

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
БІОРЕСУРСІВ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ  
УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ НАУКОВИЙ ЦЕНТР «ІМЕСГ» НААН**



***ЗБІРНИК  
ТЕЗ ДОПОВІДЕЙ***

***VI Міжнародної науково-технічної конференції з нагоди  
112-ї річниці від дня народження  
доктора технічних наук, професора,  
члена-кореспондента ВАСГНІЛ,  
віце-президента УАСГН  
КРАМАРОВА  
Володимира Савовича  
(1906-1987)***

**«КРАМАРОВСЬКІ ЧИТАННЯ»**

***21-22 лютого 2019 року  
м. Київ***

УДК 621.87

**СИНТЕЗ ОПТИМАЛЬНОГО ЗА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЮ  
РЕГУЛЯТОРА РУХУ КРАНА ІЗ ВАНТАЖЕМ НА ГНУЧКОМУ ПІДВІСІ**

**Ю. О. РОМАСЕВІЧ**, доктор технічних наук, доцент,

**О. В. СТЕХНО**, аспірант,

**О. МАКАРОВ**, магістр першого року навчання

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

На даний час значна кількість козлових кранів працюють на складах лісоматеріалів. Однією із проблем при їх експлуатації є низька енергоефективність. Для підвищення енергоефективності їх електроприводів та довговічності елементів козлових кранів необхідно оптимізувати перехідні режими руху. Критерієм для проведення оптимізації у цьому випадку повинен бути інтегральний функціонал, що відображає середньоквадратичне значення

потужності приводного механізму. Такий критерій є нелінійним, тому його мінімізація є досить складною задачею.

При переміщенні вантажу козловим краном на нього можуть впливати зовнішні збурення, наприклад, вітрові пориви. Вони можуть викликати непередбачувані відхилення вантажу від вертикалі, що вплине на те, що бажані кінцеві фазові координати вантажу не будуть досягнені. Це означає, що у кінці розгону (або гальмування) залишаться коливання вантажу, що є небажаним.

Для того, щоб врахувати можливі непередбачувані збурення необхідно синтезувати регулятор руху крана, який дає змогу враховувати фактичний фазовий стан системи і оптимальним (за енергоефективністю) чином виконувати побудову керування рухом крана.

Задачу синтезу оптимального регулятора, який дає змогу мінімізувати енергоефективність перехідних режимів руху крана можна представити у такому вигляді:

$$\left\{ \begin{array}{l} \ddot{\delta}_1 m_1 + \ddot{\delta}_2 m_2 = F - W; \\ x_1 = x_2 + \delta_2 l / g; \\ \begin{cases} x_1(0) = x_2(0) = \dot{x}_1(0) = \dot{x}_2(0) = 0; \\ x_1(T) = x_2(T) = s; \dot{x}_1(T) = \dot{x}_2(T) = v; \end{cases} \\ I = \int_0^{\dot{\delta}} P^2 dt = \int_0^{\dot{\delta}} (F\dot{x}_1)^2 dt \rightarrow \min; \\ F = \arg \min(I), \end{array} \right. \quad (1)$$

де  $x_1, x_2$  – узагальнені координати зведених мас крана та вантажу відповідно;  $m_1, m_2$  – зведені маси крана та вантажу відповідно;  $W$  та  $F$  – зведені сили опору руху крана та приводу крана;  $T$  – тривалість перехідного режиму руху крана (наприклад, розгін);  $s$  – переміщення крана із вантажем у кінці перехідного режиму;  $v$  – усталена швидкість руху крана;  $P$  – потужність приводу механізму переміщення крана. Крапка над символом означає диференціювання за часом.

Задамо математичну форму оптимального регулятора:

$$F = \begin{cases} \dot{A}_0 + \dot{A}_1 \delta_1 + \dot{A}_2 \delta_2 + \dot{A}_3 \delta_1 + \dot{A}_4 \delta_2, & \text{якщо} \\ F_{\min} \leq \dot{A}_0 + \dot{A}_1 \delta_1 + \dot{A}_2 \delta_2 + \dot{A}_3 \delta_1 + \dot{A}_4 \delta_2 \leq F_{\max}; \\ F_{\min}, & \text{якщо } F_{\min} > \dot{A}_0 + \dot{A}_1 \delta_1 + \dot{A}_2 \delta_2 + \dot{A}_3 \delta_1 + \dot{A}_4 \delta_2; \\ F_{\max}, & \text{якщо } F_{\max} < \dot{A}_0 + \dot{A}_1 \delta_1 + \dot{A}_2 \delta_2 + \dot{A}_3 \delta_1 + \dot{A}_4 \delta_2; \end{cases} \quad (2)$$

де  $F_{\max}$  – максимальне рушійне зусилля приводу крана;  $F_{\min}$  – мінімальне рушійне зусилля приводу крана;  $A_0, A_1, A_2, A_3, A_4$  – коефіцієнти, які необхідно визначити. Таким чином, задачу синтезу оптимального регулятора зведено до задачі пошуку невідомих коефіцієнтів  $A_0, A_1, A_2, A_3, A_4$ .

Для розв'язання задачі представимо математичну модель руху системи (систему диференціальних рівнянь) у вигляді MISO-системи. Вхідними параметрами є чисельні значення коефіцієнтів  $A_0, A_1, A_2, A_3, A_4$ , а вихідним – величина термінально-інтегрального критерія:

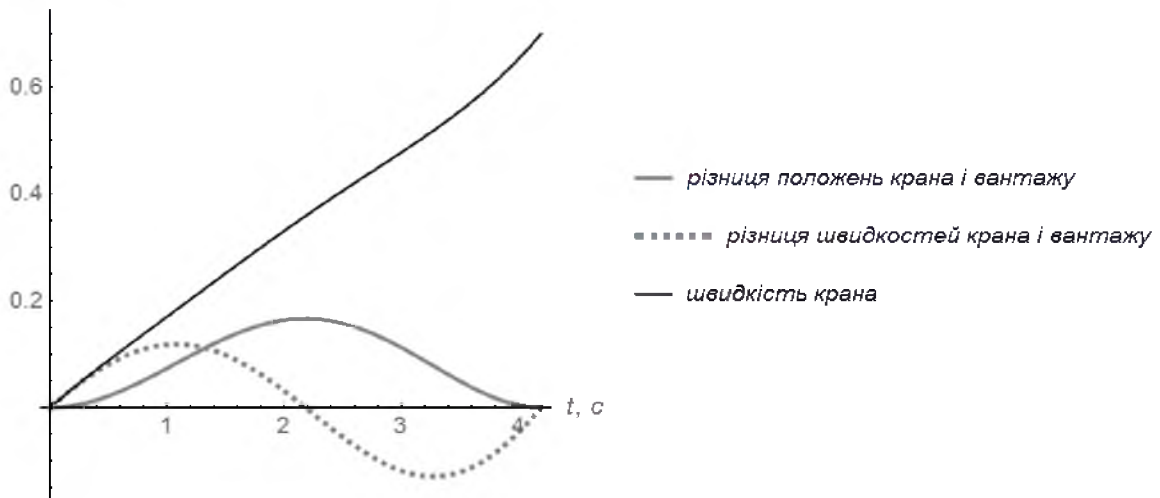
$$Cr = I + \psi \sqrt{(\delta_1(T) - s)^2 + (\delta_2(T) - s)^2 + (\delta_1(T) - v)^2 + (\delta_2(T) - v)^2} \rightarrow \min, (3)$$

де  $\psi$  – коефіцієнт, який показує важливість досягнення бажаного термінального стану системи (кінцевих умов її руху).

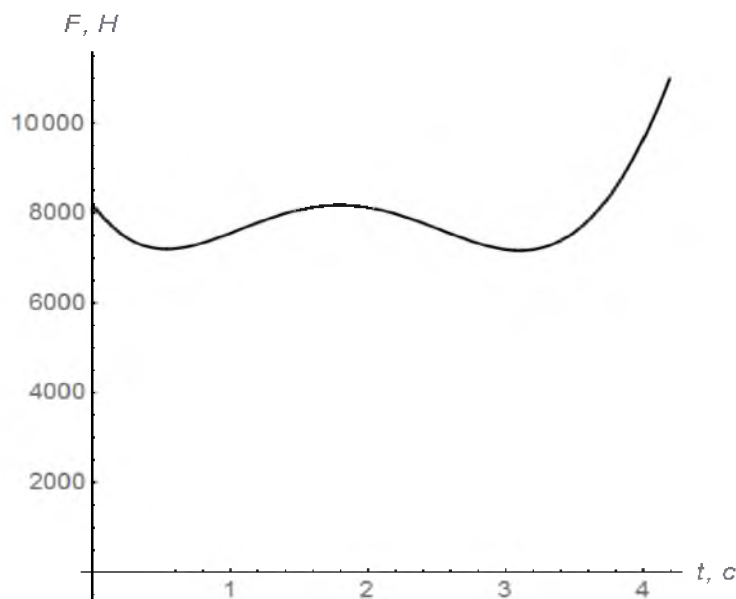
Для розв’язування цієї задачі використано модифікований метод рою часточок MEPSO. Всі розрахунки проведені для крана козлового крана ККС-10, який переміщує вантаж масою 5000 кг, довжина гнучкого підвісу прийнята рівною 5,0 м. У результаті отримані такі значення коефіцієнтів:  $A_0=8203$ ,  $A_1=48936$ ,  $A_2=-29371$ ,  $A_3=-22339$ ,  $A_4=-13735$ .

Результати використання оптимального регулятора проілюстровані за допомогою графіків функцій (рис. 1 та рис. 2).

$\Delta x, \text{ м}; \Delta \dot{x}, \text{ м/с}; \dot{x}_1, \text{ м/с}$



**Рис. 1. Кінематичні характеристики руху крана із вантажем на гнучкому підвісі протягом розгону**



**Рис. 2. Рушійне зусилля, що діє на козловий кран при його розгоні**

Таким чином, у роботі виконаний синтез оптимального за енергоефективністю регулятора руху козлового крана із вантажем на гнучкому

підвісі. Розроблена для синтезу регулятора методика може бути використана для інших задач оптимізації (наприклад, із критеріями швидкодії, мінімуму динамічних зусиль у металоконструкції крана тощо).