

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ РЕЖИМІВ РУХУ РОЛИКОВОЇ ФОРМУВАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ З РЕКУПЕРАЦІЙНИМ ПРИВОДОМ

Основною перевіркою вірності теоретичних досліджень є проведення експериментальних досліджень з наступним порівняльним аналізом результатів отриманих в процесі теоретичних і експериментальних досліджень. В наш час створення натурної роlikової формувальної установки з рекупераційним приводом для проведення експериментальних досліджень привело б до значної затрати часу та енергії.

Використовуючи теорему подібності та фізичне моделювання [1], було визначено умови подібності для роlikової формувальної установки з рекупераційним приводом, а також визначені коефіцієнти подібності. На основі цих даних та спираючись на передбачені задачі досліджень було розроблено фізичну модель роlikової формувальної установки з рекупераційним приводом, що дозволяє провести повноцінні експериментальні дослідження з врахуванням всіх чинних факторів впливу на динаміку руху формувальних візків. Розроблена фізична модель (рис. 1) складається із приводного механізму, що забезпечує необхідний режим руху роlikової формувальної установки з рекупераційним приводом та двох формувальних візків.



Рис. 1. Фізична модель роlikової формувальної установки з рекупераційним приводом

Відповідно плану експериментальних досліджень проводилось вимірювання кутової швидкості обертання привідного вала, зусилля в шатунах, вертикальної сили взаємодії уковуючого ролика з бетонною сумішшю, сили струму на двигуні та потужності, що необхідна на процес формування. Ці параметри вимірювались спочатку в холостому режимі для установки з одним формувальним візком. Для цього – другий формувальний візок разом із шатуном був від'єднаний від кривошипа. Після цього вимірювання цих же параметрів у холостому режимі проводилось для установки з двома формувальними візками. В робочому режимі вимірювання здійснювалось аналогічно: окремо для установки з одним формувальним візком та окремо для установки з двома формувальними візками. Разом із

значенням кутової швидкості обертання привідного вала відбувався запис часу, що дало змогу потім визначити характер зміни кутового прискорення привідного вала.

На рис. 2 зображено графіки зміни кутової швидкості привідного вала в холостому режимі установки з одним формувальним візком (1) та установки з двома формувальними візками (2) в залежності від кута його повороту.



Рис. 2. Графіки зміни кутової швидкості привідного вала установки в холостому режимі з одним формувальним візком (1) та з двома візками (2)

Кутова швидкість привідного вала установки з одним формувальним візком в холостому режимі змінюється в межах від $\omega_{\min} = 2,8 \text{ рад/с}$ до $\omega_{\max} = 4,6 \text{ рад/с}$. При цьому її середнє значення [2] становить

$$\omega_{\text{сеп}} = \frac{\omega_{\max} + \omega_{\min}}{2} = \frac{2,8 + 4,6}{2} = 3,7 \text{ рад/с}. \quad (1)$$

Коефіцієнт нерівномірності руху [2]

$$\delta = \frac{\omega_{\max} - \omega_{\min}}{\omega_{\text{сеп}}} = \frac{4,6 - 2,8}{3,7} = 0,486. \quad (2)$$

Для установки з двома формувальними візками кутова швидкість привідного вала в холостому режимі змінюється в межах від $\omega_{\min} = 3,32 \text{ рад/с}$ до $\omega_{\max} = 4,08 \text{ рад/с}$. При цьому її середнє значення становить $\omega_{\text{сеп}} = 3,7 \text{ рад/с}$. Коефіцієнт нерівномірності руху $\delta = 0,205$.

При зміні значення кутової швидкості буде змінювати своє значення і кутове прискорення, що визначається залежністю [2]

$$\varepsilon_i = \frac{\omega_{i+1} - \omega_i}{t_{i+1} - t_i}, \quad (3)$$

де ω_i , ω_{i+1} , t_i , t_{i+1} – відповідно значення кутової швидкості привідного вала та часу руху в положеннях i та $i+1$.

За допомогою залежності (3) побудовано графіки зміни кутового прискорення привідного вала (рис. 3) в холостому режимі установки з одним формувальним візком (1) та з двома формувальними візками (2) в залежності від кута його повороту.

Для установки з одним формувальним візком кутове прискорення привідного вала в холостому режимі змінюється в межах від $\varepsilon_{\min} = -4,09 \text{ рад/с}^2$ до $\varepsilon_{\max} = 4,886 \text{ рад/с}^2$.



Рис. 3. Графіки зміни кутового прискорення привідного вала установки в холостому режимі з одним формувальним візком (1) та з двома візками (2)

При цьому коефіцієнт динамічності руху дорівнює [2]

$$H = \frac{|\varepsilon_{\max}|}{\omega_{\text{сеп}}^2} = \frac{4,886}{3,7^2} = 0,355. \quad (4)$$

Для сумарної оцінки технологічних і динамічних властивостей формувальної установки використаємо узагальнений коефіцієнт оцінки руху [3]

$$k_p = \frac{(\omega_{\max} - \omega_{\min})^2}{\omega_{\text{сеп}}^2} + \frac{|\varepsilon_{\max}|}{\omega_{\text{сеп}}^2} = \frac{(4,6 - 2,8)^2}{3,7^2} + \frac{4,886}{3,7^2} = 0,592. \quad (5)$$

Для установки з двома формувальними візками кутове прискорення привідного вала в холостому режимі змінюється в межах від $\varepsilon_{\min} = -1,632 \text{ рад/с}^2$ до $\varepsilon_{\max} = 1,685 \text{ рад/с}^2$. При цьому коефіцієнт динамічності руху дорівнює $H = 0,123$, а узагальнений коефіцієнт оцінки руху становить $k_p = 0,165$.

На рис. 4 зображено графіки зміни кутової швидкості привідного вала в робочому режимі установки з одним формувальним візком (1) та установки з двома формувальними візками (2) в залежності від кута його повороту.

Кутова швидкість привідного вала установки з одним формувальним візком в робочому режимі змінюється в межах від $\omega_{\min} = 2,92 \text{ рад/с}$ до $\omega_{\max} = 4,48 \text{ рад/с}$. При цьому її середнє значення становить $\omega_{\text{сеп}} = 3,7 \text{ рад/с}$. Коефіцієнт нерівномірності руху $\delta = 0,42$.

Для установки з двома формувальними візками кутова швидкість привідного вала в робочому режимі змінюється в межах від $\omega_{\min} = 3,37 \text{ рад/с}$ до $\omega_{\max} = 4,03 \text{ рад/с}$. При цьому її середнє значення становить $\omega_{\text{сеп}} = 3,7 \text{ рад/с}$. Коефіцієнт нерівномірності руху $\delta = 0,161$.

За допомогою залежності (3) побудовано графіки зміни кутового прискорення привідного вала (рис. 5) в робочому режимі установки з одним формувальним візком (1) та з двома формувальними візками (2) в залежності від кута його повороту.

Для установки з одним формувальним візком кутове прискорення привідного вала в робочому режимі змінюється в межах від $\varepsilon_{\min} = -4,18 \text{ рад/с}^2$ до $\varepsilon_{\max} = 4,07 \text{ рад/с}^2$. При цьому коефіцієнт динамічності руху дорівнює $H = 0,297$, а узагальнений коефіцієнт оцінки руху становить $k_p = 0,47$.



Рис. 4. Графіки зміни кутової швидкості привідного вала установки в робочому режимі з одним формувальним візком (1) та з двома візками (2)



Рис. 5. Графіки зміни кутового прискорення привідного вала установки в робочому режимі з одним формувальним візком (1) та з двома візками (2)

Для установки з двома формувальними візками кутове прискорення привідного вала в робочому режимі змінюється в межах від $\varepsilon_{min} = -1,14 \text{ рад/с}^2$ до $\varepsilon_{max} = 1,17 \text{ рад/с}^2$. При цьому коефіцієнт динамічності руху дорівнює $H = 0,085$, а узагальнений коефіцієнт оцінки руху становить $k_p = 0,11$.

Аналізуючи графіки на рис. 2 та 4, можна побачити, що кутова швидкість в робочому режимі для установки з одним формувальним візком та установки з двома формувальними візками має менші межі зміни в порівнянні з холостим режимом. Причому середнє значення кутової швидкості при різних видах навантаження залишається незмінним, а коефіцієнт нерівномірності руху в установці з двома формувальними візками менший у 2,6 рази в порівнянні з установкою з одним формувальним візком.

Проаналізувавши графіки на рис. 3 та 5, можна побачити, що межі зміни кутового прискорення привідного вала для установки з двома формувальними візками значно менші в порівнянні з установкою з одним формувальним візком. Значення коефіцієнта динамічності для установки з двома формувальними візками у 3,5 рази менше в порівнянні з установкою з одним формувальним візком, а значення узагальненого коефіцієнта оцінки руху – у 4,3 рази.

Результати експериментальних досліджень режимів руху роlikової формувальної установки наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Режим	ω_{min} , рад/с	ω_{max} , рад/с	$\omega_{сер}$, рад/с	ε_{min} , рад/с ²	ε_{max} , рад/с ²	δ	H	k_p
ХР1	2,8	4,6	3,7	-4,09	4,886	0,486	0,355	0,592
ХР2	3,32	4,08	3,7	-1,632	1,685	0,205	0,123	0,165
РР1	2,92	4,48	3,7	-4,18	4,07	0,42	0,297	0,47
РР2	3,37	4,03	3,7	-1,14	1,17	0,161	0,085	0,11

Примітка. ХР1, ХР2 – холостий режим установки з одним та з двома формувальним візками відповідно; РР1, РР2 – робочий режим установки з одним та з двома формувальним візками відповідно.

На основі даних табл. 1 побудовано графіки зміни коефіцієнта нерівномірності руху (КНР), коефіцієнта динамічності руху (КДР) та узагальненого коефіцієнта оцінки руху (УКОР) в залежності від виду навантаження установки (рис. 6).

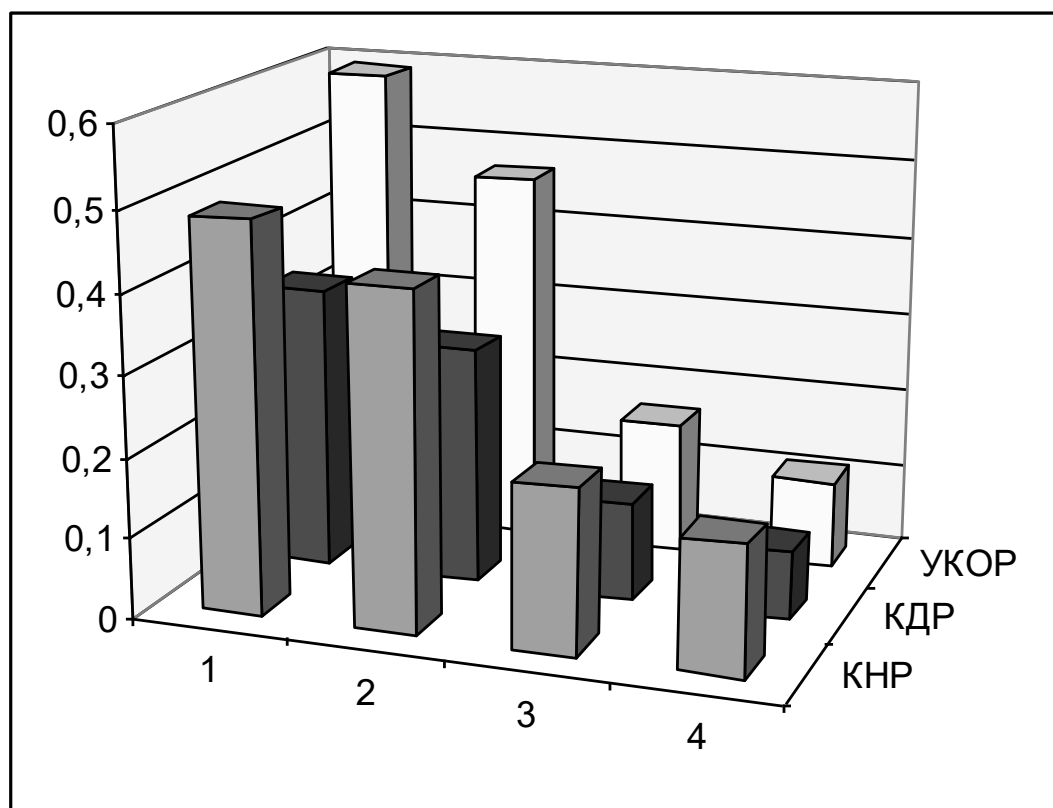


Рис. 6. Графіки зміни коефіцієнта нерівномірності руху (КНР), коефіцієнта динамічності руху (КДР) та узагальненого коефіцієнта оцінки руху (УКОР) в залежності від виду навантаження установки: 1, 2 – холостий хід та робочий режим з одним формувальним візком; 3, 4 – холостий хід та робочий режим з двома формувальними візками

На рис. 7 та 8 зображено графіки зміни зусилля в шатунах в холостому та робочому режимах відповідно.

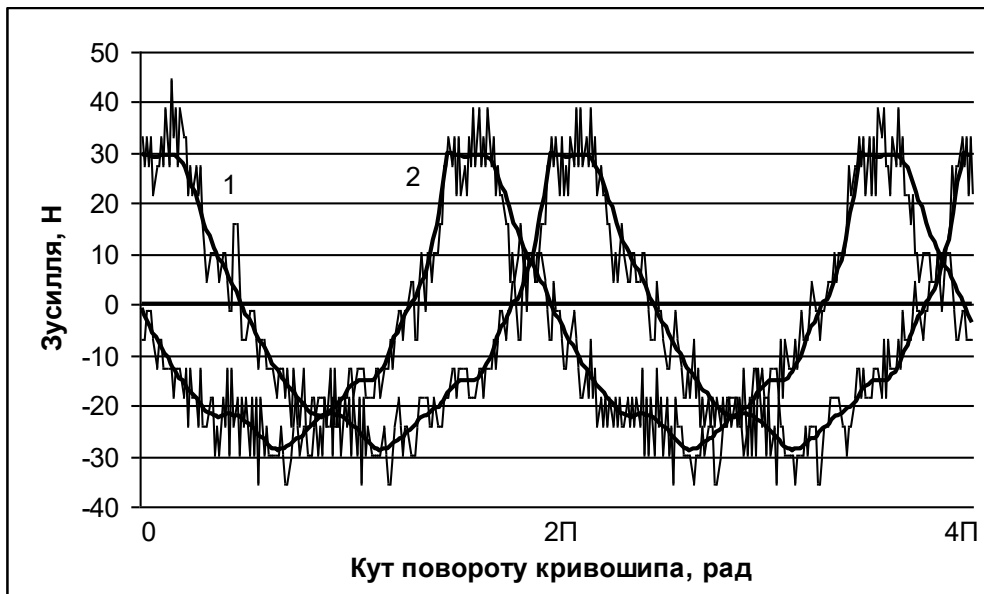


Рис. 7. Графіки зміни зусилля в шатунах на холостому ходу



Рис. 8. Графік зміни зусилля в шатунах в робочому режимі

Аналізуючи графіки на рис. 7 та 8 можна сказати, що зусилля в обох шатунах змінюється за однаковим законом, але зміщенні між собою на кут $\frac{\pi}{2}$. На холостому режимі роботи установки зусилля в шатунах змінюється в межах від $F_{min} = -30\text{Н}$ до $F_{max} = 30\text{Н}$ і закон зміни цього зусилля відображає зусилля, що необхідне на подолання сили інерції формувальних візків. На робочому режимі роботи установки зусилля в шатунах змінюється в межах від $F_{min} = -150\text{Н}$ до $F_{max} = 150\text{Н}$ і закон зміни цього зусилля уже інший і відображає зусилля, що необхідне на подолання сили інерції формувальних візків, сили опору взаємодії ущільнюючих роликів з бетонною сумішшю та сили опору на переміщення формувальних візків по напрямним руху. Із графіка на рис. 8 видно що одну половину циклу (половину повного оберту кривошипа) шатун працює на розтяг, а іншу – на стиск.

На рис. 9 зображено графік зміни вертикальної сили взаємодії укочуючого ролика з бетонною сумішшю

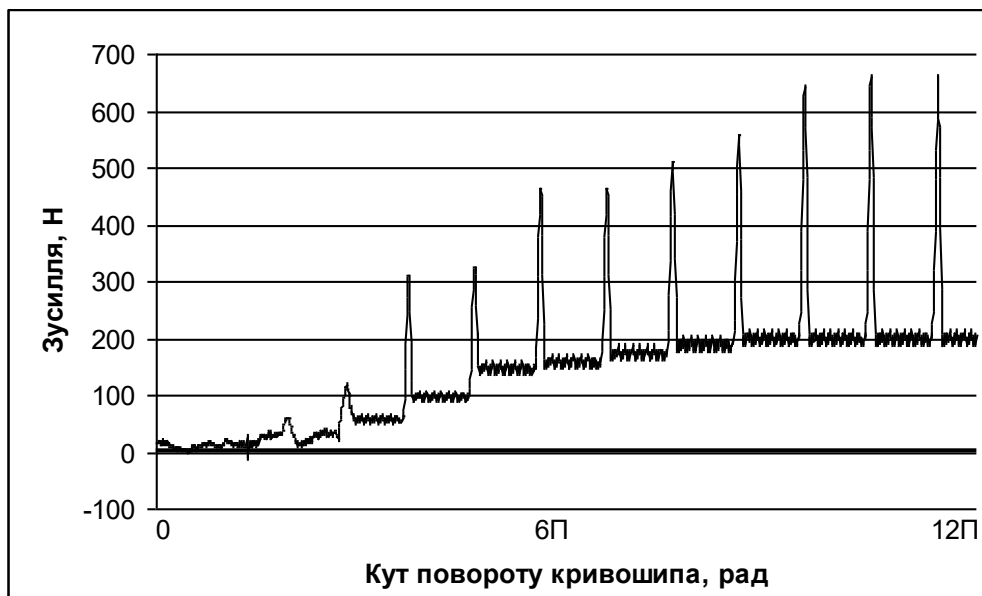


Рис. 9. Графік зміни вертикальної сили взаємодії укочуючого ролика з бетонною сумішшю

Аналізуючи графік на рис. 9 можна сказати, що вертикальна сила взаємодії укочуючого ролика з бетонною сумішшю по мірі ущільнення бетонної суміші зростає до повної стабілізації при повному ущільненні. Піки зусилля на графіку відповідають моментам, коли укочуючий ролик проходить над датчиками.

На рис. 10 зображено графіки зміни крутного моменту на привідному валу в холостому режимі роботи установки з одним формувальним візком (1) та установки з двома формувальними візками (2) в залежності від кута його повороту.

Крутний момент на привідному валу для установки з одним формувальним візком в холостому режимі змінюється в межах від $M_{min} = 20,3H \cdot м$ до $M_{max} = 49,6H \cdot м$, при цьому його середнє значення становить $M_{сер} = 31,35H \cdot м$.



Рис. 10. Графіки зміни крутного моменту на привідному валу установки в холостому режимі з одним формувальним візком (1) та з двома візками (2)

Відносне значення відхилень крутного моменту визначимо через відносні коефіцієнти

$$K_1 = \frac{M_{max} - M_{min}}{M_{сер}} = \frac{49,6 - 20,3}{31,65} = 0,925; \quad (6)$$

$$K_2 = \frac{M_{max}}{M_{сер}} = \frac{49,6}{31,65} = 1,567; \quad (7)$$

$$K_3 = \frac{M_{max}}{M_{min}} = \frac{49,6}{20,3} = 2,44. \quad (8)$$

Для установки з двома формувальними візками в холостому режимі крутний момент на привідному валу змінюється в межах від $M_{min} = 29,2H \cdot м$ до $M_{max} = 35,7H \cdot м$, при цьому його середнє значення становить $M_{сер} = 32,95H \cdot м$. Значення відносних коефіцієнтів $K_1 = 0,197$; $K_2 = 1,083$; $K_3 = 1,22$.

На рис. 11 зображено графіки зміни крутного моменту на привідному валу в робочому режимі роботи установки з одним формувальним візком (1) та установки з двома формувальними візками (2) в залежності від кута його повороту.



Рис. 11. Графіки зміни крутного моменту на привідному валу установки в робочому режимі з одним формувальним візком (1) та з двома візками (2)

Крутний момент на привідному валу для установки з одним формувальним візком в робочому режимі змінюється в межах від $M_{min} = 42,7H \cdot м$ до $M_{max} = 59,8H \cdot м$, при цьому його середнє значення становить $M_{сер} = 49,6H \cdot м$. Значення відносних коефіцієнтів $K_1 = 0,345$; $K_2 = 1,21$; $K_3 = 1,4$.

Для установки з двома формувальними візками в робочому режимі крутний момент на привідному валу змінюється в межах від $M_{min} = 58,3H \cdot м$ до $M_{max} = 66,7H \cdot м$, при цьому його середнє значення становить $M_{сер} = 62,05H \cdot м$. Значення відносних коефіцієнтів $K_1 = 0,135$; $K_2 = 1,075$; $K_3 = 1,144$.

Аналізуючи графіки на рис. 10 та 11, можна побачити, що крутний момент на привідному валу в робочому режимі для установки з одним формувальним візком та установки з двома формувальними візками має менші межі зміни в порівнянні з холостим режимом. Причому середнє значення крутного моменту в холостому режимі для установки з

двома формувальним візками у 1,04 рази більше ніж для установки з одним формувальним візком, а в робочому режимі – у 1,25 рази.

Також проводилось вимірювання потужності, що необхідна на процес формування.

Результати експериментальних досліджень силових навантажень роликів формувальної установки наведені в табл. 2.

Таблиця 2

Режим	M_{min} , Н·м	M_{max} , Н·м	$M_{сер}$, Н·м	K_1	K_2	K_3	P , кВт
ХР1	20,3	49,6	31,65	0,925	1,567	2,44	0,102
ХР2	29,2	35,7	32,95	0,197	1,083	1,22	0,123
РР1	42,7	59,8	49,6	0,345	1,2	1,4	0,19
РР2	58,3	66,7	62,05	0,135	1,075	1,144	0,23

Примітка. ХР1, ХР2 – холостий режим установки з одним та з двома формувальним візками відповідно; РР1, РР2 – робочий режим установки з одним та з двома формувальним візками відповідно.

На основі даних табл. 2 побудовано графіки зміни коефіцієнтів K_1 , K_2 , K_3 (рис. 12) та потужності, що необхідна на процес формування (рис. 13) в залежності від виду навантаження установки.

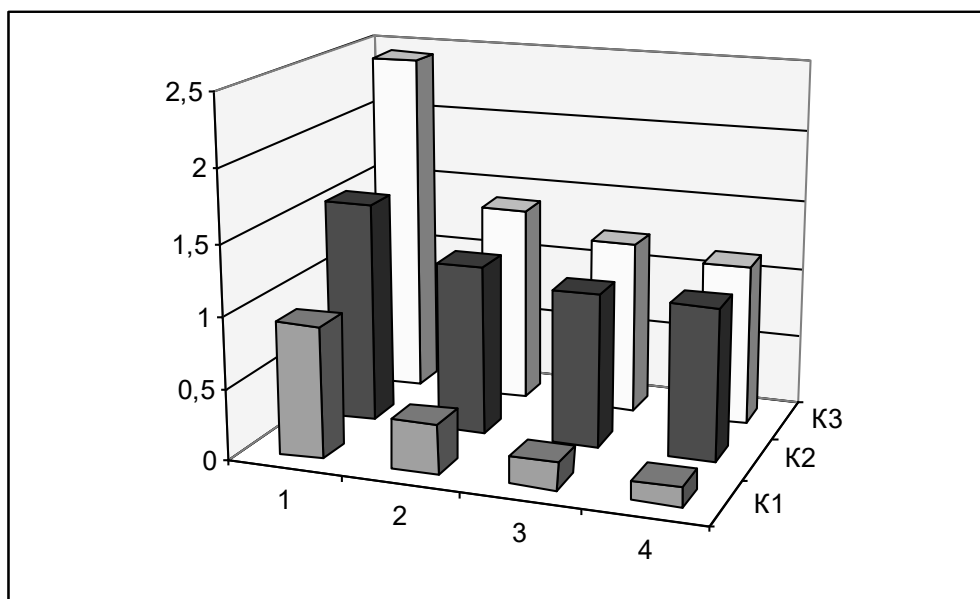


Рис. 12. Графіки зміни коефіцієнтів K_1 , K_2 , K_3 в залежності від виду навантаження:

1, 2 – холостий хід та робочий режим з одним формувальним візком;
3, 4 – холостий хід та робочий режим з двома формувальними візками

Аналізуючи графіки на рис. 12 та 13, можна побачити, що значення коефіцієнта K_1 для установки з двома формувальними візками в робочому режимі у 2,5 рази менше в порівнянні з установкою з одним формувальним візком, значення коефіцієнта K_2 – у 1,1 разів, значення коефіцієнта K_3 – у 1,22 рази, а значення потужності, що необхідна на процес формування, для установки з двома формувальними візками в робочому режимі у 1,21 разів більше в порівнянні із установкою з одним формувальним візком при збільшенні продуктивності у 2 рази.

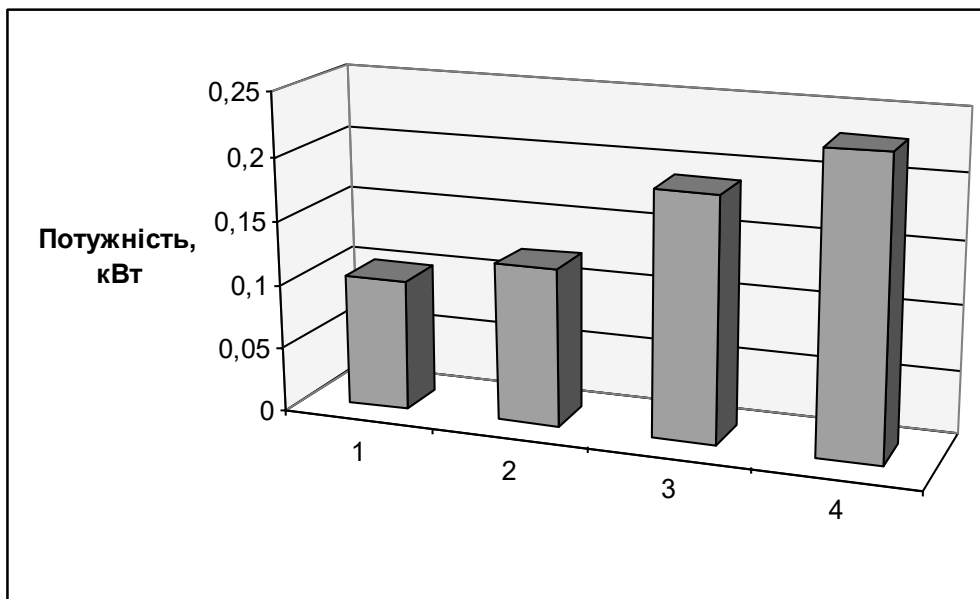


Рис. 13. Графіки зміни потужності, що необхідна для процесу формування в залежності від виду навантаження установки: 1, 2 – холостий хід з одним та з двома формувальними візками відповідно; 3, 4 – робочий режим з одним та з двома формувальними візками відповідно

Таким чином, в результаті проведених експериментальних досліджень встановлено, що роликотва формувальна установка з рекупераційним приводом з двома формувальними візками має значні переваги над установкою з одним формувальним візком. При цьому коефіцієнт нерівномірності руху зменшується в 2,6 разів, коефіцієнт динамічності – в 3,5 рази, узагальнений коефіцієнт оцінки руху – в 4,3 рази, а значення потужності, що необхідна на процес формування, у 1,21 разів більше при збільшенні продуктивності у 2 рази.

Література

1. Ловейкін В.С., Назаренко І.І., Онищенко О.Г. Теорія технічних систем: Навч. посібник. – Київ – Полтава: ІЗМН – ПДТУ, 1998. – 175 с.
2. Артоболевский И.И. Теория механизмов и машин. – М.: Наука. – 1975. – 640 с.
3. Ловейкин В.С. Оценка движения механизмов и машин // Подъемно-транспортное оборудование. – К.: Техника. – 1989. – С. 16...18.
4. Патент України № 67091А. Установка для формирования виробів з бетонних сумішей/ Ловейкін В.С., Гарнець В.М., Почка К.І. – Заяв. 08.07.2003 № 2003076371.
5. Ловейкін В.С., Почка К.І., Паламарчук Д.А. Аналіз нерівномірності руху роликотвої формовочної установки з кривошипно-шатунним приводом. // Строительство. Материаловедение. Машиностроение. // Сб. научных трудов № 33 «Интенсификация рабочих процессов строительных и дорожных машин. Серия: Подъемно-транспортные, строительные и дорожные машины и оборудование». – Днепропетровск: ПГСА, 2005 г. – С. 157-169.
6. Ловейкін В.С., Почка К.І. Аналіз нерівномірності руху роликотвої формовочної установки з рекупераційним приводом. Науково-технічний та виробничий журнал «Підйомно-транспортна техніка». – Вип. 4, 2005 р. – С. 19-33.
7. Ловейкін В.С., Почка К.І. Динамічний аналіз роликотвої формовочної установки з рекупераційним приводом. // Динаміка, міцність і надійність сільськогосподарських машин: Пр. І-ї Міжнародної науково-технічної конференції (DSR AM - I). – Тернопіль, 2004. – С. 507-514.
8. Ловейкін В.С., Почка К.І. Силовий аналіз роликотвої формовочної установки з рекупераційним приводом. // Техніка будівництва. – 2003. – № 14. – С. 27-37.
9. Ловейкін В.С., Почка К.І., Паламарчук Д.А. Оптимізація конструктивних параметрів приводного механізму роликотвої формовочної установки з рекупераційним приводом. // Техніка будівництва. – 2004. – № 15. – С. 40-48.

10.Ловейкін В.С., Почка К.І. Порівняльний аналіз нерівномірності руху роlikової формувальної установки з механічним та рекупераційним приводом. // Збірник наукових праць (галузеве машинобудування) Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка. – 2005. – № 16. – С. 126-130.

11.Ловейкін В.С., Почка К.І. Оцінка нерівномірності руху роlikової формувальної установки з кривошипно-шатунним та рекупераційним приводами. // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. – 2005. – № 39. – С. 169-174.

12.Ловейкін В.С., Почка К.І. Вплив кута зміщення кривошипів на нерівномірність руху роlikової формувальної установки з рекупераційним приводом. // Техніка будівництва. – 2006. – № 18. – С. 12-22.

13.Ковбаса В.П., Ловейкін В.С., Почка К.І. Кінематика взаємодії ущільнюючого котка з середовищем обмеженої глибини. // Сільськогосподарські машини. Збірник наукових статей. – Луцьк: ЛДТУ, 2007. – № 15. – С. 139-147.

14.Ловейкін В.С., Почка К.І. Визначення оптимального значення кута зміщення кривошипів роlikової формувальної установки з рекупераційним приводом. // Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні. – НУ «Львівська політехніка», 2007. – № 41. – С. 127-134.

15.Ловейкін В.С., Почка К.І. Побудова фізичної моделі роlikової формувальної установки з рекупераційним приводом. // Техніка будівництва. – 2007. – № 20. – С. 26-31.