

arranged in the lower part of the casing is that the management area of seed holes in the modification of the application is a technical challenge, because the opening performance affect its shape and size, bed height fertilizers, physical and mechanical properties of fertilizers and their moisture content. To ensure uniform distribution of fertilizer in a fertilizer distributing apparatus uses the helical structure in which the upper edge of the sowing openings located above the upper boundary of the body of bulk, and cross-sectional area of all holes provides the necessary maximum capacity. It was experimentally discovered the effect of the design parameters and operating modes of the spiral fertilizer distributing machine and its components on the uniform distribution of fertilizers for working widths of the machine. On the basis of the conducted study investigated factors, aimed at ensuring the distribution of fertilizers with non-uniformity, which does not exceed the permissible values in accordance with the agronomic requirements.

Key words: *mineral fertilizers, fertilizing machines, spiral rod fertilizer distributing machine, uniformity of application*

УДК 621.01: 621.87

СИНТЕЗ ОПТИМАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ РУХОМ ВАНТАЖОПІДЙОМНОГО КРАНА

***В. С. Ловеїкін, Ю. О. Ромасевич, доктори технічних наук
Національний університет біоресурсів і
природокористування України***

***А. С. Хорошун, кандидат фізико-математичних наук
Інститут механіки ім. С. П. Тимошенка
e-mail: romasevichyuriy@ukr.net***

Анотація. *На основі динамічної моделі руху мостового крана із вантажем на гнучкому підвісі побудовано його математичну модель, яка представляється у вигляді системи звичайних неоднорідних лінійних диференціальних рівнянь другого порядку. Обґрунтовано вибір критерію для проведення оптимізації та режиму руху крана. Наведено постановку та аналіз задачі оптимального за інтегральним комплексним критерієм керування рухом вантажопідйомного крана із вантажем на гнучкому підвісі. Із використанням умови Лежандра встановлено, що обраний оптимізаційний критерій може бути мінімізований. Встановлено, що поставлену задачу неможливо розв'язати методом*

© В. С. Ловеїкін, Ю. О. Ромасевич, А. С. Хорошун, 2017

варіаційного числення. Для отримання наближеного розв'язку задачі побудовано „опорну” функцію, яка знайдена як розв'язок багатоточкової крайової задачі. Це забезпечило гладкість наближеного розв'язку варіаційної задачі. Для ілюстрації отриманих результатів побудовані фазові портрети коливань, з яких видно, що коливання вантажу та елементів крана у момент виходу крана на усталену швидкість припиняються. Таким чином, навантаження кранової металоконструкції, а також елементів механізму переміщення крана динамічними зусиллями відбувається лише під час розгону та гальмування крана. Крім того, збільшується продуктивність його роботи, оскільки коливання вантажу не зумовлюють додаткових мікропереміщень крана для їх усунення.

Ключові слова: вантажопідйомний кран, динамічні навантаження, оптимальне керування, метод коллокацій

Постановка проблеми. Сучасні мостові крани працюють із значними номінальними швидкостями, що викликано необхідністю підвищення продуктивності їх роботи. Іншими вимогами до роботи кранів є висока енергоефективність та довговічність. Одночасне забезпечення вказаних вимог, які мають суперечливий характер, вимагає вивчення динамічних та енергетичних процесів, що мають місце протягом перехідних процесів. Це пояснюється тим, що механізми крана працюють в основному у повторно-короткочасному режимі. Одним із підходів щодо забезпечення ефективної експлуатації мостових кранів є оптимізація режимів їх руху. Актуальність розв'язання оптимізаційних задач (у різних постановках) керування рухом вантажопідйомних кранів не викликає сумніву, оскільки дає змогу підвищити продуктивність, надійність та енергоефективність роботи механізмів вантажопідйомних кранів.

Аналіз останніх досліджень. Динамічні та енергетичні процеси у вантажопідйомних машинах та механізмах, що супроводжують перехідні процеси їх руху, досліджені у роботах [1–6]. Однак, у цих роботах не враховані можливості сучасних систем керування рухом кранових механізмів, які можуть реалізувати практично будь-яку діаграму зміни швидкості або крутного моменту.

У роботах [6, 7] показано, що при реостатному керуванні швидкістю приводу крана у його елементах виникають значні динамічні навантаження. Реостатне керування швидкістю супроводжується інтенсивними енергетичними втратами у приводних двигунах. Для усунення цих небажаних факторів, а також для підвищення продуктивності роботи крана за рахунок усунення

коливань вантажу на гнучкому підвісі необхідно виконати оптимізацію режиму його пуску та гальмування.

Аналіз публікацій показує, що шляхом оптимізації режимів руху кранових механізмів вдається знизити рівень динамічних навантажень у елементах крана, покращити енергоефективність його роботи, збільшити продуктивність та у деякій мірі зменшити навантаження на кранівника.

Мета досліджень є синтез оптимального керування рухом мостового вантажопідйомного крана та аналіз динаміки його руху при оптимальному керуванні.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання: 1) виконати постановку та аналіз задачі оптимального керування рухом вантажопідйомного крана із вантажем на гнучкому підвісі; 2) виконати розв'язок задачі за допомогою варіаційних підходів; 3) проаналізувати отримані результати за кінематичними та динамічними показниками.

Результати досліджень. Для проведення досліджень приймемо чотиримасову динамічну модель руху мостового крана із вантажем на гнучкому підвісі (рис. 1), в якій всі маси вважаємо зведеними до поступального руху крана. Крім того, не будемо враховувати зазори в приводі, пробуксовування приводних коліс крана та вважаємо, що візок знаходиться всередині прольоту моста.

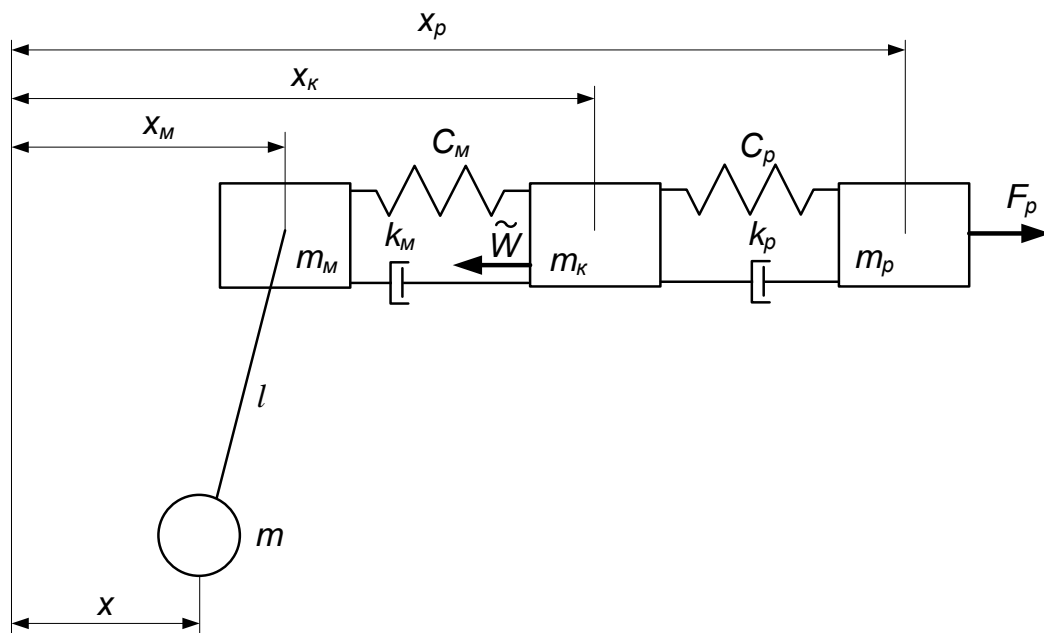


Рис. 1. Чотиримасова динамічна модель руху мостового крана із вантажем на гнучкому підвісі.

Наведена на рис. 1 модель динаміки руху мостового крана описується системою диференціальних рівнянь:

$$\begin{cases} m_p \ddot{x}_p = F_p - c_p (x_p - x_k) - k_p (\dot{x}_p - \dot{x}_k); \\ m_k \ddot{x}_k = c_p (x_p - x_k) + k_p (\dot{x}_p - \dot{x}_k) - c_m (x_k - x_m) - k_m (\dot{x}_k - \dot{x}_m) - \tilde{W}; \\ m_m \ddot{x}_m = c_m (x_k - x_m) + k_m (\dot{x}_k - \dot{x}_m) - \frac{mg}{l} (x_m - x); \\ \ddot{x} = \frac{g}{l} (x_m - x), \end{cases} \quad (1)$$

де: F_p – зведена рушійна сила приводних механізмів;

m_p, m_k, m_m, m – зведені маси приводу, кінцевих балок, кранового моста та вантажу відповідно;

x_p, x_k, x_m, x – узагальнені координати відповідних зведених мас;

c_p, c_m – зведені коефіцієнти жорсткостей механічних передач приводу та кранового моста відповідно;

k_p, k_m – зведені коефіцієнти демпфування механічних передач приводу та кранового моста відповідно;

\tilde{W} – опір переміщенню мостового крана, який прикладений до коліс кінцевих балок;

l – довжина гнучкого підвісу вантажу;

g – прискорення вільного падіння.

Крапка над символом означає диференціювання за часом. В моделі динаміки руху крана (1) не враховано коефіцієнт демпфування коливань вантажу на гнучкому підвісі, що не призводить до значних похибок.

Зазначимо, що гальмування крана виконується за діаграмою зміни швидкості, яка є дзеркальним відображенням діаграми швидкості крана при розгоні. Це не викликає значних труднощів при реалізації оптимального гальмування крана. Тому будемо шукати розв'язок задачі оптимального керування лише для режиму розгону.

У постановці оптимізаційної задачі не будемо враховувати зведені коефіцієнти демпфування механічних передач приводу та кранового моста, оскільки вони не мають значимого впливу на динаміку руху крана протягом перехідних режимів.

Для оптимізації режиму розгону крана будемо вимагати мінімізації комплексного інтегрального критерію:

$$\begin{aligned} I &= \left[\frac{1}{T} \int_0^T \delta_1 F_p^2 + \delta_2 \left(c_m (x_k - x_m) - \frac{mg}{l} (x_m - x) \right)^2 dt \right]^{\frac{1}{2}} = \\ &= \left[\frac{1}{T} \int_0^T \delta_1 \left(W + A_1 \ddot{x} + A_2 \overset{IV}{x} + A_3 \overset{VI}{\dot{x}} + A_4 \overset{VIII}{x} \right)^2 + \delta_2 \left(A_5 \ddot{x} + A_6 \overset{IV}{x} \right)^2 dt \right]^{\frac{1}{2}} \rightarrow \min, \end{aligned} \quad (2)$$

де: δ_1 та δ_2 – вагові коефіцієнти, які показують важливість складових;

T – тривалість розгону крана із вантажем на гнучкому підвісі;

$A_1, A_2, A_3, A_4, B_1, B_2$ – постійні коефіцієнти, що отримані на основі математичних перетворень виразів у системі рівнянь (1) і які визначаються із наступних виразів: $A_1 = m_m + m + m_p + m_k$;

$$A_2 = \frac{(m_m + m)(m_p + m_k)}{c_m} + \frac{m_p(m_m + m + m_k)}{c_p} + (m_m + m_k + m_p) \frac{l}{g};$$

$$A_3 = \frac{(m_m + m)m_p m_k}{c_p c_m} + \left(\frac{m_p(m_m + m_k)}{c_p} + \frac{m_m(m_p + m_k)}{c_m} \right) \frac{l}{g}; \quad A_4 = \frac{m_m m_p m_k}{c_p c_m} \frac{l}{g};$$

$$A_5 = m_m + 2m; \quad A_6 = \frac{m_m l}{g}.$$

Підінтегральний вираз критерію (2) представлений квадратичною функцією, що вказує на її додатність. Вона, в свою чергу, забезпечує наявність додатного скінченного екстремуму критерію (2), та встановлює математичну можливість його пошуку.

Вибір інтегрального типу критерію (2) для задачі оптимізації руху крана пов'язаний з тим, що такий тип критерію відображає небажані показники роботи крана протягом часу T : величину середнього рушійного зусилля кранового приводу та середньоквадратичне зусилля, що діє на крановий міст. Необхідно зменшити ці показники, оскільки це дозволяє знизити динамічні зусилля у механічних передачах та крановій балці і зменшити змінні електричні втрати у приводному двигуні, що підвищить енергоефективність крана [8].

Виконуючи дослідження функціоналу (2) на тип екстремуму за умовою Лежандра, можна впевнитись у тому, що критерій (2) може набувати мінімуму. Дійсно, завжди виконується посилена умова Лежандра [9]:

$$\frac{\partial^2 f}{\partial (x)^2} = 2A_4^2 > 0. \quad (3)$$

де: f – підінтегральний вираз критерію (2).

Розв'язок задачі оптимального руху крана з вантажем на гнучкому підвісі спробуємо знайти за допомогою методу варіаційного числення. Використання варіаційного числення вимагає знаходження та розв'язування рівняння Ейлера-Пуассона [9], яке є необхідною умовою екстремуму функціоналу (оптимізаційного критерію):

$$\sum_{i=0}^n (-1)^i \frac{d^i}{dt^i} \frac{\partial f}{\partial x} = 0, \quad (4)$$

де: n – найбільший порядок похідної функції $x(t)$, яка входить у оптимізаційний критерій. Проведемо аналіз оптимізаційної задачі

(1)–(2). Для цього знайдемо необхідну умову мінімуму критерію (2) – рівняння Ейлера-Пуассона:

$$x + B_1 x + B_2 x + B_3 x + B_4 x + B_5 x + B_6 x = 0, \quad (5)$$

де: $B_1, B_2, B_3, B_4, B_5, B_6$ – постійні коефіцієнти, які залежать від параметрів системи „кран-вантаж”.

Для розв’язування однорідного диференціального рівняння (5) необхідно скласти характеристичне рівняння:

$$r^{16} + B_1 r^{14} + B_2 r^{12} + B_3 r^{10} + B_4 r^8 + B_5 r^6 + B_6 r^4 = 0, \quad (6)$$

яке винесенням множника r^4 та заміною $r^2 = z$ зводиться до такого:

$$z^2(z^6 + B_1 z^5 + B_2 z^4 + B_3 z^3 + B_4 z^2 + B_5 z + B_6) = 0. \quad (7)$$

Рівняння (7) не має розв’язків у радикалах, тому отримати розв’язок диференціального рівняння (5) у аналітичному вигляді неможливо. Таким чином, оптимізаційна задача (1)-(2) не може бути розв’язана у аналітичному вигляді. Для знаходження розв’язку варіаційної задачі (1)–(2) застосуємо прямий варіаційний метод [10]. Для цього знайдемо розв’язок крайової задачі:

$$\left\{ \begin{array}{l} x = 0; \\ x(0) = \dot{x}(0) = \ddot{x}(0) = \ddot{\ddot{x}}(0) = x^{IV}(0) = x^V(0) = x^{VI}(0) = x^{VII}(0) = 0; \\ x\left(\frac{T}{2}\right) = q_1; \dot{x}\left(\frac{T}{2}\right) = q_2; \ddot{x}\left(\frac{T}{2}\right) = q_3; \\ \dot{x}(T) = v; \\ \ddot{x}(T) = \ddot{\ddot{x}}(T) = x^{IV}(T) = x^V(T) = x^{VII}(T) = 0; \\ x(T) = -W c_m g / m_m m_k l, \end{array} \right. \quad (8)$$

де: v – усталена швидкість руху крана;

q_1, q_2, q_3 – невідомі параметри.

В крайових умовах (8) обрано три постійні параметри q_1, q_2, q_3 , оскільки така їх кількість забезпечує достатнє наближення до точного розв’язку. Розв’язок крайової задачі (8) представляється у наступному вигляді.

Отримавши функцію (9), неважко знайти інтеграл (2). Для того, щоб „опорна” функція (9) доставляла мінімум критерію (2) необхідно розв’язати систему алгебраїчних рівнянь:

$$\frac{\partial I}{\partial q_i} = 0, \quad i = 1, 2, 3 \quad (10)$$

відносно параметрів q_1, q_2, q_3 .

$$\begin{aligned}
x = & -\frac{1}{65718720T^{16}}t^7((2t-T)T((2t-T)((2t-T)(-2880(15438626t^6 - \\
& -102458862t^5T + 284974668t^4T^2 - 425521586t^3T^3 + 360103125t^2T^4 - \\
& -163947975tT^5 + 31419172T^6)v + (lm_{\kappa}m_{\mathcal{M}})^{-1}gT^5(281460t^6 - 1797050 \times \\
& \times t^5T + 4791768t^4T^2 - 6832272t^3T^3 + 5496030t^2T^4 - 2365995tT^5 + \\
& + 426072t^6)Wc_{\mathcal{M}}) + 1474560T(33932t^7 - 249536t^6T + 788602t^5T^2 - 1388776 \times \\
& \times t^4T^3 + 1472496t^3T^4 - 940452t^2T^5 + 335213tT^6 - 51480T^7)q_1) - 5898240 \times \\
& \times (114688t^8 - 927412t^7T + 3284716t^6T^2 - 6656758t^5T^3 + 8444872t^4T^4 - \\
& - 6869512t^3T^5 + 3500578t^2T^6 - 1022243tT^7 + 131072T^8)q_2) + 94371840 \times \\
& \times (90090t^9 - 768768t^8T + 2908620t^7T^2 - 6403320t^6T^3 + 9039030t^5T^4 - \\
& - 8484840t^4T^5 + 5297292t^3T^6 - 2122120t^2T^7 + 495495tT^8 - 51480T^9)q_3).
\end{aligned}
\tag{9}$$

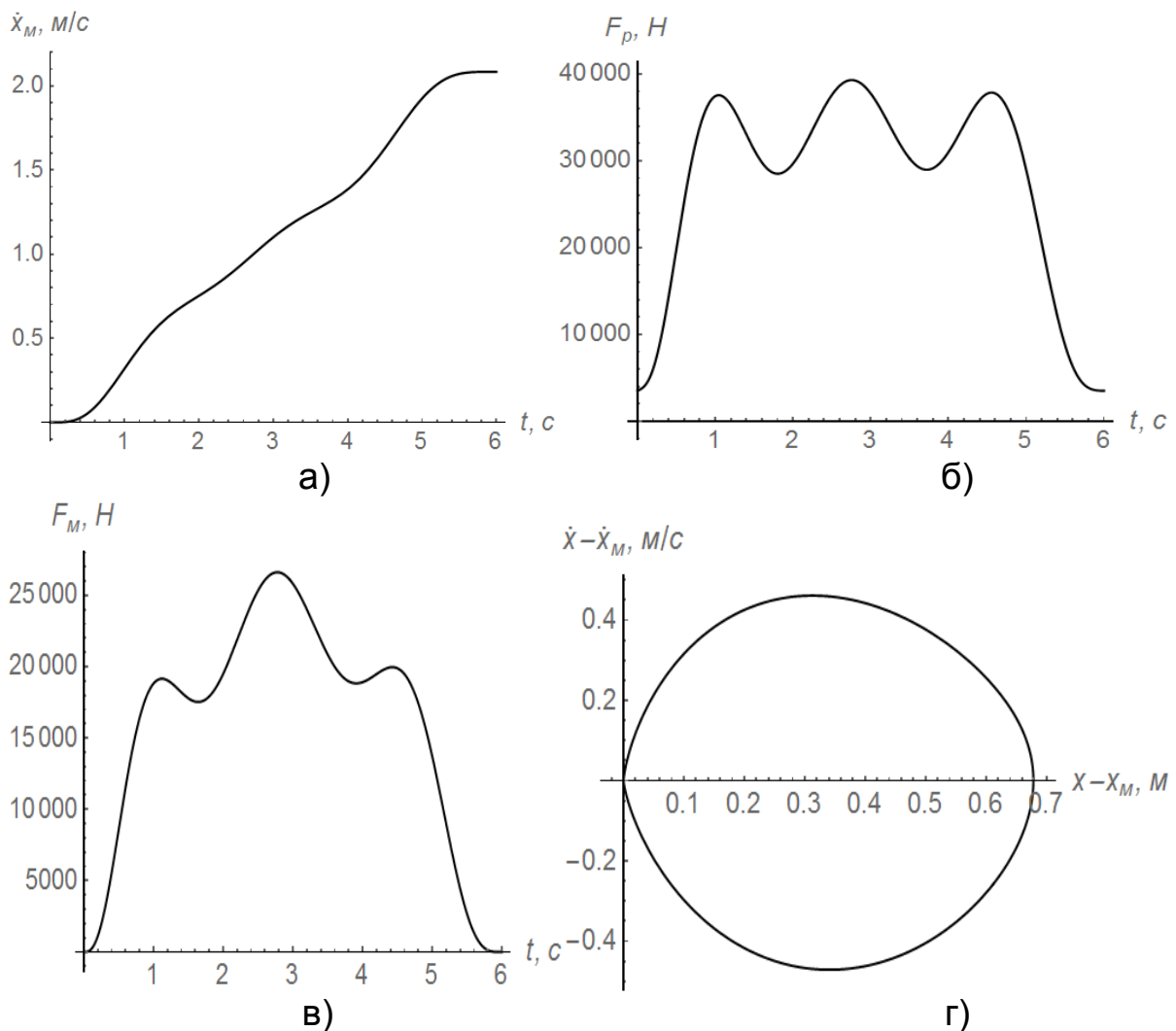


Рис. 2. Графіки кінематичних та динамічних характеристик руху мостового крана із вантажем на гнучкому підвісі: а) швидкість руху моста; б) рушійне зусилля приводу; в) зусилля у крановому мості; г) фазовий портрет маятникових коливань вантажу.

Підставляючи розв'язки системи алгебраїчних рівнянь (10) у вираз (9), отримаємо функцію, яка є наближенням до екстремалі функціонала (2).

Наведемо графіки функцій (рис. 2), які отримані на основі виразу (9), для наступних параметрів крана: $v=2,1$ м/с; $T=6$ сек; $l=8$ м; $m_p=3500$ кг; $m_k=20500$ кг; $m_m=26000$ кг; $m=20000$ кг; $c_p=96 \cdot 10^5$ Н/м; $c_m=69 \cdot 10^5$ Н/м.

Аналізуючи графіки, які наведені на рис. 2, можна прийти до висновку, що кінематичні та динамічні функції руху крана із вантажем на гнучкому підвісі описуються гладкими функціями, що не супроводжується виникненням значних динамічних навантажень у елементах крана.

Крім того, фазові портрети коливань елементів крана та вантажу на гнучкому підвісі показують їх повне усунення в момент виходу крана на усталену швидкість.

Отже, коливні процеси виникають лише у перехідних процесах руху крана, що знижує рівень динамічної навантаженості його елементів та підвищує продуктивність роботи, оскільки після зупинки крана можна відразу виконувати опускання вантажу та інші технологічні операції.

Висновки

У роботі виконано постановку задачі оптимального керування рухом вантажопідйомного мостового крана із вантажем на гнучкому підвісі на основі комплексного інтегрального критерію.

Аналіз задачі показав, що її розв'язок неможливо виконати із допомогою класичного варіаційного числення.

Застосування прямого варіаційного методу дозволив знайти наближений розв'язок задачі.

Моделювання руху крана показало повне усунення коливань вантажу та інших елементів крана у кінці розгону, що дозволило підвищити продуктивність його роботи та забезпечило мінімізацію динамічних навантажень. Це, у свою чергу, підвищує довговічність кранової металоконструкції та приводу механізму переміщення мостового крана.

Список літератури

1. Гохберг М. М. Металлические конструкции подъемно-транспортных машин. Москва. Машиностроение. 1969. 520 с.
2. Лобов Н. А. Динамика грузоподъемных кранов. Москва. Машиностроение. 1987. 160 с.
3. Герисамьяк Р. П., Лещев В. А. Анализ и синтез крановых электромеханических систем. Одеса. СМІЛ. 2008. 192 с.

4. *Ловеїкін В. С., Човнюк Ю. В., Діктерук М. Г., Пастушенко С. І.* Моделювання динаміки механізмів вантажопідійомних машин. Київ. Миколаїв. РВВ МДАУ. 2004. 286 с.
5. *Ловеїкін В. С., Ромасевич Ю. О.* Аналіз та синтез режимів руху механізмів вантажопідійомних машин. Київ. ТЦ Компрінт. 2012. 298 с.
6. *Будиков Л. Я.* Многопараметрический анализ динамики грузоподъемных машин мостового типа. Луганск. Из-во ВУГУ. 1997. 210 с.
7. *Ловеїкін В. С., Ромасевич Ю. О.* Динаміка і оптимізація режимів руху мостових кранів. Київ. ТЦ Компрінт. 2016. 314 с.
8. *Смехов А. А., Ерофеев Н. И.* Оптимальное управление подъемно-транспортными машинами. Москва. Машиностроение, 1975. 239 с.
9. *Петров Ю. П.* Вариационные методы теории оптимального управления. Ленинград. Энергия. 1977. 280 с.
10. *Ловеїкін В. С., Ромасевич Ю. О.* Оптимізація перехідних режимів руху механічних систем прямим варіаційним методом. Київ-Ніжин. ПП Лисенко М. М. 2010. 184 с.

References

1. *Gohberg M. M.* (1969). Metallicheskie konstruksii pod'emno-transportnyih mashin [Metal constructions of load-lifting machines]. Mashinostroenie. 520.
2. *Lobov N. A.* (1987). Dinamika gruzopod'emnyih kranov [Dynamics of cranes]. Mashinostroenie. 160.
3. *Gerasimyak R. P., Leschev V. A.* (2008). Analiz i sintez kranovyih elektromekhanicheskikh sistem [Analysis and synthesis of crane electromechanical systems]. Odessa. SMIL. 192.
4. *Loveykin V. S., Chovnyuk Yu. V., Dikteruk M. G., Pastushenko S. I.* (2004). Modelyuvannya dinamiki mehanizmiv vantazhopidyomnih mashin [Modeling of hoisting machines]. Kiyv. Mikolayiv. RVV MDAU. 286.
5. *Loveykin V. S., Romasevich Yu. O.* (2012). Analiz ta sintez rezhimiv ruhu mehanizmiv vantazhopidyomnih mashin [Analysis and synthesis modes of motion hoisting machines]. Kiyv. TsP KOMPRINT. 298.
6. *Budikov L. Ya.* (1997). Mnogoparametricheskiiy analiz dinamiki gruzopod'emnyih kranov mostovogo tipa [Multivariable analysis of the dynamics of the bridge-type cranes]. Izd-vo VUGU. 210.
7. *Loveykin V. S., Romasevich Yu. O.* (2016) Dinamika i optimizatsiya rezhimiv ruhu mostovih kraniv [Dynamics and optimization of traffic overhead cranes]. Kiyv. TsP KOMPRINT. 314.
8. *Smehov A. A., Erofeev N. I.* (1975). Optimalnoe upravlenie podemno-transportnymi mashinami [Optimal control of handling machinery] Moscow. Engineering. 239.
9. *Petrov Ju. P.* (1977). Variacionnye metody teorii optimal'nogo upravleniya [Variational methods of optimal control theory]. Energija. 280.
10. *Loveykin V. S., Romasevich Yu. O.* (2010). Optimizatsiya perehidnih rezhimlv ruhu mehanichnih sistem pryamim variatsiynim metodom [Optimization of transients regimes of movement of mechanical systems with the direct variational method]. Kiyv. Nizhyn. 184.

СИНТЕЗ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ ГРУЗОПОДЪЕМНОГО КРАНА

В. С. Ловейкин, Ю. А. Ромасевич, А. С. Хорошун

Аннотация. На основе динамической модели движения мостового крана с грузом на гибком подвесе построена его математическая модель, которая представляется в виде системы обыкновенных неоднородных линейных дифференциальных уравнений второго порядка. Обоснован выбор критерия для проведения оптимизации и режима движения крана. Приведены постановка и анализ задачи оптимального по интегральному комплексному критерию управления движением грузоподъемного крана с грузом на гибком подвесе. С использованием условия Лежандра установлено, что выбранный оптимизационный критерий может быть минимизирован. Установлено, что поставленную задачу невозможно решить методом вариационного исчисления. Для получения приближенного решения задачи построена „опорная” функция, которая найдена как решение многоточечной краевой задачи. Это обеспечило гладкость приближенного решения вариационной задачи. Для иллюстрации полученных результатов построены фазовые портреты колебаний, из которых видно, что колебания груза и элементов крана в момент выхода крана на установившуюся скорость прекращаются. Таким образом, нагрузка крановой металлоконструкции, а также элементов механизма перемещения крана динамическими усилиями происходит только во время разгона и торможения крана. Кроме того, увеличивается производительность его работы, так как колебания груза не обуславливают дополнительных микроперемещений крана для их устранения.

Ключевые слова: *грузоподъемный кран, динамические нагрузки, оптимальное управление, метод коллокаций*

SYNTHESIS OF OPTIMAL MOTION CONTROL CRANE

V. S. Loveikin, Yu. O., Romasevich, A. S. Khoroshun

Abstract. On the basis of the bridge crane with a load on a flexible suspension dynamic model motion has been built its mathematical model. It represents as a system of inhomogeneous linear ordinary differential equations of second order. The choice of criteria for optimization and the regime of the crane movement have been substantiated. The statement and the analysis of the optimal control problem (with complex integral criteria) of crane movement with a load on a flexible suspension have stated. Using Legendre condition found that the selected optimization criteria can be minimized. It has been

established that the problem cannot be solved by the calculus of variations. In order to approximate solution of the problem the „support” function has been based, which was found as a solution to multi-point boundary value problem. This provided a smooth approximate solution of the variational problem. In order to illustrate the obtained results the phase portraits of vibrations were built. They showed that fluctuations of the cargo and crane components when the crane achieved the steady speed stops. Thus, the load of crane steel structures and elements of the movement mechanism with dynamic forces occurs only during acceleration and deceleration of the crane. In addition, the productivity increases, because the load oscillation do not cause additional micromovings of the crane in order to remove them.

Key words: crane, dynamic loads, optimal control, collocation method

УДК 631.354.2

**РОЗРАХУНОК ОПТИМАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ДЕМПФЕРІВ
В'ЯЗКОГО ТЕРТЯ ДЛЯ ГАСІННЯ КОЛИВАНЬ
НЕВРІВНОВАЖЕНОГО ГНУЧКОГО ВАЛА
З ОДНИМ БАРАБАНОМ. ЧАСТИНА I**

**В. С. Ловейкін, доктор технічних наук
Ю. В. Човнюк, А. П. Ляшко, кандидати технічних наук
e-mail: lovvs@ukr.net**

Анотація. Обґрунтований метод розрахунку оптимальних параметрів демпферів в'язкого тертя, невірноваженого гнучкого вала з одним, насадженим на нього барабаном. Дані демпфери використовуються для зменшення резонансних коливань роторів при широкому діапазоні швидкостей. В даній роботі розглянуті демпфери в'язкого тертя. Використання демпферів в'язкого тертя дозволяє суттєво зменшити небажані коливання. Для знаходження оптимальних параметрів демпферів в'язкого тертя використано так звані інваріантні швидкості амплітудних кривих, які мають наступну властивість: амплітуди при цих швидкостях обертання ротора не залежать від величини демпферування у опорах. Наведено графіки визначення інваріантних швидкостей.

Важливе значення має питання про «розбалансування» демпфера, тобто про відхилення його параметрів від параметрів

© В. С. Ловейкін, Ю. В. Човнюк, А. П. Ляшко, 2017