



УДК 62-83

РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ВІД ЗАСТОСУВАННЯ ОПТИМАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ РУХОМ МОСТОВОГО КРАНА

Ромасевич Ю.О., к.т.н., докторант кафедри конструювання машин, НУБіП України

В статті проведено моделювання руху мостового крана обладнаного частотно-керованим асинхронним приводом. Модель динаміки руху крана прийнята чотиримасовою. Використана динамічна механічна характеристика приводу. Проведені розрахункові експерименти по дослідженню енергетичних показників руху крана при різних опційних налаштуваннях частотно-керованого приводу та при оптимальному керуванні рухом крана. Розраховано величину зменшення енергоспоживання крана.

Мостовий кран, математична модель, динамічна механічна характеристика, частотний перетворювач.

Постановка проблеми. При інтенсивних перевантажувальних процесах, які виконуються мостовими кранами, витрачається значна кількість електроенергії. Значна частина споживаної краном електроенергії йде на шкідливий нагрів кранових приводних двигунів, що зумовлює їх передчасний вихід з ладу. Постає питання, чи можна зменшити небажані електричні втрати.

Важливою задачею також є розрахунок вартості зекономленої електроенергії. Вказаний розрахунок потрібний для того, щоб провести оцінку терміну окупності частотних перетворювачів, за допомогою який здійснюється керування рухом мостового крана.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Моделювання роботи мостового крана при постійному рушійному зусиллі (моменті) виконано у роботах [1-3]. Динамічні процеси, що виникають у мостовому крані при зміні моменту двигуна в залежності від ковзання чи в результаті проходження електромагнітних перехідних процесів двигуна приведені у роботах [4-6].

Достатньо високі енергетичні показники досягаються при керованому русі крана. Однією з тенденцій у сучасному кранобудуванні є перехід від релейних систем керування крановими електроприводами до частотних [7, 8]. Використання частотних перетворювачів дозволяє значно знизити витрати електроенергії на виконання переміщень крана. Однак, навіть при частотному керуванні крановими електроприводами існують значні резерви економії енерговитрат крана, що можуть бути реалізовані за рахунок оптимального керування.

Постановка мети та задач дослідження. Метою даної роботи є оцінка зниження енергоспоживання крана при оптимальному керуванні та застосуванні частотно-керованого електроприводу. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

1. провести моделювання динаміки руху крана, який обладнаний частотно-керованим приводом за стандартними та оптимальними законами зміни частоти напруги живлення кранових двигунів;
2. розрахувати величину зменшення енерговитрат крана;
3. розрахувати вартість зекономленої електроенергії для різних груп промислових споживачів.

Виклад матеріалу.

Для проведення дослідження використаємо динамічну модель руху мостового крана, яка показана на рис. 1.

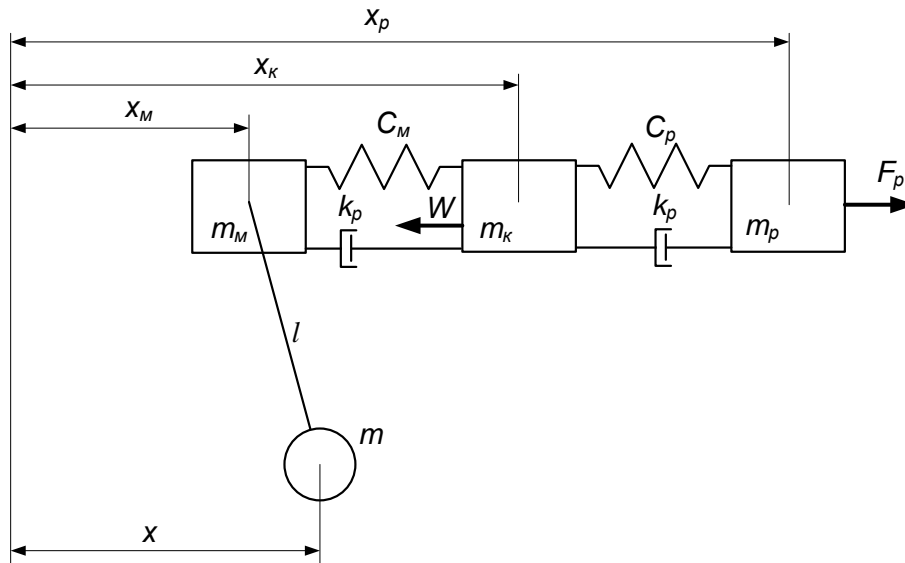


Рис. 1. Чотиримасова динамічна модель руху мостового крана із вантажем на гнучкому підвісі

Динаміка руху крана із врахуванням збурюючої дії від асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором описується такою системою диференціальних рівнянь:

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{di_{1\alpha}}{dt} &= \frac{1}{\delta L_1} (u_{1\alpha} - i_{1\alpha} R_1 + k_r e_{2\alpha}); \\ \frac{di_{1\beta}}{dt} &= \frac{1}{\delta L_1} (u_{1\beta} - i_{1\beta} R_1 - k_r e_{2\beta}); \\ \frac{di_{2\alpha}}{dt} &= -\frac{1}{\delta L_2} ((u_{1\alpha} - i_{1\alpha} R_1) k_s + e_{2\alpha}); \\ \frac{di_{2\beta}}{dt} &= -\frac{1}{\delta L_2} ((u_{1\beta} - i_{1\beta} R_1) k_s - e_{2\beta}); \\ 3pL_{12} \frac{u\eta_{пер}}{r_{кол}} (i_{1\beta} i_{2\alpha} - i_{1\alpha} i_{2\beta}) &= m_p \ddot{x}_p + c_p (x_p - x_k) + k_p (\dot{x}_p - \dot{x}_k); \\ m_k \ddot{x}_k &= c_p (x_p - x_k) + k_p (\dot{x}_p - \dot{x}_k) - c_M (x_k - x_M) - k_M (\dot{x}_k - \dot{x}_M) - W \text{sign}(\dot{x}_k); \\ m_M \ddot{x}_M &= c_M (x_k - x_M) + k_M (\dot{x}_k - \dot{x}_M) - \frac{mg}{l} (x_M - x); \\ \ddot{x} &= \frac{g}{l} (x_M - x), \end{aligned} \right. \quad (1)$$

де u – передаточне число механізму переміщення крана; $r_{кол}$ – радіус приводного колеса крана; $\eta_{пер}$ – ККД передач приводу крана; W – опір переміщенню мостового крана, прикладений до коліс кінцевих балок; l – довжина гнучкого підвісу вантажу; g – прискорення вільного падіння; $i_{1\alpha}$, $i_{1\beta}$ – проекції узагальненого вектора струму статора на нерухомі координатні осі α і β ; $i_{2\alpha}$, $i_{2\beta}$ – проекції узагальненого вектора струму ротора на нерухомі координатні осі α і β ; L_1 , L_2 – індуктивності статорної та роторної обмоток; L_{12} – взаємодукція; k_r і k_s – коефіцієнти магнітного зв'язку ротора та статора відповідно



$(k_r = \frac{L_{12}}{L_2}; k_s = \frac{L_{12}}{L_1})$; M – електромагнітний момент двигуна; p – кількість пар полюсів електричної машини; $u_{1\alpha}, u_{1\beta}$ – проекції узагальненого вектора напруги статора на координатні осі α і β ($u_{1\alpha} = U_{\max} \cos(2\pi \int f dt)$, $u_{1\beta} = U_{\max} \sin(2\pi \int f dt)$); U_{\max} – амплітуда фазної напруги живлення двигуна; f – частота напруги живлення двигуна; $e_{2\beta}, e_{2\alpha}$ – ЕРС, що індукуються потокозчепленнями ротора по осях α і β відповідно ($e_{2\alpha} = p\omega_{\dot{\alpha}\dot{\alpha}}(L_2 i_{2\beta} + L_{12} i_{1\beta}) + i_{2\alpha} R_2$, $e_{2\beta} = p\omega_{\dot{\alpha}\dot{\alpha}}(L_2 i_{2\alpha} + L_{12} i_{1\alpha}) - i_{2\beta} R_2$); R_1 – активний опір статорної обмотки; R_2 – приведений до статора активний опір роторної обмотки; δ – коефіцієнт розсіювання ($\delta = 1 - \frac{1}{\left(1 + \frac{X_1}{2\pi f L_{12}}\right) \left(1 + \frac{X_2}{2\pi f L_{12}}\right)}$); X_1 – індуктивний опір

статорної обмотки; X_2 – приведений до статора індуктивний опір роторної обмотки; m_p, m_k, m_m, m – приведені до поступального руху маси приводного механізму, кінцевих балок, моста і вантажу відповідно; x_p, x_k, x_m, x – узагальнені координати, які відповідають масам m_p, m_k, m_m и m ; c_p, c_k, c_m – приведені жорсткості привода, кінцевих балок і моста крана відповідно; k_p, k_m – приведені коефіцієнти дисипації в приводі і крановому мості відповідно. Крапка над символом означає диференціювання за часом.

Приведений нижче розрахунок ґрунтується на визначенні економії електроенергії при використанні оптимального керування вантажопідйомним краном. Зекономлена електроенергія визначається як різниця між витратами електроенергії при використанні однієї зі стандартних характеристик розгону та гальмування (лінійна, S-подібна та подвійна S-подібна) та використанні оптимального закону руху крана, який доставляє мінімум критерію:

$$I_{F_p} = \left[\frac{1}{T} \int_0^T F_p^2 dt \right]^{\frac{1}{2}} \rightarrow \min, \quad (2)$$

де F_p – приведені до поступального руху зусилля приводного механізму.

Для визначеності прийемо лінійну характеристику розгону та гальмування крана, а тривалість розгону оберемо рівною 6 секунд (при такій тривалості коливання вантажу на гнучкому підвісі усуваються достатньо якісно). Для цього випадку розраховано зниження споживання електроенергії крановим приводом. Всі дані занесені у таблицю 1.

Таблиця 1.

Показники зниження енергоспоживання за один цикл руху крана

	Енергетичні показники		
	абсолютне зниження енергоспоживання, $\Delta E_{\text{лін-опт}}$, Дж	абсолютне зниження енергоспоживання, $\Delta E_{\text{лін-опт}}$, кВт·год	відносне зниження енергоспоживання, $\Delta E_{\text{лін-опт}}$, %
Значення показника	40121	$11,14 \cdot 10^{-3}$	18,12

Тепер визначимо вартість зекономленої електроенергії для різних класів напруги промислових споживачів. Для цього необхідно абсолютну величину зниження енергоспоживання $\Delta E_{\text{лін-опт}}$ (у кіловатах за годину) помножити на вартість електроенергії, яка відпускається промисловим споживачам різних класів напруги. Для першого класу напруги живлення економія вартості електроенергії за один цикл руху крана складає 0,836 копійок, а для другого – 1,065 копійок.

СЕКЦІЯ 1

«Інформаційно-технологічне суспільство в змісті сучасної освіти» «Моделі розвитку технічних інновацій в змісті сучасної освіти»»



Для того, щоб визначити економічну ефективність від використання оптимального закону руху мостового крана необхідно вартість зекономленої електроенергії за один цикл руху крана помножити на кількість циклів руху крана за весь період його експлуатації. Результати проведених розрахунків наведені у таблиці 2.

Таблиця 2.

Вартість зекономленої електроенергії за весь період експлуатації крана

	Класи напруги живлення промислових споживачів			
	перший		другий	
	Кількість циклів руху крана			
	$1,6 \cdot 10^4$	$4 \cdot 10^6$	$1,6 \cdot 10^4$	$4 \cdot 10^6$
Вартість зекономленої електроенергії, грн	133,76	33440	170,40	42600

Отже, застосування оптимальних законів руху крана ефективно лише при умові значної інтенсивності перевантажувальних робіт, які виконує кран.

Висновок. Розраховано економічну ефективність від застосування оптимальних законів руху мостового крана із вантажем на гнучкому підвісі. Встановлено, що економічна ефективність проявляється лише при значній інтенсивності роботи крана. Отже, мехатронне обладнання, яке використовується для реалізації оптимальних законів руху крана, може бути повністю окуплене за рахунок зниження енергоспоживання крана.

Список літератури

1. Комерзан Е.В. Моделирование и анализ процесса разгона мостового крана / Е.В. Комерзан, О.М. Кирасиров // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. – 2008. - № 4 (Выпуск 26). – С. 27-31.
2. Макурин А.В. Динамика продольного перемещения мостового крана с учетом упругости элементов конструкции / А.В. Макурин, Д.И. Морозов // Электротехнічні та комп'ютерні системи. – Вип. 3. – С. 167-169.
3. Ахтулов А.Л. Теоретическое исследование и моделирование процесса разгона грузоподъемного крана мостового типа / А.Л. Ахтулов, О.М. Кирасиров, Е.В. Комерзан // Омский научный вестник. – №1. – С. 59-63.
4. Будиков Л.Я. Многопараметрический анализ динамики грузоподъемных кранов мостового типа / Л.Я. Будиков– Луганск: Издательство ВУГУ, 1997. – 210 с.
5. Григоров О.В. Совершенствование рабочих характеристик крановых механизмов: дисс. на соиск. степ. доктора техн. наук: 05.05.05 / Григоров Отто Владимирович. – Х., 1995. – 386 с.
6. Герасимьяк Р.П. Анализ и синтез крановых электромеханических систем / Р.П. Герасимьяк, В.А. Лещёв. – Одесса.: СМІЛ, 2008. – 192 с.
7. Попов В.А. Модернизация систем управления приводов кранов на ломоперерабатывающих предприятиях / В.А. Попов, А.И. Иордан, С.А. Губский // Подъемные сооружения. Специальная техника. – 2007. – №7. – С. 30-34.
8. Радимов С.Н. Частотный электропривод механизмов кранов с напольным управлением / С.Н. Радимов, К.А. Аниченко, А.В. Горячев, В.Н. Супрученко // Подъемные сооружения. Специальная техника. – 2007. – №7(71) – С. 22-24.

В статье проведено моделирование движения мостового крана, который оборудован частотно-управляемым приводом. Модель динамики движения крана принята четырехмассовой. Использована динамическая механическая характеристика привода. Проведены расчетные эксперименты по исследованию энергетических показателей движения крана при различных опционных настройках частотно-управляемого привода и



**Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції
професорсько-викладацького складу, науковців, аспірантів і студентів
«Роль інститутів освіти та науки у формуванні інноваційної культури суспільства»**

при оптимальном управлении движением крана. Рассчитана величина уменьшения энергопотребления крана.

Ключевые слова: мостовой кран, математическая модель, динамическая механическая характеристика, частотный преобразователь.

The bridge crane movement modeling, which have frequency-controlling drive, have been carried out. Crane movement dynamic model have been assumed four-mass. Dynamical mechanical characteristic of drive have been used. Calculation experiments of movement crane power indexes researching with difference adjustments frequency-controlling drive and with crane movement optimal control have been carried out. Decrease of crane's power consumption have been calculated.

Keywords: bridge crane, mathematical model, dynamical mechanical characteristic , inverter.

**ECONOMICAL EFFICIENCY CALCULATION BY BRIDGE CRANE OPTIMAL
CONTROL OF MOVEMENT USING**

Y. Romasevich