14. Голоскоков Е. Г. Нестационарные колебания механических систем / Е. Г. Голоскоков, А. П. Филиппов. – К.: Наукова думка, 1966. – 336 с.

15. Камке Э. Справочник по обыкновенным дифференциальным уравнениям. / Э. Камке. – М.: Наука, 1971. – 576 с.

УДК 531

В. С. ЛОВЕЙКИН, д. т. н., Ю. В. ЧОВНЮК к. т. н.

Національний університет біоресурсів і природокористування України

К. И. ПОЧКА к. т. н.

Київський національний університет будівництва і архітектури

ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМІВ РУХУ МЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ ПРИ ВРАХУВАННІ ПРИШВИДШЕНЬ ВИЩИХ ПОРЯДКІВ

Постановка проблеми. Сучасне виробництво характеризується зростаючими вимогами щодо якості руху різноманітних механізмів і машин. Під якістю руху розуміють точність виконання тієї чи іншої операції, енерговитрати на її виконання, тривалість руху та інші показники. Звичайно, необхідно, щоб бажані показники були максимальними, а небажані – мінімальними. Тому ці задачі формулюються як оптимізаційні, у яких показники руху механічної системи є критеріями оптимізації. Для більшості промислових машин (роботи, вантажопідйомні машини, верстати, мобільні транспортні засоби тощо) робочі органи у процесі руху на початковій стадії моделювання (у першому наближенні) можна представити у вигляді руху матеріальної точки з деякою (приведеною) масою.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для оптимізації режимів руху механічних систем використовуються різноманітні фундаментальні теорії оптимального керування: варіаційне числення [1], принцип максимуму Л.С. Понтрягіна [2], динамічне програмування [3]. Функція, яка доставляє екстремум критерію оптимізації (функціоналу) у варіаційному численні, шукається у класі неперервних функцій. При цьому режими руху механічних систем характеризуються плавністю [4]. На відміну від цього оптимізація руху механізмів, проведена за допомогою принципу максимуму, дає змогу отримати функції керування з характерним „релейним” перемиканням, що є небажаним. Однак принцип максимуму дає змогу враховувати різноманітні обмеження на керування та інші кінематичні функції руху механізму [5].

Мета даної роботи полягає у оптимізації режимів руху механічних систем при врахуванні пришвидшень вищих порядків.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Розглянемо механічну систему, яка має характерний розмір l протягом її розгону за час $t = t_p$ зі стану спокою. Введемо позначення: $\Omega = \frac{1}{t_p}$, *1/c*. Визначимо закон руху $x(t)$ механічної системи ($x-$ координата, яка визначає положення механічної системи у даний момент часу t, точніше – її центра мас; використовується одновимірна постановка задачі), за якою виконується критерій (гладкості) руху (механічної системи) виду:

$$I = \int_0^{t_p} \left[\left(\frac{\dot{x}(t)}{l \cdot \Omega} \right)^2 + \left(\frac{\ddot{x}(t)}{l \cdot \Omega^2} \right)^2 + \left(\frac{\dddot{x}(t)}{l \cdot \Omega^3} \right)^2 + \left(\frac{\overset{(IV)}{x}(t)}{l \cdot \Omega^2} \right)^2 \right]^1 dt \Rightarrow \min , \tag{1}$$

де $\dot{x} = \frac{dx}{dt}$, $\ddot{x} = \frac{d^2x}{dt^2}$, $\dddot{x} = \frac{d^3x}{dt^3}$, $\overset{(IV)}{x} = \frac{d^4x}{dt^4}$.

Якщо ввести позначення $\tau = \Omega \cdot t$, $\widetilde{x}(\tau) = \frac{x(t)}{l}$, отримаємо замість (1) наступний вираз для I:

$$I = \frac{1}{\Omega} \cdot \int_0^1 \left[(\widetilde{x}_\tau)^2 + (\widetilde{x}_{\tau\tau})^2 + (\widetilde{x}_{3\tau})^2 + (\widetilde{x}_{4\tau})^2 \right] d\tau \Rightarrow \min . \tag{2}$$

Рівняння Ейлера-Пуассона для критерію (2), яке є необхідною умовою його реалізації, приймає вигляд:

$$-\widetilde{x}_{\tau\tau} + \widetilde{x}_{4\tau} - \widetilde{x}_{6\tau} + \widetilde{x}_{8\tau} = 0, \quad \widetilde{x}_\tau = \frac{d\widetilde{x}}{d\tau}, \quad \widetilde{x}_{\tau\tau} = \frac{d^2\widetilde{x}}{d\tau^2} \quad \text{і т.д.} \tag{3}$$

Це лінійне рівняння має характеристичний вид:

$$-\lambda^2 + \lambda^4 - \lambda^6 + \lambda^8 = 0. \tag{4}$$

Останнє рівняння (4) для характеристичного числа λ можна звести до наступного:

$$\lambda^2 \cdot \left[\lambda^6 - \lambda^4 + \lambda^2 - 1 \right] = 0 \Leftrightarrow \lambda^2 \cdot \left[(\lambda^2 - 1) \cdot (\lambda^4 + 1) \right] = 0 . \tag{5}$$

Рівняння (5) має наступні 8 коренів:

$$\lambda_1 = \lambda_2 = 0 \text{ (двократний виражений корінь);} \quad \lambda_3 = +1; \quad \lambda_4 = -1;$$
$$\lambda_5 = \frac{1}{\sqrt{2}} + i \cdot \frac{1}{\sqrt{2}}; \quad \lambda_6 = -\frac{1}{\sqrt{2}} - i \cdot \frac{1}{\sqrt{2}}; \quad \lambda_7 = \frac{1}{\sqrt{2}} - i \cdot \frac{1}{\sqrt{2}}; \quad \lambda_8 = -\frac{1}{\sqrt{2}} + i \cdot \frac{1}{\sqrt{2}}. \tag{6}$$

Тоді загальний розв'язок однорідного рівняння (3) набуває вигляду:

$$
\begin{aligned}
\tilde{x}(\tau) = C_0 + C_1\cdot\tau + C_2\cdot e^{\tau} + C_3\cdot e^{-\tau} + C_4\cdot e^{\frac{1}{\sqrt{2}}\cdot\tau}\cdot\sin\left(\frac{1}{\sqrt{2}}\cdot\tau\right) + \\
+ C_5\cdot e^{\frac{1}{\sqrt{2}}\cdot\tau}\cdot\cos\left(\frac{1}{\sqrt{2}}\cdot\tau\right) + C_6\cdot e^{-\frac{1}{\sqrt{2}}\cdot\tau}\cdot\sin\left(\frac{1}{\sqrt{2}}\cdot\tau\right) + C_7\cdot e^{-\frac{1}{\sqrt{2}}\cdot\tau}\cdot\cos\left(\frac{1}{\sqrt{2}}\cdot\tau\right).
\end{aligned} \tag{7}
$$

Якщо перейти до координат x та t, тоді замість (7) отримаємо:

$$
\begin{aligned}
\frac{x(\tau)}{l} = C_0 + C_1\cdot(\Omega\cdot t) + C_2\cdot e^{+\Omega\cdot t} + C_3\cdot e^{-\Omega\cdot t} + C_4\cdot e^{\frac{1}{\sqrt{2}}\cdot\Omega\cdot t}\cdot\sin\left(\frac{\Omega\cdot t}{\sqrt{2}}\right) + \\
+ C_5\cdot e^{\frac{1}{\sqrt{2}}\cdot\Omega\cdot t}\cdot\cos\left(\frac{\Omega\cdot t}{\sqrt{2}}\right) + C_6\cdot e^{-\frac{1}{\sqrt{2}}\cdot\Omega\cdot t}\cdot\sin\left(\frac{\Omega\cdot t}{\sqrt{2}}\right) + C_7\cdot e^{-\frac{1}{\sqrt{2}}\cdot\Omega\cdot t}\cdot\cos\left(\frac{\Omega\cdot t}{\sqrt{2}}\right).
\end{aligned} \tag{8}
$$

Або:

$$
\begin{aligned}
\frac{x(\tau)}{l} = C_0 + C_1\cdot\left(\frac{t}{t_p}\right) + C_2\cdot e^{\frac{t}{t_p}} + C_3\cdot e^{-\frac{t}{t_p}} + C_4\cdot e^{\frac{t}{\sqrt{2}\cdot t_p}}\cdot\sin\left(\frac{t}{\sqrt{2}\cdot t_p}\right) + \\
+ C_5\cdot e^{\frac{t}{\sqrt{2}\cdot t_p}}\cdot\cos\left(\frac{t}{\sqrt{2}\cdot t_p}\right) + C_6\cdot e^{-\frac{t}{\sqrt{2}\cdot t_p}}\cdot\sin\left(\frac{t}{\sqrt{2}\cdot t_p}\right) + C_7\cdot e^{-\frac{t}{\sqrt{2}\cdot t_p}}\cdot\cos\left(\frac{t}{\sqrt{2}\cdot t_p}\right).
\end{aligned} \tag{9}
$$

У (7)-(9) C_0, C_j, $j=\overline{(1,7)}$ – невизначені константи.

Величини останніх можна знайти з 8-и наступних початкових умов задачі:

$$
\begin{cases}
\left.\dfrac{x(t)}{l}\right|_{t=0} = \dfrac{x_0}{l}; \quad \left.\dfrac{\dot{x}(t)}{l\cdot\Omega}\right|_{t=0} = \dfrac{\dot{x}_0}{l\cdot\Omega}; \quad \left.\dfrac{\ddot{x}(t)}{l\cdot\Omega^2}\right|_{t=0} = \dfrac{\ddot{x}_0}{l\cdot\Omega^2}; \quad \left.\dfrac{\dddot{x}(t)}{l\cdot\Omega^3}\right|_{t=0} = \dfrac{\dddot{x}_0}{l\cdot\Omega^3}; \\
\left.\dfrac{x(t)}{l}\right|_{t=t_p} = \dfrac{x_p}{l}; \quad \left.\dfrac{\dot{x}(t)}{l\cdot\Omega}\right|_{t=t_p} = \dfrac{\dot{x}_p}{l\cdot\Omega}; \quad \left.\dfrac{\ddot{x}(t)}{l\cdot\Omega^2}\right|_{t=t_p} = \dfrac{\ddot{x}_p}{l\cdot\Omega^2}; \quad \left.\dfrac{\dddot{x}(t)}{l\cdot\Omega^3}\right|_{t=t_p} = \dfrac{\dddot{x}_p}{l\cdot\Omega^3}.
\end{cases} \tag{10}
$$

Як правило, $\dot{x}_0 = \ddot{x}_0 = \dddot{x}_0 = 0$; $x_0 = 0$; $\dot{x}_p = \begin{Bmatrix} 0; \\ V_{уст} \end{Bmatrix}$; ($V_{уст}$– усталене значення швид-кості руху механічної системи у момент закінчення розгону $t = t_p$); $\ddot{x}_p = \dddot{x}_p = 0$; $x_p = \text{const} \neq 0$.

З рівнянь (10) можна скласти неоднорідну лінійну систему 8-и рівнянь відносно констант C_0, C_j, $j=\overline{(1,7)}$, яка легко розв’язується за допомогою правила Крамера.

Якщо інженера-конструктора, який прагне оптимізувати перехідний режим руху (пуску) даної механічної системи, цікавить тип руху останньої, за якою у точці $t = t_p$ рух має високий ступінь гладкості, тоді можна знаходити невизначені константи C_0, C_j, $j=\overline{(1,7)}$ з таких початкових умов:

$$\left.\frac{x(t)}{l}\right|_{t=0}=0;\quad \left.\frac{\dot{x}(t)}{l\cdot\Omega}\right|_{t=0}=0;\quad \left.\frac{\ddot{x}(t)}{l\cdot\Omega^2}\right|_{t=0}=0;\quad \left.\frac{x(t)}{l}\right|_{t=t_p}=\frac{x_p}{l};$$

$$\left.\frac{\dot{x}(t)}{l\cdot\Omega}\right|_{t=t_p}=\begin{Bmatrix}0;\\ V_{уст}/l\end{Bmatrix};\quad \left.\frac{\ddot{x}(t)}{l\cdot\Omega^2}\right|_{t=t_p}=\left.\frac{\dddot{x}(t)}{l\cdot\Omega^3}\right|_{t=t_p}=\left.\frac{\overset{(IV)}{x}(t)}{l\cdot\Omega^4}\right|_{t=t_p}=0. \tag{11}$$

На відміну від (10) (симетричні початкові умови руху), (11) складають несиметричні початкові умови руху механічної системи.

Цікаво зазначити, що закон руху (9) з константами C_0, C_j, $j=\overline{(1,7)}$, визначеними з (10) чи (11), є доволі універсальним, оскільки діє для механічних систем будь-яких параметрів (лінійних розмірів l) та часової змінної $t\in[0,t_p]$, а значить може застосовуватись у задачах оптимізації руху механічних систем різних масштабів: 1) макро-; 2) мезо-; 3) мікро-; 4) нано.

Розглянемо далі метод оптимізації режимів руху механічних систем у період їх пуску за наявності пришвидшень до 4-го порядку включно. Але тепер перейдемо від безрозмірних величин до звичайних (розмірних). Вважаємо, що система має енергію руху, що складається з класичного компоненту (кінетичної складової) та енергій пришвидшень більш високого порядку. Тоді, вважаючи, що “вага” всіх складових енергій однакова, задамось критерієм якості руху (у період пуску механічної системи) наступного виду:

$$I^*=\frac{m}{2}\cdot\int_0^{t_p}\left\{\left(\frac{\dot{x}}{l\cdot\Omega}\right)^2+\left(\frac{\ddot{x}}{l\cdot\Omega^2}\right)^2+\left(\frac{\dddot{x}}{l\cdot\Omega^3}\right)^2+\left(\frac{\overset{(IV)}{x}}{l\cdot\Omega^4}\right)^2\right\}dt\Rightarrow\min. \tag{12}$$

Критерій якості руху I^* (12) можна подати у вигляді:

$$I^*=\int_0^{t_p}\frac{1}{(l\cdot\Omega)^2}\cdot\left\{\frac{m}{2}\cdot(\dot{x})^2+\frac{m}{2\cdot\Omega^2}\cdot(\ddot{x})^2+\frac{m}{2\cdot\Omega^4}\cdot(\dddot{x})^2+\frac{m}{2\cdot\Omega^6}\cdot\left(\overset{(IV)}{x}\right)^2\right\}dt\Rightarrow\min. \tag{13}$$

Члени, що стоять у фігурних дужках описують складові енергії руху системи у період її пуску ($t\in[0,t_p]$), пов’язані з класичною енергією кінетичною (перший доданок у фігурних дужках) та три наступні доданки – енергії пришвидшень (високого порядку – другого, третього та четвертого), які вносять свою частку у загальну енергію руху механічної системи. Якщо у (13) винести всі спільні множники за знак інтегралу, тоді (13) зведеться до наступного:

$$\bar{I} = \int_0^{t_p} \left\{ (\dot{x})^2 + \frac{(\ddot{x})^2}{\Omega^2} + \frac{(\dddot{x})^2}{\Omega^4} + \frac{\left(\overset{(IV)}{x}\right)^2}{\Omega^6} \right\} dt \Rightarrow \min . \tag{14}$$

Рівняння Пуассона-Ейлера для (14) мають наступний вигляд:

A) враховуємо тільки перший доданок у (14) під знаком інтеграла –

$$\ddot{x} = 0; \tag{15}$$

B) враховуємо два перших доданки у (14) під знаком інтеграла –

$$\overset{(IV)}{x} - \Omega^2 \cdot \ddot{x} = 0; \tag{16}$$

C) враховуємо три перших доданки у (14) під знаком інтеграла –

$$\overset{(VI)}{x} - \Omega^2 \cdot \overset{(IV)}{x} + \Omega^4 \cdot \ddot{x} = 0; \tag{17}$$

D) враховуємо всі чотири члени у (14) під знаком інтеграла –

$$\overset{(VIII)}{x} - \Omega^2 \cdot \overset{(VI)}{x} + \Omega^4 \cdot \overset{(IV)}{x} - \Omega^6 \cdot \ddot{x} = 0. \tag{18}$$

Кожне з рівнянь (15)-(18) має своє характеристичне рівняння для λ (характеристичного числа):

A) $$\lambda^2 = 0 \quad \Rightarrow \quad \lambda_1 = 0; \; \lambda_2 = 0; \tag{19}$$

B) $$\lambda^4 - \Omega^2 \cdot \lambda^2 = 0 \quad \Rightarrow \quad \lambda_1 = 0; \; \lambda_2 = 0; \; \lambda_3 = +\Omega; \; \lambda_4 = -\Omega; \tag{20}$$

C) $$\lambda^6 - \Omega^2 \cdot \lambda^4 + \Omega^4 \cdot \lambda^2 = 0 \quad \Rightarrow \quad \lambda_1 = 0; \; \lambda_2 = 0; \; \lambda^4 - \Omega^2 \cdot \lambda^2 + \Omega^4 = 0; \tag{21}$$

у останньому рівнянні корені знаходимо таким чином:

$$\lambda_{3,4}^2 = \frac{\Omega^2}{2} + i \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \Omega^2 = \Omega^2 \cdot e^{i \cdot \frac{\pi}{3}}; \quad \lambda_{5,6}^2 = \Omega^2 \cdot e^{-i \cdot \frac{\pi}{3}}; \quad i^2 = -1; \tag{22}$$

$$\begin{gathered} \lambda_3 = \Omega \cdot e^{i \cdot \frac{\pi}{6}} = \Omega \cdot \left(\frac{\sqrt{3}}{2} + i \cdot \frac{1}{2} \right); \quad \lambda_4 = -\Omega \cdot e^{i \cdot \frac{\pi}{6}} = -\Omega \cdot \left(\frac{\sqrt{3}}{2} + i \cdot \frac{1}{2} \right); \\ \lambda_5 = \Omega \cdot \left(\frac{\sqrt{3}}{2} - i \cdot \frac{1}{2} \right); \quad \lambda_3 = -\Omega \cdot \left(\frac{\sqrt{3}}{2} - i \cdot \frac{1}{2} \right); \end{gathered} \tag{23}$$

D) $$\lambda^8 - \Omega^2 \cdot \lambda^6 + \Omega^4 \cdot \lambda^4 - \Omega^6 \cdot \lambda^2 = 0 \quad \Rightarrow \quad \lambda_1 = 0; \; \lambda_2 = 0; \; \lambda_3 = +\Omega; \; \lambda_4 = -\Omega; \tag{24}$$

$$\lambda_{5,6}^2 = \Omega^2 \cdot e^{i \cdot \frac{\pi}{2}}; \qquad \begin{gathered} \lambda_5 = \Omega \cdot e^{i \cdot \frac{\pi}{4}} = \Omega \cdot \left(\frac{1}{\sqrt{2}} + i \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} \right); \\ \lambda_6 = -\Omega \cdot e^{i \cdot \frac{\pi}{4}} = -\Omega \cdot \left(\frac{1}{\sqrt{2}} + i \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} \right); \end{gathered} \tag{25}$$

$$\lambda_{7,8}^2=\Omega^2\cdot e^{-i\cdot\frac{\pi}{2}}\qquad \begin{aligned}\lambda_7&=\Omega\cdot e^{-i\cdot\frac{\pi}{4}}=\Omega\cdot\left(\frac{1}{\sqrt{2}}-i\cdot\frac{1}{\sqrt{2}}\right);\\ \lambda_8&=-\Omega\cdot e^{-i\cdot\frac{\pi}{4}}=-\Omega\cdot\left(\frac{1}{\sqrt{2}}-i\cdot\frac{1}{\sqrt{2}}\right).\end{aligned}$$

Виходячи з виразів для λ (19)-(25), для кожного випадку можна записати загальний розв'язок $x(t)$ (закон руху), який відповідає конкретному критерію якості руху:

A) $$x(t)=C_1+C_2\cdot t; \tag{26}$$

B) $$x(t)=C_1+C_2\cdot t+C_3\cdot e^{\Omega\cdot t}+C_4\cdot e^{-\Omega\cdot t}; \tag{27}$$

C) $$\begin{aligned}x(t)=C_1+C_2\cdot t+C_3\cdot e^{\Omega\cdot\frac{\sqrt{3}}{2}\cdot t}\cdot\sin\left(\frac{\Omega}{2}\cdot t\right)+C_4\cdot e^{\Omega\cdot\frac{\sqrt{3}}{2}\cdot t}\cdot\cos\left(\frac{\Omega}{2}\cdot t\right)+\\ +C_5\cdot e^{-\Omega\cdot\frac{\sqrt{3}}{2}\cdot t}\cdot\sin\left(\frac{\Omega}{2}\cdot t\right)+C_6\cdot e^{-\Omega\cdot\frac{\sqrt{3}}{2}\cdot t}\cdot\cos\left(\frac{\Omega}{2}\cdot t\right);\end{aligned} \tag{28}$$

D) $$\begin{aligned}x(t)=C_1+C_2\cdot t+C_3\cdot e^{\Omega\cdot t}+C_4\cdot e^{-\Omega\cdot t}+C_5\cdot e^{\Omega\cdot\frac{1}{\sqrt{2}}\cdot t}\cdot\sin\left(\frac{\Omega}{\sqrt{2}}\cdot t\right)+\\ +C_6\cdot e^{\Omega\cdot\frac{1}{\sqrt{2}}\cdot t}\cdot\cos\left(\frac{\Omega}{\sqrt{2}}\cdot t\right)+C_7\cdot e^{-\Omega\cdot\frac{1}{\sqrt{2}}\cdot t}\cdot\sin\left(\frac{\Omega}{\sqrt{2}}\cdot t\right)+C_8\cdot e^{-\Omega\cdot\frac{1}{\sqrt{2}}\cdot t}\cdot\cos\left(\frac{\Omega}{\sqrt{2}}\cdot t\right)\end{aligned} \tag{29}$$

Всі константи $C_1,...,C_j$, $j=\overline{(1,8)}$ можна знайти з відповідних початкових умов руху механічної системи (симетричних/несиметричних), що задовольняють певним умовам "гладкості" цього руху у кінці перехідного процесу пуску, коли $t=t_p$.

Висновки. 1.У роботі розв'язано задачу оптимізації режимів руху механічних систем при врахуванні пришвидшень вищих порядків. В результаті досліджень отримано закони оптимальних режимів руху механічних систем на перехідних режимах руху. 2. Отримані у роботі результати можуть у подальшому бути використані для уточнення та вдосконалення існуючих інженерних методів розрахунку механічних систем як на стадіях їх проектування/конструювання, так і у режимах їх реальної експлуатації.

ЛІТЕРАТУРА

1. Петров Ю. П. Вариационные методы теории оптимального управления / Ю. П. Петров. – Л.: Энергия, 1977. – 280 с.

2. Математическая теория оптимальных процессов / [Л. С. Понтрягин, В. Г. Болтнянский, Р. В. Гамкрелидзе, Е. Ф. Мищенко] – М.: Физматгиз, 1961. – 392 с.

3. Беллман Р. Динамическое программирование / Р. Беллман [под. ред. Воробьева Н.Н.] – М.: Издательство иностранной литературы, 1960. – 400 с.

4. Ловейкін В. С. Динамічна оптимізація підйомних машин / В. С. Ловейкін, А. П. Нестеров. – Х.: ХНАДУ, 2002. – 291 с.

5. Смехов А. А. Оптимальное управление подъемно-транспортными машинами / А. А. Смехов, Н. И. Єрофєев. – М.: Машиностроение, 1975. – 239 с.

6. Теория, конструирование и расчёт строительных и дорожных машин / Л. А. Гоберман, К. В. Степанян, А. А. Яркин, В. С. Зеленский. Под ред. Л. А. Гобермана. – М.: Машиностроение, 1979. – 407 с.

7. Ловейкін В. С. Оптимізація режимів руху машин і механізмів/ В. С. Ловейкін // Машинознавство, Львів.: ТзОВ "КІНПАТРІ ЛТД", 1999. – № 7 (25). – С. 24 – 31.

8. Ловейкин В. С. Расчеты оптимальных режимов движения механизмов строительных машин / В. С. Ловейкин. – К.: УМК ВО, 1990. – 168 с.

УДК 621.873.12

Т. В. ЛУЦЬКО, к. т. н., М. О. БАРКАЛОВ, магістр.

Донбаська національна академія будівництва і архітектури

ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ КОЗЛОВИХ КРАНІВ З РІЗНИМИ ВИДАМИ ОПОР ПРИ ПЕРЕКОСІ МОСТУ

Постановка проблеми. При експлуатації кранів прогінного типу в процесі їх пересування виникають перекісні навантаження, які викликані забіганням кранової опори одної відносно іншої, і, як наслідок, відбувається деформація прогонової будови крана [1–3]. Внаслідок перкосу мостів виникає втомне руйнування кранових металоконструкцій. В даній роботі розглядається напружено-деформований стан козлового крана з різними видами опор при перекосі мосту. Перший варіант опирання козлового крана – обидві жорсткі опори, а другий варіант опирання – одна жорстка, а інша гнучка опори.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Схеми дії навантажень на опори козлового крана з різними схемами опирання в період сталого руху наведені на рис. 1. В даній роботі розглядаються тільки сили перекосу, вплив на напружено-деформований