

ДИНАМІЧНА ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМУ РУХУ КРАНОВОГО МЕХАНІЗМУ ПЕРЕМІЩЕННЯ

У статті проведено аналіз раціональних та оптимальних способів усунення коливань вантажу. Математично обґрунтовано достовірність одного із відомих способів керування крановим механізмом переміщення з усуненням коливань вантажу, який закріплений на гнучкому підвісі. На основі аналізу даного способу виявлено його недоліки і переваги. Запропоновано шляхи усунення недоліків із збереженням переваг способу керування крановим механізмом переміщення. Виконано синтез оптимального за термінальними критеріями способу керування рухом крана, який близький до відомого способу.

Ключові слова: рух крана, раціональне керування, частотний асинхронний електропривід, термінальний функціонал.

Постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями. Для керування крановими механізмами переміщення останнім часом досить часто використовують частотні перетворювачі [1-3]. Вони практично витіснили традиційні електроприводи постійного струму та приводи на основі асинхронних двигунів із фазним ротором. Дійсно, частотно-керовані електроприводи наближаються за своїми регульовальними властивостями до двигунів постійного струму і навіть за окремими показниками в дечому їх перевищують. За енергетичними показниками частотне керування, як відомо [4, 5], є надзвичайно ефективним. Таким чином, необхідно чітко знати властивості (регульовальні, енергетичні, динамічні) сучасного частотного привода та вміти їх використовувати. Що стосується кранових механізмів, то тут використання частотного електропривода пов'язане із важливою задачею – усуненням коливань вантажу, закріпленого на гнучкому підвісі. Необхідно знаходити певний компроміс між задачами усунення коливань вантажу і використання електропривода без перевантажень. Для цього потрібно синтезувати керування, яке б задовольняло вказані вимоги. Однак більш ефективним буде керування, яке дає змогу поєднати вказані задачі й, більше того, задовольнити деякі додаткові вимоги, які формулюються у вигляді критеріїв оптимізації руху крана із вантажем.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, у яких започатковано розв'язання даної проблеми й на які спирається автор, виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується

означена стаття. Задачею усунення коливань вантажу, закріпленого на гнучкому підвісі, займалось багато дослідників [6-15]. Ці дослідження базувались на методах оптимального керування: варіаційного числення, принципу максимуму, динамічного програмування та теорії моментів. Отримані результати є оптимальними за певними критеріями: енергетичними, швидкодії, кінематичними, динамічними тощо. Необхідно зазначити, що оптимальні за одними критеріями закони руху крана є неоптимальними за іншими. Наприклад, оптимальне за швидкодією керування є неоптимальним за енергетичними витратами, динамічними і кінематичними показниками. Це пояснюється тим, що у процесі руху крана його швидкість може змінювати свій знак на протилежний, що досягається за рахунок реверсування електропривода. При цьому витрачається значна кількість електроенергії. Зміна знаку електромагнітного моменту двигуна при оптимальному керуванні викликає підвищення коефіцієнта динамічності у приводі крана: отже, такий режим руху є неоптимальним за цим показником.

Крім того, існує значний масив результатів, пов'язаних із задачею усунення коливань вантажу на гнучкому підвісі, які можна назвати раціональними. Для їх знаходження не використовують методи оптимального керування, а інші методи, наприклад, нечіткої логіки [16, 17]. Результати, отримані за допомогою цього методу, мають свої недоліки та переваги. Головна їх перевага – керування представляється у вигляді зворотного зв'язку, головний недолік – значна амплітуда коливань вантажу протягом процесу усунення коливань, що у деяких випадках недопустиме із технологічних міркувань.

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Метою проведеного дослідження є синтез оптимального за термінальними критеріями керування, яке дозволило б усунути коливання вантажу, закріпленого на гнучкому підвісі, протягом перехідних режимів руху крана. Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати такі завдання: 1) обґрунтувати для проведення досліджень динамічну та математичну моделі руху крана із вантажем на гнучкому підвісі; 2) провести розрахунок раціонального способу усунення коливань вантажу при незмінності знаку моменту на валу двигуна; 3) встановити бажані й небажані властивості даного способу; 4) встановити термінальні критерії, за якими буде здійснено оптимізацію руху крана; 5) виконати синтез оптимального керування краном, яке характеризувалось би бажаними показниками відомого раціонального способу.

Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів. Для досліджень приймемо динамічну модель, яка показана на рисунку 1. Таку динамічну модель використовували багато дослідників [6-20]. Подана на рисунку 1

модель руху крана із гнучким підвісом вантажу описується такою системою диференціальних рівнянь:

$$u^* = \begin{cases} \dot{u}, & \text{if } u_{\min} \leq u \leq u_{\max}; \\ u_{\min}, & \text{if } u < u_{\min}; \\ u_{\max}, & \text{if } u > u_{\max}, \end{cases} \quad (1)$$

де m_1 – приведена до поступального руху маса привідного механізму і крана; m_2 – маса вантажу; x_1, x_2 – координати центрів мас відповідно крана і вантажу; g – прискорення вільного падіння; l – довжина гнучкого підвісу; F – сумарне тягове або гальмівне зусилля, що діє на кран; W – приведена сила опору переміщенню крана. Точка над символом означає диференціювання за часом.

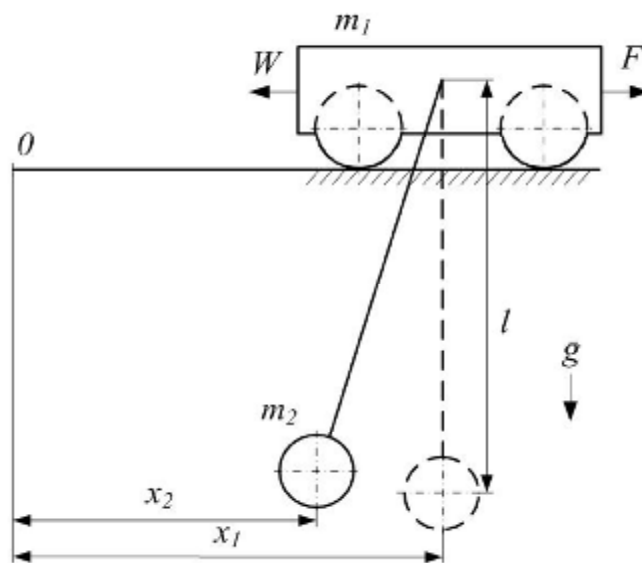


Рис. 1. Динамічна модель двомасової системи

Будемо вважати, що при переміщенні крана протягом розгону не змінюється напрям його швидкості, тобто $sign \dot{x}_1 = 1$. Це твердження обґрунтовується такими положеннями: приймемо, що кран (точка підвісу вантажу) рухається за таким законом:

$$x_1 = \begin{cases} \dot{v}_1 \frac{t^2}{2T_1}, & \text{при } t \in [0, T_1]; \\ v_1 \frac{e^{\alpha t} - 1}{\alpha} - \frac{T_1 \ddot{\alpha}}{2\alpha}, & \text{при } t \in [T_1, T_1 + DT]; \\ v_1 \frac{(t^2 - T_1^2 - 2tDT + (T_1 + DT)^2)}{2T_1}, & \text{при } t \in [T_1 + DT, 2T_1 + DT], \end{cases} \quad (2)$$

де v_1 – проміжна швидкість руху крана; T_1 – тривалість розгону крана до заданої швидкості; DT – тривалість руху крана на проміжній швидкості v_1 ; t – час. Для проведення подальших досліджень приймемо, що

$$v_1 = \frac{v}{2}, \quad (3)$$

де v – усталена швидкість крана. Вираз (3) використовується лише в рамках даного дослідження і не є універсальним.

Для того, щоб наочно оцінити рух крана, приведемо його графік зміни швидкості при розгоні (рис. 2).

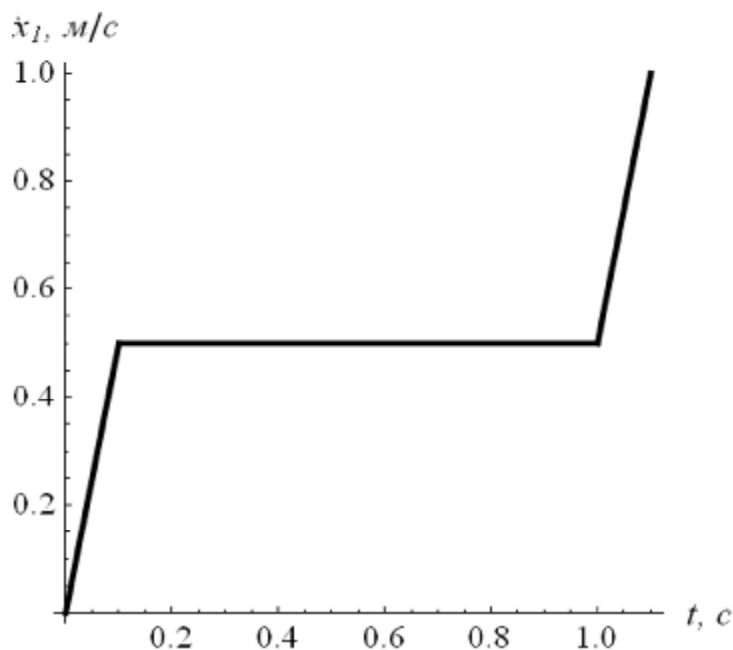


Рис. 2. Графік зміни швидкості крана протягом розгону

Для побудови графіка на рисунку 2 прийнято: $v=1\text{ м/с}$, $DT=0,9\text{ с}$, $T_1=0,1\text{ с}$.

Зазначимо, що діаграма зміни швидкості, представлена на рисунку 2, досить легко реалізується за допомогою сучасного частотно-керованого привода. Для цього необхідно провести лише три налаштування: встановити дві номінальні швидкості, причому перша вдвічі менша від другої, а друга дорівнює швидкості усталеного руху крана, також необхідно встановити тривалість розгону T_1 .

Надалі знайдемо закони руху вантажу для кожного етапу: для $t \in [0, T_1]$, $t \in [T_1, T_1+DT]$ і для $t \in [T_1+DT, 2T_1+DT]$. Знаходження законів руху вантажу пов'язане із розв'язуванням диференціального рівняння

$$x_{2i} + W_0^2 x_{2i} = x_{1i}, \quad (4)$$

де x_{2i} – шуканий закон руху вантажу на i -тому етапі руху; x_{1i} – закон руху крана на i -тому етапі руху; W_0 – частота власних коливань нерухомого маятника ($W_0 = \sqrt{\frac{g}{l}}$). Показник i пробігає значення від 1 до 3 по мірі руху крана із вантажем. Приймаємо нульовими початкові умови для першого

етапу руху. Для другого та третього етапів руху вантажу початкові умови знаходяться за умовою „зшивання” розв’язків, тобто кінцеві умови для першого етапу є початковими для другого, аналогічно кінцеві умови для другого етапу є початковими для третього.

Не будемо подавати хід розв’язання приведеної задачі, а лише запишемо остаточні результати:

$$\begin{aligned}
 & (v_1(-2 + t^2 W_0^2 + 2 \cos(t W_0))), \text{ при } t \in [0, T_1]; \\
 & \frac{1}{2W_0^2} ((2t - T_1)v_1 W_0 + (2x_2(T_1) - T_1 v_1) W_0 \cos((t - T_1) W_0) + 2(\xi_2(T_1) - v_1) \cdot \\
 & \cdot \sin((t - T_1) W_0)), \text{ при } t \in [T_1, T_1 + DT]; \\
 & \frac{1}{2T_1 W_0^2} (v_1(-2 + (t^2 + 2tT_1 - T_1^2 - 2t(T_1 + DT)^2 + (T_1 + DT)^2) W_0^2) + (2v_1 + T_1 \cdot \\
 & \cdot (T_1 v_1 - 2(T_1 + DT)v_1 + 2\xi_2(T_1 + DT)) W_0^2) \cos((t - T_1 - DT) W_0) + 2T_1(\xi_2(T_1 + \\
 & + DT) - v_1) W_0 \sin((t - T_1 - DT) W_0)), \text{ при } t \in [T_1 + DT, 2T_1 + DT].
 \end{aligned} \tag{5}$$

Знайдемо тепер вирази, які описують кінцеві значення положення та швидкості вантажу:

$$\begin{aligned}
 x_2(2T_1 + DT) &= \frac{v_1}{T_1 W_0^2} (-1 + T_1(2T_1 + DT) W_0^2 + \\
 & + \cos(T_1 W_0) - \cos((T_1 + DT) W_0) + \cos((2T_1 + DT) W_0)),
 \end{aligned} \tag{6}$$

$$\xi_2(2T_1 + DT) = \frac{v_1}{T_1 W_0} (2T_1 W_0 - \sin(T_1 W_0) + \sin((T_1 + DT) W_0) - \sin((2T_1 + DT) W_0)). \tag{7}$$

На основі виразів (6) та (7) знайдемо формулу, яка описує енергію залишкових коливань вантажу на гнучкому підвісі

$$\begin{aligned}
 E(2T_1 + DT) &= E_{кин}(2T_1 + DT) + E_{ном}(2T_1 + DT) = \frac{m_2 v_1^2}{2T_1^2 W_0^2} (2 - 2 \cos(T_1 W_0) - \\
 & - 2 \cos(DT W_0) + 2 \cos((T_1 + DT) W_0) - \cos((2T_1 + DT) W_0) W_0),
 \end{aligned} \tag{8}$$

де $E_{кин}(2T_1 + DT)$ – кінетична енергія коливань вантажу в момент часу $2T_1 + DT$, тобто у момент закінчення розгону крана; $E_{ном}(2T_1 + DT)$ – потенціальна енергія коливань вантажу в момент часу $2T_1 + DT$.

Поставимо задачу: знайти розв’язок рівняння

$$E(2T_1 + DT) = 0 \tag{9}$$

відносно параметра DT . Рівняння (9) є трансцендентним алгебраїчним рівнянням, розв’язок якого представляється у такому вигляді:

$$DT = \frac{P}{W_0} - T_1. \tag{10}$$

Проведемо порівняння за швидкодією усунення коливань вантажу отриманого та відомого [18, 19] способів. Для цього побудуємо графік функції тривалості процесу усунення коливань вантажу від аргументу довжини гнучкого підвісу (рис. 3).

На рисунку 3 штриховою лінією зображено графік для способу описаного в [18, 19] (спосіб, при якому тривалість розгону дорівнює

тривалості періоду власних коливань вантажу рухомого математичного маятника, помноженому на 2ρ). Аналізуючи графіки, наведені на рисунку 3, можна прийти до висновку, що до деякої межі тривалості T_1 закон руху крана (2) за швидкодією переважає „базовий” закон, запропонований у працях [18, 19].

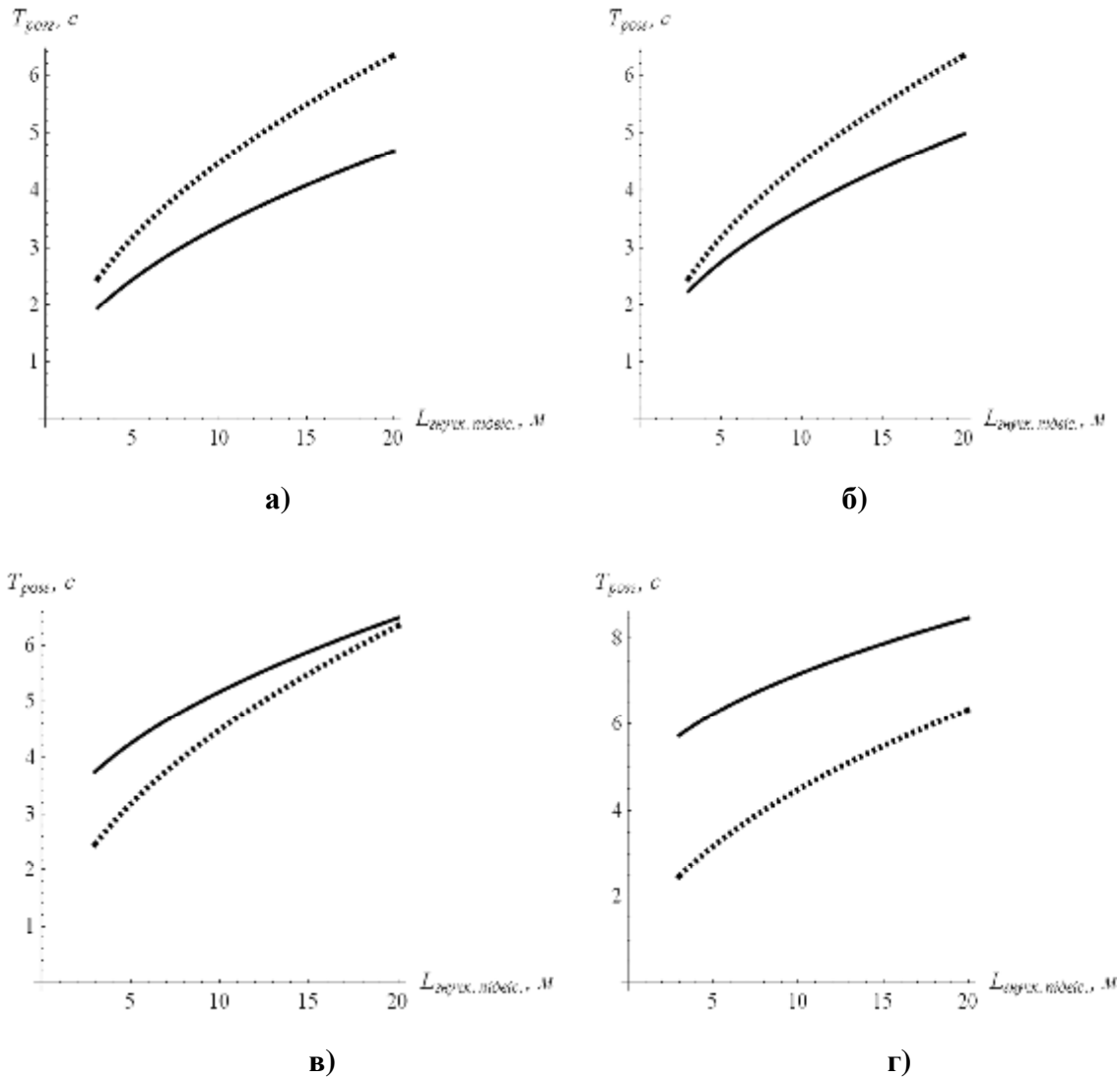


Рис. 3. Графіки тривалості розгону до номінальної швидкості крана при різній тривалості розгону до проміжної швидкості: $T_1 = 0,2c$ (а), $T_1 = 0,5c$ (б), $T_1 = 2c$ (в), $T_1 = 4c$ (г)

Можна просто отримати значення T_1 , при якому ще доцільно за критерієм швидкодії використовувати закон руху (2). Для цього необхідно розв'язати рівняння, яке встановлює рівність тривалостей розгону за законами (2) та за „базовим” законом [18, 19]. У розгорнутому вигляді це рівняння записуємо таким чином:

$$T_1 + \frac{\rho}{W_0} = \frac{2\rho}{W_0} \sqrt{\frac{m_1}{m_1 + m_2}}. \quad (11)$$

Розв'язок рівняння (11) такий:

$$T_1 = \frac{\rho}{W_0} \frac{\infty}{e} \sqrt{\frac{m_1}{m_1 + m_2}} - 1 \frac{\ddot{\theta}}{\theta} \quad (12)$$

Наведемо графіки функції динамічної складової приводного зусилля, яке дозволяє реалізувати заданий спосіб (рис. 4).

Аналізуючи графік функції динамічної складової приводного зусилля приходимо до висновку, що вона (функція) має розривний характер. Подальший аналіз способу усунення коливань вантажу показує його цінну властивість: незмінність знаку динамічної складової приводного зусилля. Динамічну складову приводного зусилля відповідно до першого рівняння системи (1) записуємо таким чином:

$$F_{дин} = m_1 \ddot{x} + m_2 \ddot{x} \quad (13)$$

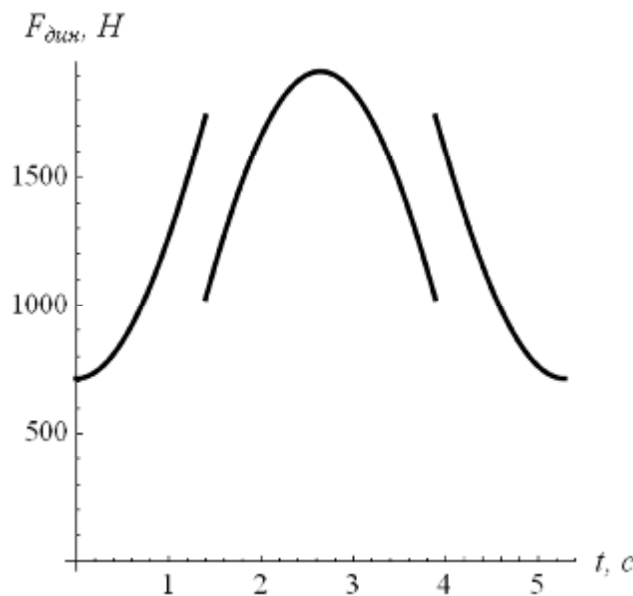


Рис. 4. Графік зміни динамічної складової зусилля привода для закону (2), (10)

Дійсно, прискорення крана – це кусково-постійна функція, яка не має від'ємних значень: перший та третій етапи кран рухається із додатним прискоренням, а другий із нульовим. Що стосується прискорення вантажу, то аналіз цієї функції дає змогу встановити те, що вона також додатна на всьому проміжку розгону крана. Таким чином, є справедливою нерівність $F_{дин} \geq 0$.

Огляд патентної інформації показує, що спосіб, описаний раніше, вже є відомим – він запатентований фірмою Konecranes [21, 22]. Перейдемо до недоліків способу. Головний недолік цього способу керування рухом крана – розривність функції $F_{дин}$. Крім того, на початку та в кінці розгону $F_{дин}$ не дорівнює нулю, що додатково збільшує динамічну навантаженість кранового привода і викликає струмові перевантаження електродвигуна та

частотного перетворювача. Звичайно ці небажані властивості можна зменшити шляхом подовження тривалості розгону крана до проміжної швидкості.

Поставимо задачу: знайти таке керування, при якому б забезпечувались вимоги щодо невід'ємності функції $F_{\text{дин}}$ із одночасною мінімізацією термінальних критеріїв:

$$\begin{cases} \dot{F}_{\text{дин}}^2(0) \text{ @ } \min; \\ \dot{F}_{\text{дин}}^2(2T_1 + DT) \text{ @ } \min. \end{cases} \quad (14)$$

Абсолютні мінімуми термінальних функціоналів (14) досягають за умов:

$$\begin{cases} \dot{x}_1(0) = \dot{x}_2(0) = 0; \\ \dot{x}_1(2T_1 + DT) = \dot{x}_2(2T_1 + DT) = 0. \end{cases} \quad (15)$$

Для забезпечення умов (15) необхідно певним чином підібрати функцію x_1 . Прийнемо функцію x_1 у такому вигляді:

$$x_1 = \begin{cases} \frac{t^3(t - 2T_1)v_1}{2T_1^3}, \text{ при } t \in [0, T_1]; \\ v_1 \left(\frac{t - T_1}{DT} \right)^2 - \frac{T_1}{2} \frac{\ddot{x}_1}{\ddot{x}_2}, \text{ при } t \in [T_1, T_1 + DT]; \\ \frac{v_1}{2T_1^3} (-t^4 - 6t^2(T_1 + DT)(2T_1 + DT) + t^3(6T_1 + 4DT) - (2T_1 + DT)(2T_1^3 + 4T_1^2DT + 4T_1DT^2 + DT^3)) + 2t(6T_1^3 + 12T_1^2DT + 9T_1DT^2 + 2DT^3), \text{ при } t \in [T_1 + DT, 2T_1 + DT]. \end{cases} \quad (16)$$

Приведемо графік функції швидкості руху крана (рис. 5).

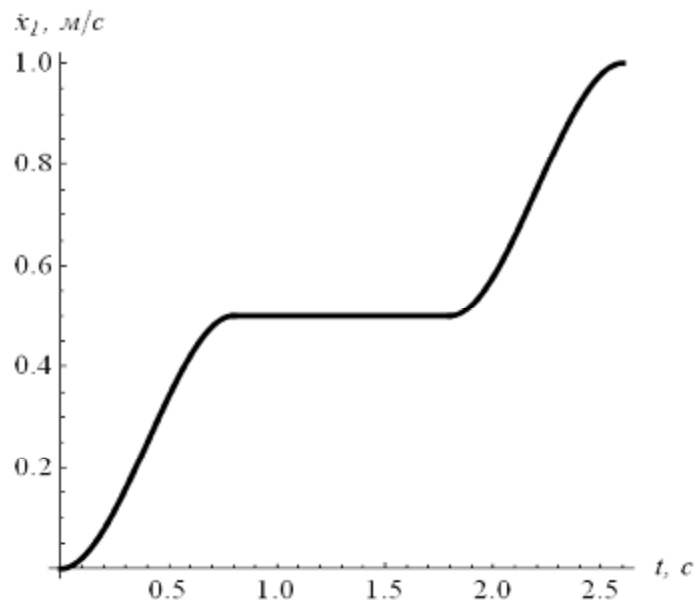


Рис. 5. Графік зміни швидкості крана протягом розгону

Не будемо спинятись на методиці знаходження енергії залишкових коливань вантажу при русі крана за законом (16), оскільки вона подібна до

приведеного вище закону (2). Зазначимо, що закон руху (16) також можна досить просто реалізувати за допомогою частотно-керованого асинхронного електропривода крана. Для цього необхідно лише змінити профіль кривої, за яким здійснюється розгін із лінійного на S-подібний [1]. Однак тут необхідно зробити одне зауваження: для лінійних та S-подібних ділянок зміни швидкості крана повинна бути виконана умова рівності переміщення крана на величину $\frac{v_1 T_1}{2}$.

Запишемо вираз енергії залишкових коливань вантажу

$$E(2T_1 + DT) = \frac{288m_2 v_1^2 \cos \frac{\alpha}{2} (T_1 + DT) W_0 \frac{\partial^2 \alpha}{\partial t^2} T_1 W_0 \cos \frac{\alpha T_1 W_0}{2} \frac{\partial \alpha}{\partial t} - 2 \sin \frac{\alpha T_1 W_0}{2} \frac{\partial \alpha}{\partial t}}{T_1^6 W_0^6}. \quad (17)$$

Трансцендентне рівняння (17) має розв'язок, який збігається із (10). Таким чином, зробивши лише одне налаштування у частотному перетворювачі переходимо від раціонального керування до оптимального. Представимо графік зміни функції $F_{дин}$ (рис. 6).

Аналіз графіка, представленого на рисунку 6, показує, що розриви функції першого роду зникли, що позитивно позначається на приводі та металоконструкції крана. Проте функція $F_{дин}$ для закону (10), (16) має різкі перегини у точках переходу від одного етапу до іншого – це є небажаною властивістю закону руху, оскільки може викликати „м'які” удари у кінематичних зачепленнях привода. Значення $F_{дин}$ посередині інтервалу розгону не змінилось.

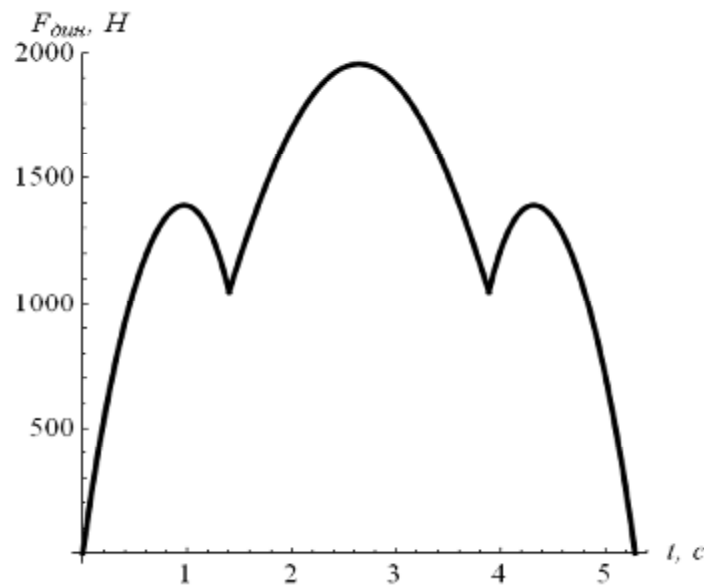


Рис. 6. Графік зміни динамічної складової зусилля привода для закону (10), (14)

Для того, щоб забезпечити експлуатацію механізму переміщення крана без „м'яких” ударів необхідно забезпечити виконання таких умов:

$$\begin{aligned}
& \dot{x}_1(0) = \dot{x}_2(0) = \dot{x}_3(0) = \dot{x}_4(0) = 0; \\
& \ddot{x}_1(T_1) = \ddot{x}_2(T_1) = \ddot{x}_3(T_1) = \ddot{x}_4(T_1) = 0; \\
& \ddot{x}_1(T_1 + DT) = \ddot{x}_2(T_1 + DT) = \ddot{x}_3(T_1 + DT) = \ddot{x}_4(T_1 + DT) = 0; \\
& \ddot{x}_1(2T_1 + DT) = \ddot{x}_2(2T_1 + DT) = \ddot{x}_3(2T_1 + DT) = \ddot{x}_4(2T_1 + DT) = 0.
\end{aligned} \tag{18}$$

Забезпечення умов (18) дає змогу синтезувати оптимальний закон руху за термінальними критеріями:

$$\begin{aligned}
& \dot{F}_{дин}^2(0) \textcircled{R} \min; \dot{F}_{дин}^2(0) \textcircled{R} \min; \\
& \ddot{F}_{дин}^2(T_1) \textcircled{R} \min; \\
& \ddot{F}_{дин}^2(T_1 + DT) \textcircled{R} \min; \\
& \ddot{F}_{дин}^2(2T_1 + DT) \textcircled{R} \min; \ddot{F}_{дин}^2(2T_1 + DT) \textcircled{R} \min.
\end{aligned} \tag{19}$$

Не будемо подавати розв'язок цієї задачі, оскільки вона подібна до наведених раніше, а лише проілюструємо кінцевий результат (рис. 7). Зазначимо, що закон зміни динамічної складової привідного зусилля, графік якого наведено на рисунку 7, доставляє абсолютні мінімуми термінальним критеріям (19).

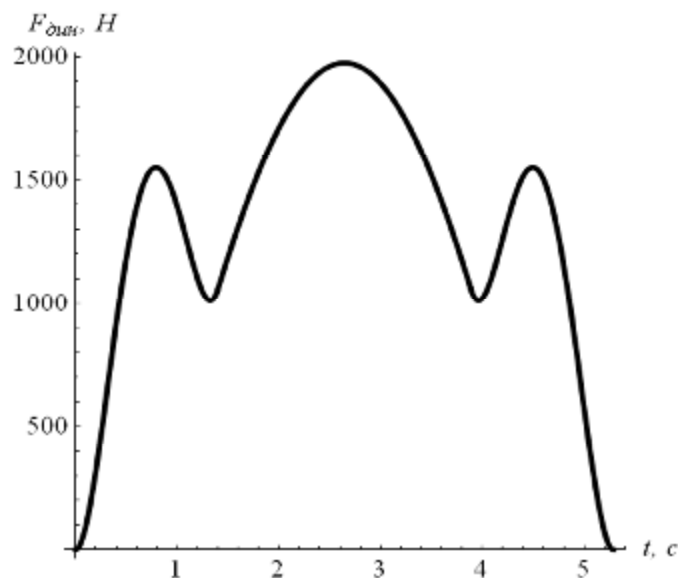


Рис. 7. Графік зміни динамічної складової зусилля привода для екстремалі термінальних критеріїв (17)

Висновки з даного дослідження.

Проведені дослідження дали змогу математично обґрунтувати відомий спосіб усунення коливань вантажу, закріпленого на гнучкому підвісі. Цей спосіб у дослідженні названо раціональним, оскільки при його реалізації динамічна складова привідного зусилля не змінює свій знак. Це є цінною властивістю закону руху, оскільки виключає значні струмові перевантаження електропривода крана та динамічні навантаження у кінематичних зачепленнях привода. Однак раціональне керування має певні небажані характеристики: розриви першого роду функції динамічної

складової привідного зусилля і нерівність її нулю на початку та у кінці розгону. Було поставлено задачу синтезувати такий закон руху, при якому залишились би бажані характеристики закону руху і були мінімізовані небажані, що є задачею оптимального керування. У даному дослідженні знайдено розв'язок такої задачі та проаналізовано отримані результати. Встановлено, що реалізація оптимального закону руху крана досягається відповідним налаштуванням опції частотного перетворювача. Було поставлено „жорсткіші” умови для оптимізації руху крана й отримано розв'язок задачі. Збільшення термінальних критеріїв для синтезу оптимального керування дає ще кращі показники руху крана із збереженням бажаних характеристик для попереднього закону руху. Що стосується величини динамічної складової привідного зусилля у середині інтервалу розгону крана, то вона не змінилась.

Література

1. *FR-E700. Преобразователь частоты. Инструкция по эксплуатации (FR-E720 EC, FR-E740 EC): [каталог]. – [Москва: Mitsubishi Electric Europe B.V.]. – 526 с.: іл.*
2. *Руководство пользователя преобразователей MICROMASTER 440: [каталог]. – [Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский технический центр поддержки SIEMENS]. – 140 с.: іл.*
3. *Altivar 31. Преобразователи частоты для асинхронных электродвигателей. Руководство по программированию: [каталог]. – [Telemecanique]. – 77 с.: іл.*
4. *Фираго Б.И. Теория электропривода: учебн. пособие / Б.И. Фираго, Л.Б. Павлячик. – Мн.: ЗАО „Техноперспектива”, 2004. – 527 с.*
5. *Панкратов В.В. Энергооптимальное векторное управление асинхронными электроприводами: учебн. пособие / В.В. Панкратов, Е.А. Зима. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2005. – 120 с.*
6. *Бушер В.В. Асинхронный электропривод подъемно-транспортных механизмов с микропроцессорным управлением: автореф. дисс. на соиск. научн. степ. канд. техн. наук: спец. 05.09.03 „Электрические комплексы и системы, включая их управление и регулирование” / В.В.Бушер. –Одесса, 1993. – 16 с.*
7. *Мельникова Л.В. Автоматизация технологического процесса перемещения механизма с подвешенным грузом средствами микропроцессорного управления: дисс. на соиск. научн. степ. канд техн. наук: 05.09.03 / Мельникова Любовь Васильевна. – Одесса, 2000. – 116 с.*
8. *Свиргун В.П. Разработка оптимальных законов управления мостовым грейферным краном и применение микропроцессорной системы для их реализации: автореф дисс. на соиск. научн. степ. канд техн. наук: спец. 05.05.05 „Подъемно-транспортные машины” / В.П. Свиргун. – Х., 1989. – 15 с.*
9. *Смехов А.А. Оптимальное управление подъемно-транспортными машинами / А.А. Смехов, Н.И. Єрофеев. – М.: Машиностроение, 1975. – 239 с.*

10. *Моделювання динаміки механізмів вантажопідійомних машин / [Ловейкін В.С., Човнюк Ю.В., Діктерук М.Г., Пастушенко С.І.]. – К. – Миколаїв: РВВ МДАУ, 2004. – 286 с.*
11. *Будиков Л.Я. Многопараметрический анализ динамики грузоподъемных кранов мостового типа / Будиков Л.Я. – Луганск: Издательство ВУГУ, 1997. – 210 с.*
12. *Герасимьяк Р.П. Анализ и синтез крановых электромеханических систем / Р.П. Герасимьяк, В.А. Лежнев. – Одесса.: СМІЛ, 2008. – 192 с.*
13. *Черноусько Ф.Л. Управление колебаниями / Черноусько Ф.Л., Акуленко Л.Д., Соколов Б.Н. – М.: Наука, 1980. – 384 с.*
14. *Геронимус Я.Л. О некоторых методах определения оптимального закона движения, рассматриваемого как управляющее воздействие / Я.Л. Геронимус, М.М. Перельмутер // Машиноведение. – 1966. – № 6. – С. 6-24.*
15. *Ловейкин В.С. Расчеты оптимальных режимов движения механизмов строительных машин / Ловейкин В. С. – К.: УМК ВО, 1990. – 168 с.*
16. *Терехов В.М., Осипов О.И. Системы управления электроприводов: учебник / Терехов В.М., Осипов О.И.; под ред. Терехова В.М. – Саратов: Изд. центр „Академия”, 2005. – 300 с.*
17. *Сохадзе А.Г. Мехатронная система грузоподъемного крана для автоматической стабилизации положения груза и управления его движением: дисс. на соиск. научн. степ. канд. тех. наук: 05.02.05 / Сохадзе Александр Георгиевич. – Новочеркасск, 2006. – 218 с.*
18. *Комаров М.С. Динамика грузоподъемных машин / Комаров М.С. – М.: Машиностроение, 1969. – 206 с.*
19. *Казак С.А. Динамика мостовых кранов / Казак С.А. – М.: Машиностроение, 1968. – 331 с.*
20. *Лобов Н. А. Динамика грузоподъемных кранов / Лобов Н. А. – М.: Машиностроение, 1987. – 160 с.*
21. *Пат. 2007/0023378 А1 США МПК В66С 13/06. Method for controlling a crane / Mikko Porma, Kimmo Hytonen; заявник та власник KCI Konecranes PLC; заявл. 16.07.2004; опубл. 22.06.2006.*
22. *Пат. 7484632 В2 США МПК В66С 13/06. Method for controlling a crane / Kimmo Hytonen; заявник та власник KCI Konecranes PLC; заявл. 16.07.2004; опубл. 13.01.2006.*

Надійшла до редакції 20.11.2012

© В. С. Ловейкін, Ю. О. Ромасевич

УДК 621.873

В. С. Ловеikin, д.т.н., проф.,

Ю. О. Ромасевич, к.т.н.

Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины

ДИНАМИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМА ДВИЖЕНИЯ КРАНОВОГО МЕХАНИЗМА ПЕРЕМЕЩЕНИЯ

В статье проведен анализ рациональных и оптимальных способов устранения колебаний груза. Математически обоснована достоверность одного из известных способов управления крановым механизмом перемещения с устранением колебаний груза, который закреплен на гибком подвесе. На основе анализа данного способа выявлены его недостатки и преимущества. Предложены пути устранения недостатков с сохранением преимуществ способа управления крановым механизмом перемещения. Выполнен синтез оптимального по терминальным критериям способа управления движением крана, который близкий к известному способу.

Ключевые слова: *движение крана, рациональное управление, частотный асинхронный электропривод, терминальный функционал.*

UDC 621.873

V. S.Lovejkin, Doctor of Technical Sciences, Professor,

J.O.Romasevich, Ph. D.,

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

DYNAMICAL OPTIMISATION OF CRANE MOVING MECHANISM MOTION MODE

In article the analysis of rational and optimum ways of elimination of fluctuations of cargo is carried out. Reliability of one of known ways of management by the mechanism of moving of the crane with elimination of fluctuations of cargo which is fixed on a flexible rope is mathematically well-founded. On the basis of the analysis of the given way its revealed lacks and advantages. Ways of elimination of lacks with preservation of advantages of a way of management by the mechanism of moving of the crane are offered. Synthesis optimum by terminal criteria of a way of traffic control of the crane, which close to a known way is executed.

Keywords: *crane movement, rational management, the frequency asynchronous electric drive, terminal functional.*