

ОЦІНКА НЕРІВНОМІРНОСТІ РУХУ РОЛИКОВОЇ ФОРМОВОЧНОЇ УСТАНОВКИ З КРИВОШИПНО-ШАТУННИМ ТА РЕКУПЕРАЦІЙНИМ ПРИВОДАМИ

Ловейкін В.С., д. т. н., проф., Почка К.І.
(Київський національний університет будівництва і архітектури)

В роликівих формовочних установках з кривошипно-шатунним приводом спостерігається значна нерівномірність руху формовочного візка під час виконання процесу ущільнення бетонної суміші. В даній статті наведені переваги застосування рекупераційного приводу машин для поверхневого ущільнення залізобетонних виробів.

В існуючих установках поверхневого ущільнення залізобетонних виробів використовується механічний або гідравлічний привод зворотно-поступального руху формовочного візка з укочуючими роликами [1–3]. Під час постійних пуско-гальмівних режимів руху втрачається значна частина енергії, яка йде на втомлене руйнування конструкції. Для зменшення витрат енергії запропонована нова конструкція роликової формовочної установки [4], яка складається з двох спарених візків, що приводяться в рух від одного приводу, до складу якого входять два кривошипно-повзунні механізми, кривошипи яких жорстко закріплені на одному приводному валу та зміщені між собою на кут $\pi/2$. Така конструкція формовочної установки дозволяє здійснювати передачу енергії від одного візка, який здійснює процес гальмування, до іншого, який в цей час розганяється.

На рис. 1 показано роликову формовочну установку з рекупераційним приводом, яка вміщує в собі два пристрої, що розташовані по різні боки приводного валу. Кожний з пристроїв вміщує в собі змонтований на порталах 9 і 10 формовочні візки 1 та 2, що здійснюють зворотно-поступальний рух в напрямних. Візок 1 складається з подаючого бункера 11 та з співвісних секцій укочуючих роликів 12, встановлених в горизонтально-рухомій рамі 8 з розподільчим бункером. Таку ж конструкцію має й інший формовочний візок.

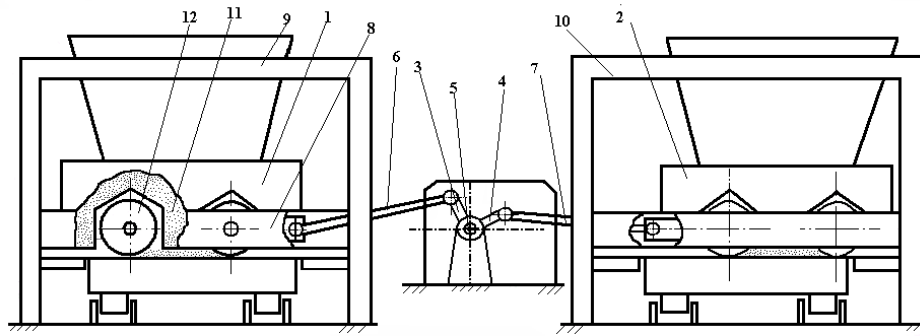


Рис. 1. Роликова формувочна установка з рекупераційним приводом

Візки 1 та 2 з розподільчими бункерами приводяться в зворотно-поступальний рух за допомогою єдиного приводу, виконаного у вигляді кривошипно-повзунного механізму. Кривошипи 3 та 4 жорстко закріплені на приводному валу 5, зміщені між собою на кут $\pi/2$ та з'єднані з шатунами 6 та 7, а шатуни в свою чергу з'єднані з візками 1 та 2 відповідно.

В установках з механічним приводом на один формувочний візок спостерігається значна нерівномірність руху формувочного візка під час виконання процесу ущільнення бетонної суміші, що приводить до зниження якості виробу та виникненню значних динамічних навантажень на елементи приводу та конструкції установки. При створенні спареної роликової формувочної установки з рекупераційним приводом відбувається покращення динаміки роботи установки, а також передбачається зниження нерівномірності руху формувочних візків під час виконання технологічного процесу.

Нерівномірність руху для таких формувочних установок в першому наближенні може бути визначена представленою динамічною моделлю з одним ступенем вільності, де за узагальнену координату прийнято кутову координату повороту кривошипу.

Для такої моделі запишемо диференціальне рівняння руху [5]

$$I_{зв}(\varphi) \cdot \omega \cdot \frac{d\omega}{d\varphi} + \frac{\omega^2}{2} \cdot \frac{dI_{зв}(\varphi)}{d\varphi} = M_p(\omega) - M_o(\varphi), \quad (1)$$

де φ , ω — кутова координата та швидкість кривошипу; $I_{зв}(\varphi)$ — зведений до осі повороту кривошипу момент інерції установки; $M_p(\omega)$ — рушійний момент на

валу електродвигуна приводу зведений до осі повороту кривошипу; $M_o(\varphi)$ — зведений до осі повороту кривошипа момент всіх діючих зовнішніх сил, включаючи силу опору переміщенню формовочних візків та силу тяжіння шатунів.

Рівняння (1) являє собою нелінійне рівняння першого порядку, яке не піддається аналітичному інтегруванню. Тому для його розв'язку використаємо чисельний метод, запропонований професором Барановим [6]. Згідно з цим методом рівняння (1) представимо у вигляді

$$2 \cdot I_{зв}(\varphi) \cdot d\omega + \omega \cdot dI_{зв}(\varphi) = 2 \cdot \frac{M_p(\omega) - M_o(\varphi)}{\omega} \cdot d\varphi. \quad (2)$$

Замінивши в рівнянні (2): $d\varphi \approx \Delta\varphi$ — крок інтегрування; $dI_{зв} \approx I_{зв(i+1)} - I_{зв(i)}$; $d\omega = \omega_{i+1} - \omega_i$; $\Delta\varphi = \varphi_{i+1} - \varphi_i$; отримаємо

$$2 \cdot I_{зв(i)} \cdot (\omega_{i+1} - \omega_i) + \omega_i \cdot (I_{зв(i+1)} - I_{зв(i)}) = 2 \cdot \frac{M_p(\omega_i) - M_o(\varphi_i)}{\omega_i}, \quad (3)$$

де φ_i , ω_i , $I_{зв(i)}$, $M_p(\omega_i)$, $M_o(\varphi_i)$ — відповідно кутова координата кривошипа, кутова швидкість кривошипа, момент інерції, рушійний момент та момент сил опору зведені до осі обертання кривошипа в положенні i ($i = 0, 1, 2, \dots, n$); n — кількість точок розрахунку; φ_{i+1} , ω_{i+1} , $I_{зв(i+1)}$ — відповідно кутова координата, швидкість та зведений момент інерції механізму до осі повороту кривошипу в положенні $i+1$.

Розв'язавши рівняння (3) відносно ω_{i+1} , отримаємо

$$\omega_{i+1} = \frac{[M_p(\omega_i) - M_o(\varphi_i)] \cdot \Delta\varphi + \frac{(3 \cdot I_{зв(i)} - I_{зв(i+1)})}{2 \cdot I_{зв(i)}} \cdot \omega_i}{I_{зв(i)} \cdot \omega_i}. \quad (4)$$

Для роlikової формовочної установки з параметрами: радіус кривошипа — $r = 0,2\text{ м}$; довжина шатуна — $l = 0,8\text{ м}$; сила опору — $F_0 = 3562\text{ Н}$, яка необхідна на переміщення формовочного візка з трьома укочуючими роliками радіусом $R = 0,11\text{ м}$ для формування виробів висотою — $h_0 = 0,22\text{ м}$; шириною — $B = 1,164\text{ м}$; тип суміші, що ущільнюється — дрібнозерниста суміш; вологість бетонної суміші — $W = 10\%$; потрібна щільність виробу — $k_{ущ} = 0,98$, визначено моменти

сил опору на переміщення формовочних візків та зведені до осі повороту кривошипа моменти інерції установки при застосуванні кривошипно-шатунного приводу на один формовочний візок та рекупераційного — на два візка. На кожену установку по необхідній потужності підібрано асинхронний електродвигун з короткозамкненим ротором серії 4А, обраховані механічні характеристики та визначені рушійні моменти електродвигунів приведені до осі повороту кривошипів.

Підставивши всі отримані залежності в рівняння (4) для кожної точки розрахунку, починаючи зі стану спокою ($i=0$), отримуємо зміну кутової швидкості кривошипа від кута його повороту для установки з кривошипно-шатунним приводом для одного формовочного візка та установки з рекупераційним приводом на два візка.

Час, що відповідає значенню кутової швидкості ω_{i+1} може бути визначений залежністю

$$t_{i+1} = t_i + \frac{2 \cdot \Delta\varphi}{\omega_i + \omega_{i+1}}, \quad (5)$$

за допомогою якої отримано кутове прискорення кривошипу

$$\varepsilon_i = \frac{\omega_{i+1} - \omega_i}{t_{i+1} - t_i}, \quad (6)$$

де t_i, t_{i+1} — відповідно значення часу руху в положеннях кривошипу i та $i+1$.

З моменту пуску до виходу установки на усталений режим руху кривошип здійснює якусь кількість обертів, а вийшовши на усталений режим руху, кривошип обертається з певною кутовою швидкістю, яка змінюється по певному закону в межах від ω_{\min} до ω_{\max} . При цьому її середнє значення дорівнює $\omega_{\text{сеп}} = \frac{\omega_{\min} + \omega_{\max}}{2}$, а коефіцієнт нерівномірності руху визначається залежністю [6]

$$\delta = \frac{\omega_{\max} - \omega_{\min}}{\omega_{\text{сеп}}}. \quad (7)$$

Кутове прискорення при усталеному режимі руху кривошипа змінюється в межах від ε_{\min} до ε_{\max} . При цьому коефіцієнт динамічності руху буде мати вигляд [6]

$$H = \frac{|\varepsilon_{\max}|}{\omega_{\text{сеп}}^2}. \quad (8)$$

Для сумарної оцінки технологічних і динамічних властивостей формовочної установки використаємо узагальнений коефіцієнт оцінки руху [7]

$$k_p = \frac{(\omega_{\max} - \omega_{\min})^2}{\omega_{\text{сеп}}^2} + \frac{|\varepsilon_{\max}|}{\omega_{\text{сеп}}^2}. \quad (9)$$

Для зменшення коефіцієнтів нерівномірності руху, динамічності, а також узагальненого коефіцієнта оцінки руху на вал двигуна установки встановлюється маховик з деяким зведеним до осі повороту кривошипа значенням моменту інерції. Розрахувавши кутову швидкість та кутове прискорення кривошипа з різними значеннями моменту інерції маховика, отримано залежності зміни коефіцієнтів нерівномірності руху, динамічності та узагальненого коефіцієнта оцінки руху. Ці коефіцієнти змінюються по різному для установки з кривошипно-шатунним приводом на один формовочний візок та для установки з рекупераційним приводом на два формовочні візки. Отримані результати цих розрахунків наведені в таблиці 1.

Аналіз таблиці 1 показує, що коефіцієнт нерівномірності руху установки з рекупераційним приводом на два формовочні візки має майже в два рази менше значення при всіх значеннях моменту інерції маховика в порівнянні з установкою з кривошипно-шатунним приводом на один формовочний візок; коефіцієнт динамічності та узагальнений коефіцієнт оцінки руху установки з рекупераційним приводом на два формовочні візки майже в три рази менший в порівнянні з установкою з кривошипно-шатунним приводом на один формовочний візок при всіх значеннях моменту інерції маховика.

Отже, спираючись на отримані результати розрахунків, можна стверджувати, що установка з рекупераційним приводом на два формовочні візки може працювати без додаткових інерційних пристроїв, забезпечуючи

Таблиця 1. Результати розрахунків коефіцієнтів нерівномірності руху, динамічності та узагальненого коефіцієнту оцінки руху

$I_m, \text{кг} \cdot \text{м}^2$	δ_1	δ_2	H_1	H_2	k_{p1}	k_{p2}
0	0,3765	0,156	0,51412	0,1453	0,656	0,1696
50	0,20216	0,1024	0,25783	0,096	0,2987	0,1067
100	0,1385	0,0764	0,168	0,0718	0,1872	0,0777
150	0,1055	0,0605	0,12786	0,573	0,139	0,06097
200	0,0852	0,0504	0,10172	0,0477	0,109	0,0502
250	0,0715	0,0432	0,0851	0,0408	0,0902	0,0427
300	0,0615	0,0376	0,0732	0,0357	0,077	0,03717
350	0,054	0,0333	0,0642	0,0317	0,0671	0,03285
400	0,0481	0,02998	0,0572	0,0285	0,0595	0,02945
450	0,0435	0,0273	0,05155	0,026	0,0534	0,0267
500	0,03953	0,0249	0,04694	0,02376	0,0485	0,02438
550	0,03615	0,0229	0,04306	0,02192	0,0444	0,02245
600	0,0335	0,0212	0,0398	0,0203	0,0409	0,0208
650	0,03121	0,0199	0,037	0,01898	0,038	0,0194
700	0,02923	0,0188	0,03455	0,0178	0,0354	0,01815
750	0,02736	0,0176	0,03242	0,0167	0,0332	0,01705
800	0,02577	0,0165	0,03053	0,0158	0,0312	0,01607
850	0,0243	0,0157	0,02885	0,0149	0,0294	0,0152
900	0,0231	0,0148	0,02735	0,0142	0,0279	0,0144
950	0,02192	0,01427	0,026	0,0135	0,0265	0,01374
1000	0,0208	0,0136	0,02476	0,0129	0,0252	0,0131

Примітка: індекс 1 – для установки з кривошипно-шатунним приводом на один формовочний візок, індекс 2 – для установки з рекупераційним приводом на два формовочні візки.

нерівномірність руху у встановлених межах. Якщо є потреба з деяких причин зменшити нерівномірність руху до певного значення, то використовується маховик з незначним моментом інерції, оскільки його збільшення не значно впливає на нерівномірність руху, а в той же час приводить до значного збільшення тривалості пуску установки.

Таким чином, в результаті проведених досліджень встановлено, що роликів формовочна установка з рекупераційним приводом на два формовочні

візки має значні переваги над установкою з кривошипно-шатунним приводом на один формовочний візок. При цьому коефіцієнт нерівномірності руху зменшується в середньому вдвічі, а коефіцієнт динамічності та узагальнений коефіцієнт оцінки руху приблизно втричі.

Література

1. Гарнець В.М. Прогресивні бетоноформуєчі агрегати і комплекси. – 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. Патент України № 67091А. Установка для формування 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 роликової формовочної установки з кривошипно-повзунним приводом. // Строительство. Материаловедение. Машиностроение. – Днепропетровск: ПГАСА, 2005. – № 33. – С. 157-169.
6. Артоболевский И.И. Теория механизмов и машин. – М.: Наука. – 1975. – 640 с.
7. Ловейкин В.С. Оценка движения механизмов и машин // Подъемно-транспортное оборудование. – К.: Техника. – 1989. – С. 16-18.
8. Ловейкін В.С., Почка К.І. Динамічний аналіз роликової 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.

9. Ловейкін В.С., Почка К.І. Силовий аналіз роlikової формовочної установки з рекупераційним приводом. // Техніка будівництва. – 2003. – № 14. – С. 27-37.

10. Ловейкін В.С., Почка К.І. Аналіз руху роlikової формовочної установки з врівноваженим приводом. // Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету. – № 27. – 2004. – С. 95-101.

11. Ловейкін В.С., Почка К.І. Аналіз нерівномірності руху роlikової формовочної установки з рекупераційним приводом. // Підйомно-транспортна техніка. – 2005. – № 4. – С. 19-33.

12. Ловейкін В.С., Почка К.І., Шевченко Т.В. Аналіз динамічного режиму руху роlikової формовочної установки з керованим гідроприводом. // Вісник Донбаської державної машинобудівної академії. – 2005. – № 1. – С. 149-154.

13. Ловейкін В.С., Почка К.І. Аналіз нерівномірності руху роlikової формовочної установки з гідромеханічним приводом. // Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини. – К.: КНУБА, 2005. – Вип. 65. – С. 26-36.