



УДК 693.546

СИЛОВИЙ АНАЛІЗ РОЛИКОВОЇ ФОРМУВАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ З ЕНЕРГЕТИЧНО ВРІВНОВАЖЕНИМ ПРИВОДОМ

Ловейкін В.С., д.т.н.,

Ковбаса В.П., д.т.н.,

*Національний університет біоресурсів і природокористування
України,*

Почка К.І., к.т.н.

Київський національний університет будівництва і архітектури

Тел.: (044) 527-88-95

Анотація - у статті запропонована конструкція роликової формувальної установки з енергетично врівноваженим приводом для трьох формувальних візків, що дозволяє зменшити енергетичні витрати та розвантажити приводний вал кривошипів.

Ключові слова - роликова формувальна установка, енергетично врівноважений привод, кривошип, формування залізобетонних виробів.

Постановка проблеми. В існуючих установках поверхневого ущільнення залізобетонних виробів використовується кривошипно-повзунний або гідравлічний привод зворотно-поступального руху формувального візка з укочувальними роликами [1-3]. 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.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В існуючих теоретичних та експериментальних дослідженнях машин роликового формування залізобетонних виробів обґрунтовано їхні конструктивні параметри та продуктивність [1-3]. Разом з тим недостатньо уваги приділено дослідженню діючим динамічним навантаженням [4, 5] та режимам руху, що в значній мірі впливає на роботу установки та на якість готової продукції.

Метою даної роботи є удосконалення конструкції приводного механізму роликової формувальної установки для підвищення її продуктивності роботи з одночасним зниженням енерговитрат на забез-

печення технологічного процесу та розвантаження приводу установки, що в свою чергу підвищує її надійність та довговічність.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для досягнення поставленої мети було розроблено конструкцію роликової формувальної установки [6], 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. 1 зображено загальний вигляд роликової формувальної установки з енергетично врівноваженим приводом для трьох формувальних візків (вигляд з боку), а на рис. 2 наведено 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 11 (рис. 1). На порталі 11 є 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 уковувальні ролики 15, які встановлені в напрямних руху 12.

Для проведення силового аналізу запропонованої формувальної установки визначено [4] функції зміни лінійних швидкостей центрів мас візків 1, 2 та 3 при постійній кутовій швидкості кривошипу ($\dot{\varphi} = \omega = \text{const}$):

$$\dot{x}_1 = \dot{\varphi} \cdot \frac{\partial x_1}{\partial \varphi}; \quad \dot{x}_2 = \dot{\varphi} \cdot \frac{\partial x_2}{\partial \varphi}; \quad \dot{x}_3 = \dot{\varphi} \cdot \frac{\partial x_3}{\partial \varphi}, \quad (1)$$

де $\frac{\partial x_1}{\partial \varphi}$, $\frac{\partial x_2}{\partial \varphi}$, $\frac{\partial x_3}{\partial \varphi}$ – перші передаточні функції центрів мас візків 1, 2 та 3.

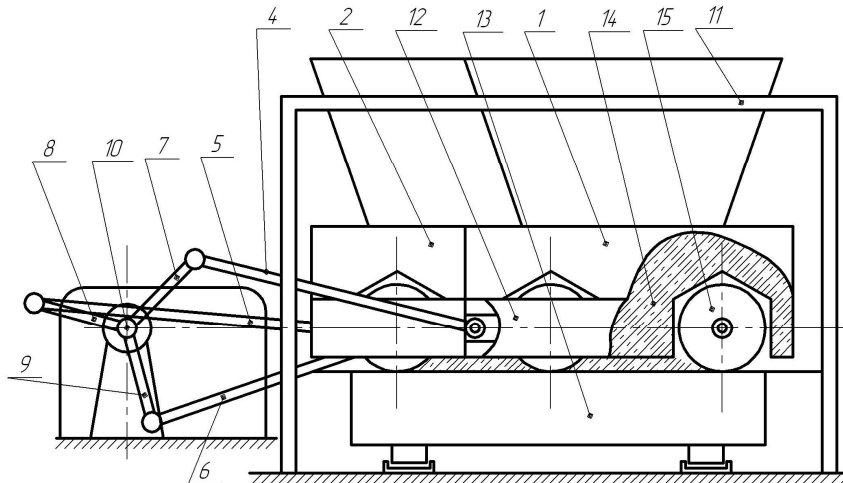


Рис. 1. Роликова формувальна установка з енергетично врівноваженим приводом для трьох формувальних візків.

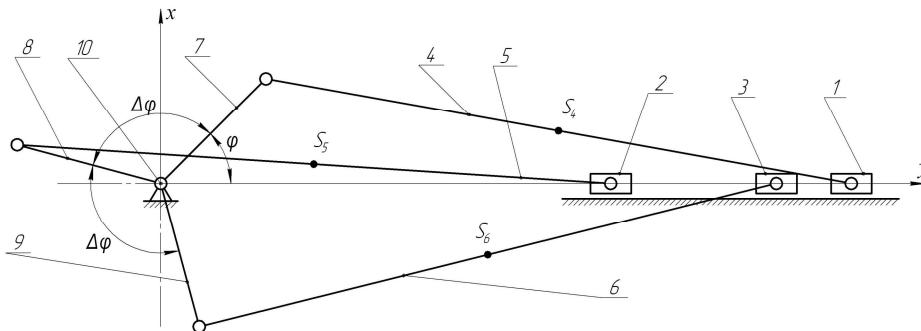


Рис. 2. Кінематична схема роликової формувальної установки з енергетично врівноваженим приводом для трьох формувальних візків.

Перші передаточні функції центрів мас формувальних візків 1, 2 та 3 визначаються наступним чином:

$$\begin{aligned} \frac{\partial x_1}{\partial \varphi} &= -r \cdot \sin \varphi \cdot \left(1 + \frac{r}{l} \cdot \frac{\cos \varphi}{\sqrt{1 - r^2/l^2 \cdot \sin^2 \varphi}} \right); \\ \frac{\partial x_2}{\partial \varphi} &= -r \cdot \sin(\varphi + \Delta\varphi) \cdot \left(1 + \frac{r}{l} \cdot \frac{\cos(\varphi + \Delta\varphi)}{\sqrt{1 - r^2/l^2 \cdot \sin^2(\varphi + \Delta\varphi)}} \right); \\ \frac{\partial x_3}{\partial \varphi} &= -r \cdot \sin(\varphi + 2\Delta\varphi) \cdot \left(1 + \frac{r}{l} \cdot \frac{\cos(\varphi + 2\Delta\varphi)}{\sqrt{1 - r^2/l^2 \cdot \sin^2(\varphi + 2\Delta\varphi)}} \right), \end{aligned} \quad (2)$$

де r – радіус кривошипів;
 l – довжина шатунів;
 φ – кутова координата положення кривошипа;
 $\Delta\varphi = 120^\circ$ – кут зміщення кривошипів 7, 8 та 9 між собою.

Функції зміни лінійних прискорень центрів мас формувальних візків 1, 2 та 3 визначаються залежностями:

$$\ddot{x}_1 = \dot{\varphi}^2 \cdot \frac{\partial^2 x_1}{\partial \varphi^2}; \quad \ddot{x}_2 = \dot{\varphi}^2 \cdot \frac{\partial^2 x_2}{\partial \varphi^2}; \quad \ddot{x}_3 = \dot{\varphi}^2 \cdot \frac{\partial^2 x_3}{\partial \varphi^2}, \quad (3)$$

де $\frac{\partial^2 x_1}{\partial \varphi^2}$, $\frac{\partial^2 x_2}{\partial \varphi^2}$, $\frac{\partial^2 x_3}{\partial \varphi^2}$ – другі передаточні функції центрів мас візків 1, 2 та 3, які визначаються наступним чином [5]:

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 x_1}{\partial \varphi^2} &= r \cdot \left(-\cos \varphi - \frac{r}{l} \cdot \sin^2 \varphi \cdot \left(\frac{\frac{r^2}{l^2} \cdot \frac{\cos^2 \varphi}{\left(1 - \frac{r^2}{l^2} \cdot \sin^2 \varphi\right)^{-1}} - 1}{\sqrt{1 - \frac{r^2}{l^2} \cdot \sin^2 \varphi}} \right) - \frac{r}{l} \cdot \frac{\cos^2 \varphi}{\sqrt{1 - \frac{r^2}{l^2} \cdot \sin^2 \varphi}} \right); \\ \frac{\partial^2 x_2}{\partial \varphi^2} &= r \cdot \left(-\cos(\varphi + \Delta\varphi) - \frac{r}{l} \cdot \sin^2(\varphi + \Delta\varphi) \cdot \left(\frac{\frac{r^2}{l^2} \cdot \frac{\cos^2(\varphi + \Delta\varphi)}{\left(1 - \frac{r^2}{l^2} \cdot \sin^2(\varphi + \Delta\varphi)\right)^{-1}} - 1}{\sqrt{1 - \frac{r^2}{l^2} \cdot \sin^2(\varphi + \Delta\varphi)}} \right) - \right. \\ &\quad \left. - \frac{r}{l} \cdot \frac{\cos^2(\varphi + \Delta\varphi)}{\sqrt{1 - \frac{r^2}{l^2} \cdot \sin^2(\varphi + \Delta\varphi)}} \right); \\ \frac{\partial^2 x_3}{\partial \varphi^2} &= r \cdot \left(-\cos(\varphi + 2\Delta\varphi) - \frac{r}{l} \cdot \sin^2(\varphi + 2\Delta\varphi) \cdot \left(\frac{\frac{r^2}{l^2} \cdot \frac{\cos^2(\varphi + 2\Delta\varphi)}{\left(1 - \frac{r^2}{l^2} \cdot \sin^2(\varphi + 2\Delta\varphi)\right)^{-1}} - 1}{\sqrt{1 - \frac{r^2}{l^2} \cdot \sin^2(\varphi + 2\Delta\varphi)}} \right) - \right. \\ &\quad \left. - \frac{r}{l} \cdot \frac{\cos^2(\varphi + 2\Delta\varphi)}{\sqrt{1 - \frac{r^2}{l^2} \cdot \sin^2(\varphi + 2\Delta\varphi)}} \right). \quad (4) \end{aligned}$$

Для визначення силових характеристик роlikової установки для формування залізобетонних виробів шляхом інженерного розрахунку, що наведений в [3], визначено зусилля, яке необхідне на переміщення формувального візка, що дорівнює $F_B=3562\text{Н}$ при використанні наступних вихідних даних: розміри виробу, що формується: висота плити – $h_0=0,22\text{ м}$, ширина виробу – $B=1,164\text{ м}$; тип суміші, що ущільнюється – дрібнозерниста суміш; вологість бетонної суміші – $W=10\%$; потрібна щільність виробу – $k_{\text{ущ}}=0,98$; величина максимального контактного тиску, що забезпечує $k_{\text{ущ}}=0,98$ при $W=10\%$, за експериментальними даними $q=625\text{ кПа}$.

З умови рівності миттєвої потужності на переміщення формувального візка та необхідної потужності на приводному валу кривошипа отримано залежність для визначення необхідного обертового моменту на приводному валу кривошипа

$$M_{\text{кр}} = \frac{F_B}{\eta} \cdot \frac{\partial x}{\partial \varphi}, \quad (5)$$

де $\partial x/\partial \varphi$ – перша передаточна функція формувального візка;
 η – ККД передаточного механізму від кривошипа до формувального візка.

Отримана залежність (5) використовується для визначення необхідного обертового моменту для установки з одним формувальним візком. Для нашої ж установки з єдиним енергетично врівноваженим приводом для трьох формувальних візків необхідний обертовий момент на приводному валу буде визначатися за наступним виразом

$$M_{кр} = M_{кр1} + M_{кр2} + M_{кр3}, \quad (6)$$

де $M_{кр1}$, $M_{кр2}$, $M_{кр3}$ – необхідні крутні моменти на приводному валу кривошипів 7, 8 та 9 відповідно першого, другого та третього візків, які в свою чергу визначаються так:

$$M_{кр1} = \frac{F_B}{\eta} \cdot \frac{\partial x_1}{\partial \varphi}; \quad M_{кр2} = \frac{F_B}{\eta} \cdot \frac{\partial x_2}{\partial \varphi}; \quad M_{кр3} = \frac{F_B}{\eta} \cdot \frac{\partial x_3}{\partial \varphi}. \quad (7)$$

Для формувальної установки з параметрами: $r=0,2\text{м}$; $l=1,0\text{м}$; $\omega=10,5\text{рад/с}$; $\eta=0,9$; $F_B=3562\text{Н}$ визначено функції зміни та побудовано графіки зміни моментів статичного опору переміщенню першого – 1, другого – 2, третього – 3 візків та їхнього сумарного значення – 4 при значенні кутів зміщення кривошипів $\Delta\varphi=120^\circ$ (рис. 3). Аналіз цих графіків показує, що значення моменту статичного опору переміщенню кожного з трьох візків змінюється в межах від 0 до $726,4\text{ Н}\cdot\text{м}$, а значення сумарного моменту статичного опору – в межах від $M_{крmin}=1108,63\text{ Н}\cdot\text{м}$ до $M_{крmax}=1453,05\text{ Н}\cdot\text{м}$. При цьому середнє значення сумарного моменту статичного опору становить $M_{крсер}=1360,55\text{ Н}\cdot\text{м}$.

Під час руху формувальних візків на них також діють сили інерції, моменти від яких визначаються відповідними залежностями для кожного з трьох візків:

$$M_{i1} = m \cdot \ddot{x}_1 \cdot \frac{\partial x_1}{\partial \varphi}; \quad M_{i2} = m \cdot \ddot{x}_2 \cdot \frac{\partial x_2}{\partial \varphi}; \quad M_{i3} = m \cdot \ddot{x}_3 \cdot \frac{\partial x_3}{\partial \varphi}. \quad (8)$$

Тоді момент сил інерції всієї установки в процесі формування визначається залежністю

$$M_i = M_{i1} + M_{i2} + M_{i3}. \quad (9)$$

Для формувальної установки з наведеними вище параметрами визначено функції та побудовано графіки зміни моментів сил інерції першого – 1, другого – 2, третього – 3 візків та їхнього сумарного значення – 4 при значенні кутів зміщення кривошипів $\Delta\varphi=120^\circ$ (рис. 4). Аналіз цих графіків показує, що значення моменту від сил інерції кожного з трьох візків змінюється в межах від $-2577,3\text{ Н}\cdot\text{м}$ до $2577,3\text{ Н}\cdot\text{м}$, а значення сумарного моменту від сил інерції – $M_{инmin}=-681,64\text{ Н}\cdot\text{м}$ до $M_{инmax}=681,64\text{ Н}\cdot\text{м}$. При цьому середнє значення сумарного моменту від сил інерції становить $M_{инсер}=0\text{ Н}\cdot\text{м}$. Це явище дає змогу значно роз-

вантажити приводний вал кривошипів установки і покращити роботу установки в цілому.

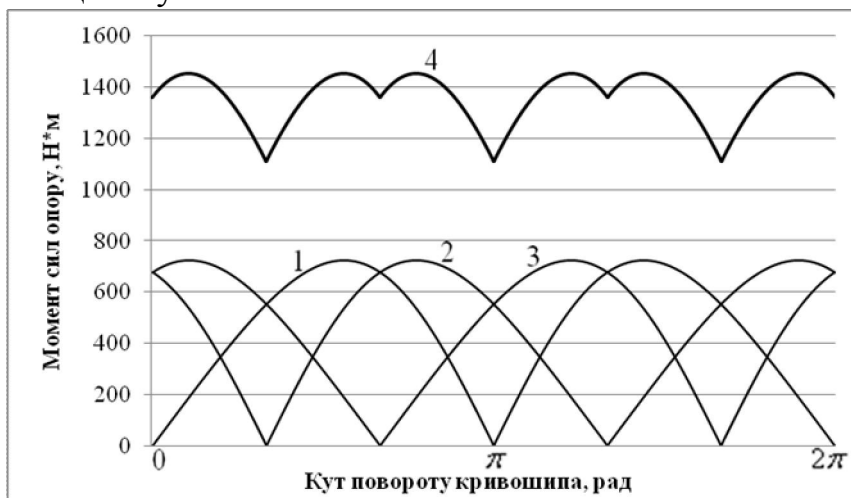


Рис. 3. Графіки зміни моментів статичного опору на приводному валу установки: 1, 2, 3 – моменти статичного опору першого, другого та третього візків відповідно; 5 – сумарний момент статичного опору.



Рис. 4. Графіки зміни моментів сил інерції установки: 1, 2, 3, 4 – моменти сил інерції першого, другого та третього візків відповідно; 5 – сумарний момент сил інерції.

Отже, під час процесу формування загальний опір переміщенню формувального візка визначається відповідною залежністю для кожного з трьох візків:

$$\begin{aligned}
 M_{on1} &= M_{кр1} + M_{i1} ; \\
 M_{on2} &= M_{кр2} + M_{i2} ; \\
 M_{on3} &= M_{кр3} + M_{i3} .
 \end{aligned}
 \tag{10}$$

Тоді загальний момент опору переміщенню формувальних візків установки під час процесу формування визначатися залежністю

$$M_{on} = M_{on1} + M_{on2} + M_{on3} .
 \tag{11}$$

Для формувальної установки з наведеними вище параметрами визначено функції зміни та побудовано графіки зміни загальних моментів опору переміщенню першого – 1, другого – 2, третього – 3 формувальних візків та їхнього сумарного значення – 4 при значенні кутів зміщення кривошипів $\Delta\varphi=120^\circ$ (рис. 5). Аналіз цих графіків показує, що значення загального моменту опору переміщенню кожного з трьох візків змінюється в межах від $-1950 \text{ Н}\cdot\text{м}$ до $3222,8 \text{ Н}\cdot\text{м}$, а значення сумарного загального моменту опору – $M_{\text{оттmin}}=-735,2 \text{ Н}\cdot\text{м}$ до $M_{\text{оттmax}}=2112,4 \text{ Н}\cdot\text{м}$. При цьому середнє значення сумарного загального моменту опору становить $M_{\text{оттсер}}=1360,55 \text{ Н}\cdot\text{м}$, тобто таке значення, як і моменту статичного опору.

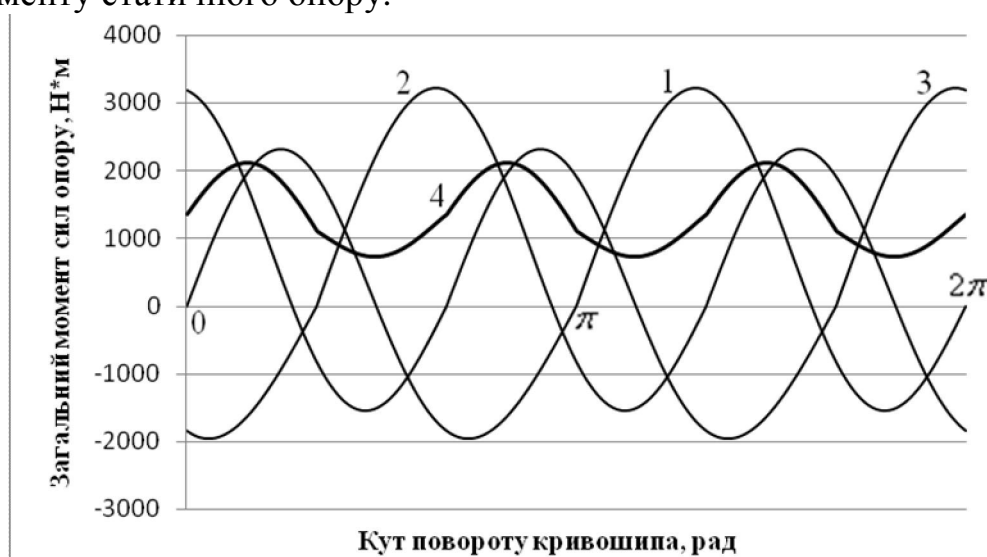


Рис. 5. Графіки зміни загального моменту опору установки: 1, 2, 3, 4 – загальні моменти опору першого, другого та третього візків відповідно; 5 – сумарний момент загального опору.

Висновки. Таким чином, запропонована конструкція роликової формувальної установки з енергетично врівноваженим приводом для трьох формувальних візків дозволяє значно зменшити енергетичні витрати, покращити динамічний режим руху всієї установки та розвантажити приводний вал кривошипів при одночасному підвищенні продуктивності. Встановлено, що моменти від сил інерції елементів установки впливають лише на рух відповідного візка, а на роботу установки в цілому впливають лише моменти статичного опору переміщенню формувальних візків.

Література.

1. Гарнець В.М. Прогресивні бетоноформуєчі агрегати і комплекси / В.М. Гарнець. – К.: Будівельник, 1991. – 144 с.
2. Кузин В.Н. Технология роликового формования плоских изделий из мелкозернистых бетонов: Автореф. дис. канд. наук. – М. – 1981. – 20 с.

3. *Рюшин В.Т.* Исследование рабочего процесса и разработка методики расчета машин роликового формования бетонных смесей. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. К. – 1986г.
4. *Ловейкін В.С.* Динамічний аналіз роликової формувальної установки з рекупераційним приводом / *В.С. Ловейкін, К.І. Почка* // Динаміка, міцність і надійність сільськогосподарських машин: Пр. I-ї Міжнародної науково-технічної конференції (DSR AM - I), 4-7 жовтня 2004 р., Тернопіль (Україна) – С. 507-514.
5. *Ловейкін В.С.* Силовий аналіз роликової формувальної установки з рекупераційним приводом / *В.С. Ловейкін, К.І. Почка* // Техніка будівництва, Київ – 2003. – Вип. 14 – С. 27-37.
6. Пат. 50032 У Україна, МКВ В28В13/00 / Установка для формування виробів з бетонних сумішей / *Ловейкін В.С., Почка К.І.*; заявник та власник Київський національний університет будівництва і архітектури – № у 200911443 заявл. 10.11.2009; опубл. 25.05.2010, Бюл. № 10.

СИЛОВОЙ АНАЛИЗ РОЛИКОВОЙ ФОРМИРОВОЧНОЙ УСТАНОВКИ С ЭНЕРГЕТИЧЕСКИ УРАВНОВЕШЕННЫМ ПРИВОДОМ

Ловейкин В.С., Ковбаса В.П., Почка К.И.

Аннотация – в статье предложена конструкция роликовой формировочной установки с энергетически уравновешенным приводом для трех формировочных тележек, что позволяет снизить энергетические затраты и разгрузить приводной вал кривошипов.

POWER ANALYSIS OF ROLLER SYSTEMS FOR FORMING REINFORCED CONCRETE PRODUCTS WITH ENERGY-BALANCED DRIVE

V. Loveikin, V. Kovbasa, K. Pochka

Summary

In this paper construction is proposed a roller installation for forming reinforced concrete blocks with energy-balanced actuator for the three carriages that can reduce energy costs and relieve the drive shaft of a crooked-spikes.