а також кривошипи 7, 8 та 9, які жорстко закріплені на одному приводному валу 10 і зміщені один відносно другого на певний кут, причому кут зміщення між кривошипами 7 і 9 позначений $\Delta\varphi_1$, а між шатунами 7 і 8 та 8 і 9 – $\Delta\varphi_2$.

Наявність єдиного приводу дозволяє знизити енергетичні затрати за рахунок безпосередньої передачі кінетичної енергії між рухомими ланками при постійних пускогальмівних режимах руху. Для даного пристрою необхідно визначити такі значення кутів зміщення кривошипів $\Delta\varphi_1$ та $\Delta\varphi_2$, при яких відбувалася б максимально можлива передача кінетичної енергії від одного візка до двох інших.

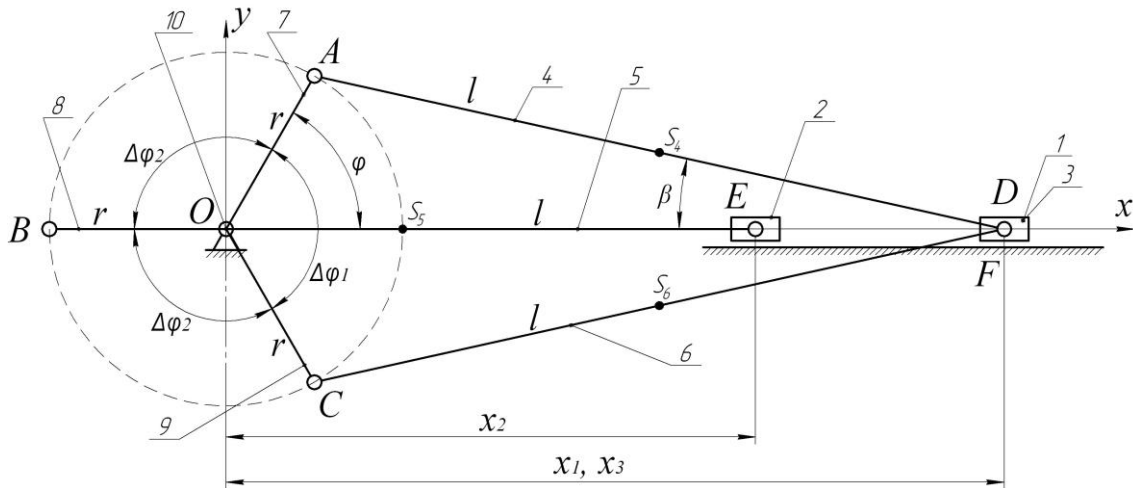


Рисунок 1. Кінематична схема пристрою, що дозволяє перерозподіл енергії між ланками.

Умовою неспоживання енергії ззовні на пускогальмівні режими руху візків при незначній зміні сил тертя та сукупності всіх дисипативних сил системи є незмінність їх сумарної кінетичної енергії протягом одного циклу руху (один повний оберт кривошипа):

$$T_1 + T_2 + T_3 = \frac{3}{2} \cdot T_m = const, \quad (1)$$

де T_1 , T_2 та T_3 – функції зміни кінетичної енергії візків 1, 2 та 3 відповідно; T_m – постійне значення енергії, яке дорівнює максимальному значенню кінетичної енергії одного з візків при умові, що кожний з візків в деякий момент часу перебуває в стані нерухомості (при досягненні візками крайніх положень).

У момент, коли кривошип 8 (рис. 1) повзуна 2 займає кутову координату $\varphi + \Delta\varphi_2 = \pi$, повзун 2 перебуває у крайньому положенні. Тоді:

$$T_2 = 0; \quad T_1 = T_3 = \frac{3}{4} T_m. \quad (2)$$

Кінетична енергія кожного з візків визначається наступним виразом:

$$T_1 = \frac{1}{2} \cdot m_1 \cdot \dot{x}_1^2, \quad (3)$$

де m_1 – маса формувального візка (маси усіх формувальних візків рівні $m_1 = m_2 = m_3 = m$); \dot{x}_1 – лінійна швидкість руху центра мас візка 1.

Для визначення лінійної швидкості центра мас візка 1 необхідно спочатку визначити його функцію положення. Для пристрою на рис. 1 функція зміни лінійного переміщення центра мас візка 1 матиме вигляд:

$$x_1 = r \cdot \cos \varphi + l \cdot \cos \beta, \quad (4)$$

де r – радіус кривошипа; l – довжина шатуна; φ – кутова координата повороту кривошипа; β – кутова координата, яка визначає положення шатуна 4 відносно горизонталі.

Враховуючи, що:

$$r \cdot \sin \varphi = l \cdot \sin \beta \Rightarrow \sin \beta = \frac{r}{l} \cdot \sin \varphi \Rightarrow \cos \beta = \sqrt{1 - \frac{r^2}{l^2} \cdot \sin^2 \varphi}, \quad (5)$$

функцію зміни лінійного переміщення центра мас візка 1 можна записати у вигляді:

$$x_1 = r \cdot \cos \varphi + l \cdot \sqrt{1 - \frac{r^2}{l^2} \cdot \sin^2 \varphi}. \quad (6)$$

Диференціюючи за часом вираз (4), отримано функцію зміни лінійної швидкості центра мас візка 1 при постійній кутовій швидкості кривошипу ($\dot{\varphi} = \omega = const$):

$$\dot{x}_1 = -r \cdot \dot{\varphi} \cdot \sin \varphi - l \cdot \dot{\beta} \cdot \sin \beta. \quad (7)$$

Із виразу (5) можна отримати:

$$\dot{\beta} \cdot \cos \beta = \dot{\varphi} \cdot \frac{r}{l} \cdot \cos \varphi \Rightarrow \dot{\beta} = \dot{\varphi} \cdot \frac{r}{l} \cdot \frac{\cos \varphi}{\cos \beta} \Rightarrow \dot{\beta} = \dot{\varphi} \cdot \frac{r}{l} \cdot \frac{\cos \varphi}{\sqrt{1 - \frac{r^2}{l^2} \cdot \sin^2 \varphi}}. \quad (8)$$

Із врахуванням виразів (5) та (8) функція зміни лінійної швидкості центра мас візка 1 матиме вигляд:

$$\dot{x}_1 = -\dot{\varphi} \cdot r \cdot \sin \varphi \cdot \left(1 + \frac{r}{l} \cdot \frac{\cos \varphi}{\sqrt{1 - \frac{r^2}{l^2} \cdot \sin^2 \varphi}} \right); \quad (9)$$

Підставивши вираз (9) у функцію зміни кінетичної енергії (3), отримуємо:

$$T_1 = \frac{1}{2} \cdot m \cdot \dot{\varphi}^2 \cdot r^2 \cdot \sin^2 \varphi \cdot \left(1 + \frac{r}{l} \cdot \frac{\cos \varphi}{\sqrt{1 - \frac{r^2}{l^2} \cdot \sin^2 \varphi}} \right)^2. \quad (10)$$

Продиференціювавши вираз (10) за координатою φ , отримуємо функцію зміни крутного моменту, що виникає від дії сил інерції:

$$\begin{aligned} \frac{\partial T_1}{\partial \varphi} = m \cdot \dot{\varphi}^2 \cdot r^2 \cdot & \left[\sin \varphi \cdot \cos \varphi \cdot \left(1 + \frac{r}{l} \cdot \frac{\cos \varphi}{\sqrt{1 - \frac{r^2}{l^2} \cdot \sin^2 \varphi}} \right)^2 + \frac{r}{l} \cdot \sin^2 \varphi \cdot \left(1 + \frac{r}{l} \cdot \frac{\cos \varphi}{\sqrt{1 - \frac{r^2}{l^2} \cdot \sin^2 \varphi}} \right) \times \right. \\ & \left. - \sin \varphi \cdot \left(1 - \frac{r^2}{l^2} \cdot \sin^2 \varphi \right) + \frac{r^2}{l^2} \cdot \sin \varphi \cdot \cos^2 \varphi \right. \\ & \left. \times \frac{1}{\left(1 - \frac{r^2}{l^2} \cdot \sin^2 \varphi \right)^{\frac{3}{2}}} \right] = \quad (11) \\ = m \cdot \dot{\varphi}^2 \cdot r^2 \cdot \sin \varphi \cdot & \left(1 + \frac{\frac{r}{l} \cdot \cos \varphi}{\sqrt{1 - \frac{r^2}{l^2} \cdot \sin^2 \varphi}} \right) \cdot \left[\cos \varphi \cdot \left(1 + \frac{\frac{r}{l} \cdot \cos \varphi}{\sqrt{1 - \frac{r^2}{l^2} \cdot \sin^2 \varphi}} \right) + \frac{\frac{r}{l} \cdot \left(\frac{r^2}{l^2} - 1 \right) \cdot \sin^2 \varphi}{\left(1 - \frac{r^2}{l^2} \cdot \sin^2 \varphi \right)^{\frac{3}{2}}} \right]. \end{aligned}$$

При виконанні умови неспоживання енергії ззовні на пускогальмівні режими руху візків (1), тобто при незмінності сумарної кінетичної енергії пристрою протягом одного циклу руху, вираз (11) прирівнюємо до нуля:

$$\frac{\partial T_1}{\partial \varphi} = m \cdot \dot{\varphi}^2 \cdot r^2 \cdot \sin \varphi \cdot \left(1 + \frac{\frac{r}{l} \cdot \cos \varphi}{\sqrt{1 - \frac{r^2}{l^2} \cdot \sin^2 \varphi}} \right) \cdot \left[\cos \varphi \cdot \left(1 + \frac{\frac{r}{l} \cdot \cos \varphi}{\sqrt{1 - \frac{r^2}{l^2} \cdot \sin^2 \varphi}} \right) + \frac{\frac{r}{l} \cdot \left(\frac{r^2}{l^2} - 1 \right) \cdot \sin^2 \varphi}{\left(1 - \frac{r^2}{l^2} \cdot \sin^2 \varphi \right)^{\frac{3}{2}}} \right] = 0. \quad (12)$$



Вираз (12) буде рівний нулю, якщо один із його множників дорівнює нулю. Розглянемо ці випадки.

1. У першому випадку $\sin \varphi = 0$. Тоді: $\varphi = \pi \cdot k$, $k = 0, 1, 2, \dots, n$. Цей розв'язок відповідає мінімальному значенню кінетичної енергії формувального візка ($T_{1\min} = 0$), тобто крайньому положенню формувального візка.

2. У другому випадку:

$$1 + \frac{r}{l} \cdot \frac{\cos \varphi}{\sqrt{1 - \frac{r^2}{l^2} \cdot \sin^2 \varphi}} = 0. \quad (13)$$

При цьому повинна виконуватись умова: $\left(1 - \frac{r^2}{l^2} \cdot \sin^2 \varphi\right) > 0$.

Помноживши праву і ліву частини виразу (13) на $\sqrt{1 - \frac{r^2}{l^2} \cdot \sin^2 \varphi}$, отримуємо:

$$\sqrt{1 - \frac{r^2}{l^2} \cdot \sin^2 \varphi} + \frac{r}{l} \cdot \cos \varphi = 0 \quad \text{або} \quad \sqrt{1 - \frac{r^2}{l^2} \cdot \sin^2 \varphi} = -\frac{r}{l} \cdot \cos \varphi. \quad (14)$$

Після піднесення правої та лівої частин виразу (14) до квадрату отримуємо:

$$1 - \frac{r^2}{l^2} \cdot \sin^2 \varphi = \frac{r^2}{l^2} \cdot \cos^2 \varphi \quad \text{або} \quad 1 = \frac{r^2}{l^2} \cdot \cos^2 \varphi + \frac{r^2}{l^2} \cdot \sin^2 \varphi = \frac{r^2}{l^2} \cdot (\cos^2 \varphi + \sin^2 \varphi) = \frac{r^2}{l^2}. \quad (15)$$

При цьому $\frac{r^2}{l^2} = 1$. Цей розв'язок справедливий при $r = l$ для будь-яких значень φ . А для кривошипно-повзунних механізмів це не може бути реалізовано на практиці у зв'язку з можливістю заклинювання такого механізму.

3. У третьому випадку:

$$\left(1 + \frac{r}{l} \cdot \frac{\cos \varphi}{\sqrt{1 - \frac{r^2}{l^2} \cdot \sin^2 \varphi}}\right) \cdot \cos \varphi + \frac{r}{l} \cdot \frac{\left(\frac{r^2}{l^2} - 1\right) \cdot \sin^2 \varphi}{\left(1 - \frac{r^2}{l^2} \cdot \sin^2 \varphi\right)^{\frac{3}{2}}} = 0. \quad (16)$$

Домноживши праву і ліву частини виразу (16) на $\sqrt{1 - \frac{r^2}{l^2} \cdot \sin^2 \varphi}$, отримуємо:

$$\left(\sqrt{1 - \frac{r^2}{l^2} \cdot \sin^2 \varphi} + \frac{r}{l} \cdot \cos \varphi\right) \cdot \cos \varphi + \frac{r}{l} \cdot \frac{\left(\frac{r^2}{l^2} - 1\right) \cdot \sin^2 \varphi}{1 - \frac{r^2}{l^2} \cdot \sin^2 \varphi} = 0 \quad (17)$$

або

$$\sqrt{1 - \frac{r^2}{l^2} \cdot \sin^2 \varphi} \cdot \cos \varphi + \frac{r}{l} \cdot \cos^2 \varphi + \frac{r}{l} \cdot \frac{\left(\frac{r^2}{l^2} - 1\right) \cdot \sin^2 \varphi}{1 - \frac{r^2}{l^2} \cdot \sin^2 \varphi} = 0. \quad (18)$$

Помножимо всі члени рівності (18) на $\frac{l}{r}$, після чого отримуємо:

$$\frac{l}{r} \cdot \sqrt{1 - \frac{r^2}{l^2} \cdot \sin^2 \varphi} \cdot \cos \varphi + \cos^2 \varphi + \frac{\left(\frac{r^2}{l^2} - 1\right) \cdot \sin^2 \varphi}{1 - \frac{r^2}{l^2} \cdot \sin^2 \varphi} = 0. \quad (19)$$

Враховуючи, що у кривошипно-повзунному механізмі $\frac{r^2}{l^2} \ll 1$, то вираз (19) можна записати у вигляді:

$$\frac{l}{r} \cdot \cos \varphi + \cos^2 \varphi - \sin^2 \varphi = 0. \quad (20)$$

Замінивши у рівності (20) $\sin^2 \varphi = 1 - \cos^2 \varphi$, можна отримати:

$$\frac{l}{r} \cdot \cos \varphi + \cos^2 \varphi - 1 + \cos^2 \varphi = 0 \quad \text{або} \quad 2 \cdot \cos^2 \varphi + \frac{l}{r} \cdot \cos \varphi - 1 = 0. \quad (21)$$

Розв'язком рівняння (21) є:

$$\cos \varphi = \frac{-\frac{l}{r} \pm \sqrt{\frac{l^2}{r^2} + 8}}{4} = -\frac{l}{4 \cdot r} \pm \sqrt{\frac{l^2}{16 \cdot r^2} + \frac{1}{2}}. \quad (22)$$

Оскільки $|\cos \varphi| \leq 1$, то корінь рівняння (21) приймаємо:

$$\cos \varphi = -\frac{l}{4 \cdot r} + \sqrt{\frac{l^2}{16 \cdot r^2} + \frac{1}{2}}. \quad (23)$$

Тоді:

$$\varphi = \varphi_{\max} = \pm \arccos \left(-\frac{l}{4 \cdot r} + \sqrt{\frac{l^2}{16 \cdot r^2} + \frac{1}{2}} \right) + 2 \cdot k \cdot \pi, \quad k \in \mathbb{Z}. \quad (24)$$

Цей розв'язок відповідає максимальному значенню кінетичної енергії формувального візка T_m .

Для роликової формувальної установки з параметрами приводного механізму [6, 7] $r = 0,2 \text{ м}$ та $l = 0,8 \text{ м}$ значення кута положення кривошипа, що відповідає максимальному значенню кінетичної енергії формувального візка, становить $\varphi_{\max} = \pm 1,344 \text{ рад} = \pm 77,01^\circ$.

Вираз (10) кінетичної енергії формувального візка, що відповідає значенню кута повороту кривошипа φ_{\max} , матиме вигляд:

$$T_m = \frac{1}{2} \cdot m \cdot \dot{\varphi}^2 \cdot r^2 \cdot \sin^2 \varphi_{\max} \cdot \left(1 + \frac{r}{l} \cdot \frac{\cos \varphi_{\max}}{\sqrt{1 - \frac{r^2}{l^2} \cdot \sin^2 \varphi_{\max}}} \right)^2. \quad (25)$$

Тоді з врахуванням виразів (10) та (25), прийнявши положення кривошипа 8 кутовою координатою $\varphi + \Delta \varphi_2 = \pi$ та симетричне розташування кривошипів 7 та 9 відносно горизонталі, рівність (2) можна представити у вигляді:

$$\frac{1}{2} \cdot m \cdot \dot{\varphi}^2 \cdot r^2 \cdot \sin^2 \frac{\Delta \varphi_1}{2} \cdot \left(1 + \frac{r}{l} \cdot \frac{\cos \frac{\Delta \varphi_1}{2}}{\sqrt{1 - \frac{r^2}{l^2} \cdot \sin^2 \frac{\Delta \varphi_1}{2}}} \right)^2 = \frac{3}{4} \cdot \frac{1}{2} \cdot m \cdot \dot{\varphi}^2 \cdot r^2 \cdot \sin^2 \varphi_{\max} \cdot \left(1 + \frac{r}{l} \cdot \frac{\cos \varphi_{\max}}{\sqrt{1 - \frac{r^2}{l^2} \cdot \sin^2 \varphi_{\max}}} \right)^2$$

або



$$\sin^2 \frac{\Delta\varphi_1}{2} \cdot \left(1 + \frac{r}{l} \cdot \frac{\cos \frac{\Delta\varphi_1}{2}}{\sqrt{1 - \frac{r^2}{l^2} \cdot \sin^2 \frac{\Delta\varphi_1}{2}}} \right)^2 = \frac{3}{4} \cdot \sin^2 \varphi_{\max} \cdot \left(1 + \frac{r}{l} \cdot \frac{\cos \varphi_{\max}}{\sqrt{1 - \frac{r^2}{l^2} \cdot \sin^2 \varphi_{\max}}} \right)^2. \quad (26)$$

Підставивши у вираз (26) $\varphi_{\max} = 1,344 \text{ рад} = 77,01^\circ$, отримуємо:

$$\sin^2 \frac{\Delta\varphi_1}{2} \cdot \left(1 + \frac{r}{l} \cdot \frac{\cos \frac{\Delta\varphi_1}{2}}{\sqrt{1 - \frac{r^2}{l^2} \cdot \sin^2 \frac{\Delta\varphi_1}{2}}} \right)^2 = 0,797. \quad (27)$$

Зробимо заміну $\cos \frac{\Delta\varphi_1}{2} = \sqrt{1 - \sin^2 \frac{\Delta\varphi_1}{2}}$. Тоді:

$$\sin^2 \frac{\Delta\varphi_1}{2} \cdot \left(1 + \frac{r}{l} \cdot \frac{\sqrt{1 - \sin^2 \frac{\Delta\varphi_1}{2}}}{\sqrt{1 - \frac{r^2}{l^2} \cdot \sin^2 \frac{\Delta\varphi_1}{2}}} \right)^2 = 0,797 \quad \text{або} \quad \frac{r}{l} \cdot \frac{\sqrt{1 - \sin^2 \frac{\Delta\varphi_1}{2}}}{\sqrt{1 - \frac{r^2}{l^2} \cdot \sin^2 \frac{\Delta\varphi_1}{2}}} = \frac{0,89275}{\sin \frac{\Delta\varphi_1}{2}} - 1. \quad (28)$$

Піднесемо до квадрату обидві частини другого рівняння (28):

$$\frac{r^2}{l^2} \cdot \frac{1 - \sin^2 \frac{\Delta\varphi_1}{2}}{1 - \frac{r^2}{l^2} \cdot \sin^2 \frac{\Delta\varphi_1}{2}} = \left(\frac{0,89275}{\sin \frac{\Delta\varphi_1}{2}} - 1 \right)^2. \quad (29)$$

У останньому виразі зробимо заміну $\sin \frac{\Delta\varphi_1}{2} = a$. Тоді

$$\frac{r^2}{l^2} \cdot \frac{1 - a^2}{1 - \frac{r^2}{l^2} \cdot a^2} = \left(\frac{0,89275}{a} - 1 \right)^2 \quad \text{або} \quad \frac{r^2}{l^2} \cdot \frac{1 - a^2}{1 - \frac{r^2}{l^2} \cdot a^2} = \frac{0,797}{a^2} - \frac{1,7855}{a} + 1. \quad (30)$$

Помножимо ліву та праву частини рівності (30) на $\left(1 - \frac{r^2}{l^2} \cdot a^2 \right)$. Після чого отримаємо:

$$\frac{r^2}{l^2} \cdot (1 - a^2) = \left(\frac{0,797}{a^2} - \frac{1,7855}{a} + 1 \right) \cdot \left(1 - \frac{r^2}{l^2} \cdot a^2 \right). \quad (31)$$

Розкриємо дужки у рівності (31). Тоді отримаємо:

$$\frac{r^2}{l^2} - \frac{r^2}{l^2} \cdot a^2 = \frac{0,797}{a^2} - \frac{1,7855}{a} + 1 - 0,797 \cdot \frac{r^2}{l^2} + 1,7855 \cdot \frac{r^2}{l^2} \cdot a - \frac{r^2}{l^2} \cdot a^2 \quad (32)$$

або

$$\frac{0,797}{a^2} - \frac{1,7855}{a} + 1 - 1,797 \cdot \frac{r^2}{l^2} + 1,7855 \cdot \frac{r^2}{l^2} \cdot a = 0. \quad (33)$$

Домноживши ліву та праву частини рівняння (33) на $a^2 \cdot \frac{l^2}{r^2}$, отримаємо:

$$1,7855 \cdot a^3 + \frac{l^2}{r^2} \cdot a^2 - 1,797 \cdot a^2 - 1,7855 \cdot \frac{l^2}{r^2} \cdot a + 0,797 \cdot \frac{l^2}{r^2} = 0. \quad (34)$$

Підставивши у вираз (34) значення параметрів приводного механізму $r = 0,2 \text{ м}$ та $l = 0,8 \text{ м}$, отримаємо:

$$1,7855 \cdot a^3 + 14,203 \cdot a^2 - 28,568 \cdot a + 12,928 = 0. \quad (35)$$

В результаті розв'язку кубічного рівняння (35) отримаємо три корені:

$$a_1 = 0,8707; \quad a_2 = 0,8587; \quad a_3 = -9,6840. \quad (36)$$

Оскільки $|\sin \varphi| \leq 1$, то третій корінь (36) не приймаємо до уваги. Після цього визначаємо значення кута $\Delta\varphi_1$:

$$\sin \frac{\Delta\varphi_{11}}{2} = a_1 \Rightarrow \frac{\Delta\varphi_{11}}{2} = \arcsin a_1 \Rightarrow \Delta\varphi_{11} = 2 \cdot \arcsin a_1 = 2 \cdot \arcsin 0,8707 = 121,08^\circ; \quad (37)$$

$$\sin \frac{\Delta\varphi_{12}}{2} = a_2 \Rightarrow \frac{\Delta\varphi_{12}}{2} = \arcsin a_2 \Rightarrow \Delta\varphi_{12} = 2 \cdot \arcsin a_2 = 2 \cdot \arcsin 0,8587 = 118,34^\circ.$$

Оскільки значення кутів $\Delta\varphi_{11}$ та $\Delta\varphi_{12}$ майже рівні між собою, прийmemo їх середнє значення для кута зміщення кривошипів $\Delta\varphi_1 = 120^\circ = \frac{2}{3} \cdot \pi$. Тоді значення кута $\Delta\varphi_2$ визначатиметься залежністю:

$$\Delta\varphi_2 = \frac{2 \cdot \pi - \Delta\varphi_1}{2} = \pi - \frac{\Delta\varphi_1}{2} = \pi - \frac{1}{3} \cdot \pi = \frac{2}{3} \cdot \pi = 120^\circ. \quad (37)$$

З отриманих результатів видно, що значення кут $\Delta\varphi_1$ та $\Delta\varphi_2$ рівні між собою. Тоді можна прийняти $\Delta\varphi_1 = \Delta\varphi_2 = \Delta\varphi = 120^\circ$.

Згідно результатів проведеного дослідження було розроблено конструкцію роликів формувальної установки для ущільнення виробів з бетонних сумішей [8], що складається з нерухомого порталу та трьох формувальних візків, які виконані з можливістю приведення в зворотно-поступальний рух від спільного приводу з трьома кривошипно-повзунними механізмами, кривошипи яких жорстко закріплені на одному приводному валу і зміщені один відносно одного на кут $\Delta\varphi = 120^\circ$. Всі формувальні пристрої розташовані паралельно між собою з одного боку приводного валу для забезпечення ущільнення бетонної суміші на одній технологічній лінії. При застосуванні спільного енергетично врівноваженого приводу на три формувальні візки підвищується продуктивність установки, зменшуються динамічні навантаження в елементах її приводного механізму, зменшуються зайві руйнівні навантаження на рамну конструкцію і, відповідно, підвищується довговічність установки в цілому.

На рис. 2 зображено загальний вигляд роликів формувальної установки з енергетично врівноваженим приводом для трьох формувальних візків (вигляд з боку) та її кінематичну схему. Установка складається з трьох однакових формувальних візків 1, 2 та 3, що розміщені з одного боку від приводу. Кожний з візків через шатуни 4, 5 та 6 шарнірно рухомо з'єднано з кривошипами 7, 8 та 9, які жорстко закріплені на приводному валу 10 та зміщені один відносно другого на кут $\Delta\varphi = 120^\circ$. Формувальні візки 1, 2 та 3 змонтовані на спільному порталі

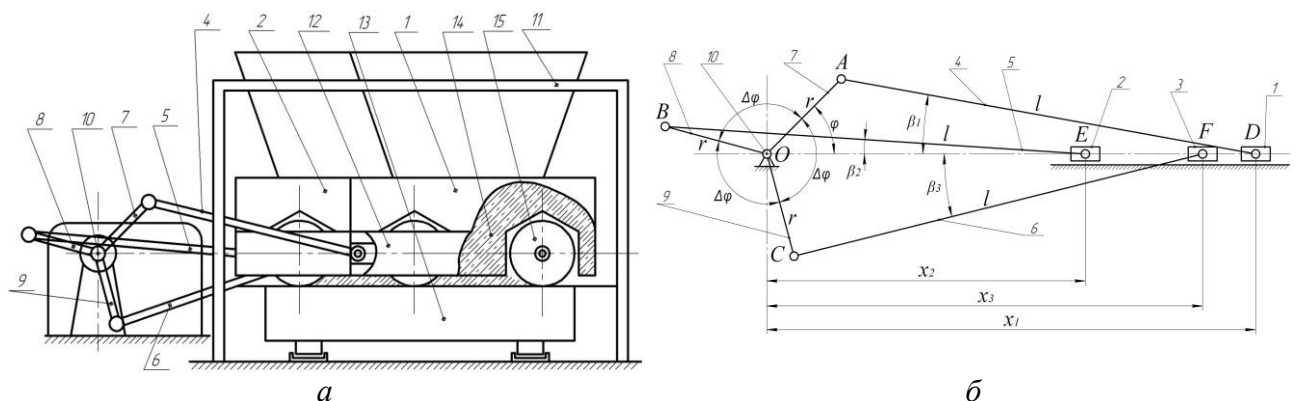


Рисунок 2. Роликів формувальна установка з енергетично врівноваженим приводом (а) та її кінематична схема (б).



11, на якому змонтовані напрямні руху 12, у яких здійснюють зворотно-поступальний рух вищезгадані формувальні візки над порожниною форми 13. Формувальні візки 1, 2 та 3 мають подавальний бункер 14 та укочувальні ролики 15, які встановлені в напрямних руху 12.

Висновки

1. В результаті проведених досліджень визначено оптимальне значення кута зміщення кривошипів енергетично врівноваженого приводу на три формувальні візки роликової формувальної установки. В якості критерію оптимальності використано функції зміни кінетичної енергії кожного з формувальних візків та сумарної кінетичної енергії всієї установки.

2. Розроблено конструкцію роликової формувальної установки з енергетично врівноваженим приводом на три формувальні візки.

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

Література

1. Гарнець В.М. Прогресивні бетоноформуючі агрегати і комплекси. / В.М. Гарнець – К.: Будівельник, 1991. – 144 с.
2. Гарнец В.Н. Исследование процесса роликового формования бетона / В.Н. Гарнец, В.Т. Рюшин // Реология бетонных смесей и ее технологические задачи. – Рига, 1979. – С. 218, 219.
3. Гарнец В.Н. Роликовый метод формования бетонных изделий / В.Н. Гарнец, В.Т. Рюшин, А.А. Коврыжников // Горные, строительные и дорожные машины. – 1980. – № 30. – С. 67–69.
4. Кузин В.Н. Технология роликового формования плоских изделий из мелкозернистых бетонов : Автореф. дис. на соискание уч. степени канд. техн. наук.: спец. 05.05.04 “Дорожные и строительные машины” / В.Н. Кузин – Москва, 1981. – 20 с.
5. Рюшин В.Т. Исследование рабочего процесса и разработка методики расчета машин роликового формования бетонных смесей: спец. 05.05.04 “Дорожные и строительные машины”. / В.Т. Рюшин. – Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. – К. – 1986.
6. Почка К.І. Розробка та аналіз роликової формувальної установки з рекупераційним приводом: Автореф. дис. канд. наук. / К.І. Почка. – К.: КНУБА. – 2008. – 24 с.
7. Ловейкін В.С. Оптимізація конструктивних параметрів приводного механізму роликової формувальної установки з рекупераційним приводом / В.С. Ловейкін, Д.А. Паламарчук, К.І. Почка // Науково-технічний журнал «Техніка будівництва». – № 15. – 2004 р. – С. 40-48.
8. Патент 50032 U Україна, МКВ В28В13/00 / Установка для формирования виробів з бетонних сумішей / Ловейкін В.С., Почка К.І. – № u 200911443 заявл. 10.11.2009; опубл. 25.05.2010, Бюл. № 10.