

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ МЕХАНИЗМА ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ГРУЗОПОДЪЕМНОЙ МАШИНЫ ПО ОПТИМАЛЬНОМУ ЗАКОНУ

*Юрий Ромасевич*

*Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины*

*Украина, г. Киев, ул. Героев Обороны, 15*

*Yuriy Romasevich*

*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine*

*Heroiv Oborony Str., 15, Kiev, Ukraine*

**Аннотация.** Выполнено моделирование движения мостового крана. Оптимальное приводное усилие крана реализовано способом частотного регулирования электродвигателя. Проведена оценка эффективности оптимального управления по энергетическим, электрическим, динамическим и кинематическим показателям. Установлены рациональные настройки привода для качественной реализации оптимального управления.

**Ключевые слова:** мостовой кран, оптимальное управление, частотно-управляемый электропривод, показатели эффективности.

### ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Большинство мостовых кранов, которые эксплуатируются в данное время, оборудованы устаревшими системами управления, в которых используется электро-релейное оборудование. Изменение скорости вращения электродвигателей, как правило, происходит за счет регулирования сопротивления в роторной цепи двигателя. Этот способ не энергоэффективен, поскольку значительная часть энергии расходуется на нагрев сопротивлений, которые подключаются к роторной обмотке двигателя [1].

Последнее время в кранах начали использовать частотные преобразователи, которые позволяют экономить значительную часть энергии. Кроме того, они позволяют управлять разными параметрами движения крана (скоростью, положением, приводным усилием) [2].

Одной из проблем, которые снижают производительность работы мостовых кранов есть раскачивание груза на гибком подвесе [3]. Исследованию этой проблемы по-

священы многие работы [3-16]. В указанных работах использованы различные методы, которые позволяют найти законы движения грузоподъемного крана, при которых колебания груза устраняются. Как правило, устранение колебаний происходит на протяжении переходных режимов движения крана. Вид оптимального управления движением крана может быть программным [17] или в виде обратной связи [18], что предпочтительнее для кранов, которые работают в аргіогі неизвестных внешних воздействиях.

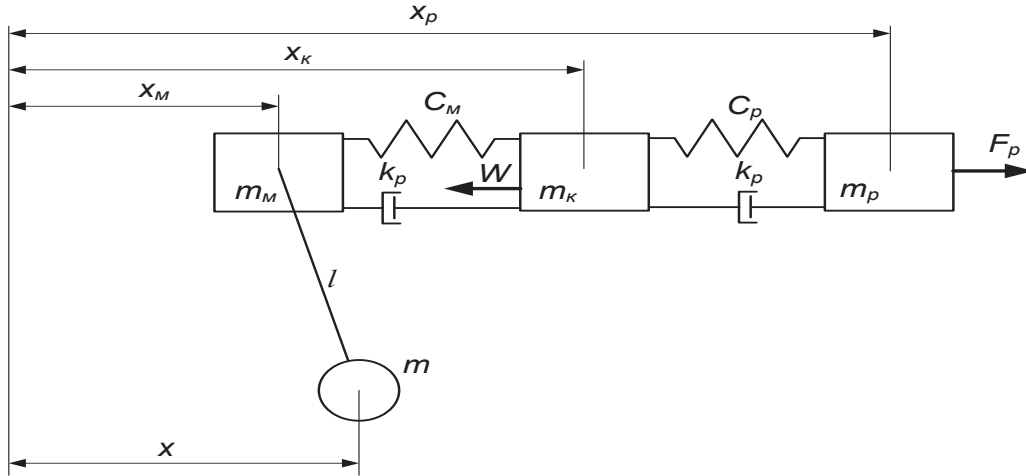
Что касается практической реализации оптимального управления движением крана, то тут предлагаются различные способы, как правило, с помощью регулирования параметров электропривода. Однако, лишь немногие из них указанных выше работ [5, 9], связаны с частотной реализацией оптимального управления.

Прежде чем использовать тот или иной закон движения на практике необходимо провести моделирование работы крана для того чтобы установить качество реализации оптимального закона движения крана и указать пути ее повышения.

### ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Цель приведенной работы – исследовать оптимальный закон движения механизма перемещения грузоподъемного крана, который оборудован частотно-управляемым асинхронным приводом.

Для достижения поставленной цели ставятся такие задачи: 1) провести моделирование движения механизма перемещения крана при частотном управлении с реализацией оптимального закона движения; 2) проанализировать полученные результаты и оценить



**Рис. 1.** Четыремассовая динамическая модель движения мостового крана с грузом на гибком подвесе

**Fig. 1.** Четыремассовая dynamic model of motion of travelling crane with load on flexible suspension

эффективность практического использования оптимального закона движения крана; 3) на основе проведенного анализа указать рациональные настройки частотного привода для реализации оптимального управления.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для проведения исследования используем динамическую модель движения мостового крана, которая показана на рис. 1. Динамика движения крана с учетом приводного усилия от асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором описывается такой системой дифференциальных уравнений:

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

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ МЕХАНИЗМА ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ГРУЗОПОДЪЕМНОЙ  
МАШИНЫ ПО ОПТИМАЛЬНОМУ ЗАКОНУ

где:  $u$  – передаточное число механизма перемещения крана;  $r_{кол}$  – радиус приводного колеса крана;  $\eta_{пер}$  – КПД передач привода крана;  $W$  – сопротивление перемещению мостового крана, приложенный к колесам конечных балок;  $l$  – длина гибкого подвеса груза;  $g$  – ускорение свободного падения;  $i_{1\alpha}$ ,  $i_{1\beta}$  – проекции обобщенного вектора тока статора на неподвижные координатные оси  $\alpha$  и  $\beta$ ;  $i_{2\alpha}$ ,  $i_{2\beta}$  – проекции обобщенного вектора тока ротора на недвижимые координатные оси  $\alpha$  и  $\beta$ ;  $L_1$ ,  $L_2$  – индуктивности статорной и роторной обмоток;  $L_{12}$  – взаимоиנדукция;  $k_r$  и  $k_s$  – коэффициенты магнитной связи ротора и статора соответственно

$$(k_r = \frac{L_{12}}{L_2}; k_s = \frac{L_{12}}{L_1}); M$$

– электромагнитный момент двигателя;  $p$  – количество пар полюсов электрической машины;  $u_{1\alpha}$ ,  $u_{1\beta}$  – проекции обобщенного вектора напряжения статора на координатные оси  $\alpha$  и  $\beta$  ( $u_{1\alpha} = U_{max} \cos(2\pi \int f dt)$ ,  $u_{1\beta} = U_{max} \sin(2\pi \int f dt)$ );  $U_{max}$  – амплитуда фазного напряжения питания двигателя;  $f$  – частота напряжения питания двигателя;  $e_{2\beta}$ ,  $e_{2\alpha}$  – ЭДС, которые индуцируются потокосцеплениями ротора по осям  $\alpha$  и  $\beta$  соответственно

$$(e_{2\alpha} = p\omega_{\delta\beta}(L_2 i_{2\beta} + L_{12} i_{1\beta}) + i_{2\alpha} R_2,$$

$e_{2\beta} = p\omega_{\delta\alpha}(L_2 i_{2\alpha} + L_{12} i_{1\alpha}) - i_{2\beta} R_2$ );  $R_1$  – активное сопротивление статорной обмотки;  $R_2$  – приведенное к статору активное сопротивление роторной обмотки;  $\delta$  – коэффициент рассеяния

$$(\delta = 1 - \frac{1}{(1 + \frac{X_1}{2\pi f L_{12}})(1 + \frac{X_2}{2\pi f L_{12}})}); X_1$$

$$\dot{x}_1 = \begin{cases} t^3(6t^2 - 15tT_1 + 10T_1^2)T_1^{-5}v/2, & \text{нпу } t \in [0; T_1]; \\ v/2, & \text{нпу } t \in [T_1; T_1 + \Delta T]; \\ \frac{v}{2T_1^5}(6t^5 - 30T_1^5 - 120T_1^4 \Delta T - 180T_1^3 \Delta T^2 - 130T_1^2 \Delta T^3 - 45T_1 \Delta T^4 - 6\Delta T^5 + \\ + 30t(T_1 + \Delta T)^2(2T_1 + \Delta T)^2 - 15t^4(3T_1 + 2\Delta T) - 30t^2(T_1 + \Delta T)(2T_1 + \Delta T)(3T_1 + \\ + 2\Delta T) + 10t^3(13T_1^2 + 18T_1 + 6\Delta T^2)), & \text{нпу } t \in [T_1 + \Delta T; 2T_1 + \Delta T], \end{cases} \quad (2)$$

тивное сопротивление статорной обмотки;  $X_2$  – приведенное к статору индуктивное сопротивление роторной обмотки;  $m_p$ ,  $m_k$ ,  $m_m$ ,  $m$  – приведенные к поступательному движению массы приводного механизма, конечных балок, моста и груза соответственно;  $x_p$ ,  $x_k$ ,  $x_m$ ,  $x$  – обобщенные координаты, которые отвечают массам  $m_p$ ,  $m_k$ ,  $m_m$  и  $m$ ;  $c_p$ ,  $c_k$ ,  $c_m$  – приведенные жесткости привода, конечных балок и моста крана соответственно;  $k_p$ ,  $k_m$  – приведенные коэффициенты диссипации в приводе и крановом мосту соответственно. Точка над символом означает дифференцирование по времени.

В работе [10] синтезирован оптимальный закон движения крана с грузом на гибком подвесе, который позволяет устранить колебание груза на гибком подвесе, причем использована двухмассовая динамическая модель. Оптимальный закон движения представляется в виде кусочно-непрерывной функции:

где:  $T_1$  – продолжительность разгона до промежуточной скорости, которая равная половине установившейся;  $\Delta T$  – продолжительность движения крана на промежуточной скорости (общая продолжительность переходного процесса равняется  $2T_1 + \Delta T$ ). Заметим, что функция (2) имеет ценное свойство – ее реализация не связана с изменением знака динамической составляющей приводного усилия крана, который, в свою очередь, снижает уровень динамической нагруженности элементов крана.

Функция (2) доставляет абсолютные минимумы терминальным критериям

$$\begin{cases} F_{\text{дин}}^2(0) \rightarrow \text{abs min}; \dot{F}_{\text{дин}}^2(0) \rightarrow \text{abs min}; \\ \dot{F}_{\text{дин}}^2(T_1) \rightarrow \text{abs min}; \\ \dot{F}_{\text{дин}}^2(T_1 + \Delta T) \rightarrow \text{abs min}; \\ F_{\text{дин}}^2(2T_1 + \Delta T) \rightarrow \text{abs min}; \dot{F}_{\text{дин}}^2(2T_1 + \Delta T) \rightarrow \text{abs min}, \end{cases} \quad (3)$$

где:  $F_{\text{дин}}$  – динамическая составляющая приводного усилия для двухмассовой модели движения крана с грузом на гибком подвесе:

$$F_{\text{дин}} = m_1 \ddot{x}_1 + m_2 \ddot{x}_2, \quad (4)$$

где:  $m_1, m_2$  – приведенные к поступательному движению массы крана и груза соответственно;  $x_1, x_2$  – координаты центров соответствующих масс.

Исследуем возможность использования закона движения (2) для четырехмассовой модели крана. Для этого в оптимальном законе движения необходимо положить:  $m_1 = m_p + m_k + m_m, m_2 = m, x_1 = x_p$ . Кроме того, учтем также характер изменения частоты напряжения питания двигателя при реализации оптимального управления движением крана. Для того, чтобы „отработать” нестандартный (не записанный в частотный преобразователь) закон изменения частоты напряжения питания, необходимо превратить непрерывный закон в дискретную форму. Процесс управления скоростью движения кранового двигателя будет состоять в „отправке” на частотный преобразователь дискретных значений частоты, а переход между соседними значениями частоты будет происходить по линейному закону.

Оценка эффективности использования оптимального управления движением мостового крана проведена по энергетическим, электрическим, динамическим и кинематическим показателям. Расчетные эксперименты проведены при условии, что длина гибкого подвеса меняется со временем: уменьшается при разгонке крана и увеличивается при его торможении.

Для того, чтобы работа мостового крана имела значительную производительность необходимо, чтобы продолжительность пе-

реходных процессов была незначительной. Для этого поставим условие – продолжительность переходного процесса (разгона и торможения) крана должна быть равной периоду свободных колебаний груза на гибком подвесе для двухмассовой динамической системы крана, который находится из такого выражения [4]:

$$T_{\text{пер}} = 2\pi \sqrt{\frac{m_1}{m_1 + m_2} \frac{l}{g}}. \quad (5)$$

Поставленное условие в математическом виде записывается так:

$$T_1 + \pi \sqrt{\frac{l}{g}} = 2\pi \sqrt{\frac{m_1}{m_1 + m_2} \frac{l}{g}}. \quad (6)$$

Можем найти продолжительность разгона  $T_1$  до промежуточной скорости:

$$T_1 = \sqrt{\frac{l}{g}} \left( 2\pi \sqrt{\frac{m_1}{m_1 + m_2}} - \pi \right). \quad (7)$$

Независимыми факторами в исследованиях есть: начальная длина гибкого подвеса груза  $l_0$ , начальное напряжение питания крановых приводных двигателей  $U_0$ . Каждый независимый фактор варьируется на трех уровнях.

Необходимо сказать, что показатель  $U_0$  является функцией частоты напряжения питания приводных крановых двигателей:

$$U = U_0 + (U_{\text{ном}} - U_0) \frac{f}{f_{\text{ном}}}, \quad (8)$$

где:  $U_0$  – начальное значение напряжения питания приводных крановых двигателей;  $U_{\text{ном}}$  – номинальное напряжение питания двигателей ( $U_{\text{ном}} = 380$  В);  $f_{\text{ном}}$  – номинальная частота напряжения питания двигателей ( $f_{\text{ном}} = 50$  Гц).

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ МЕХАНИЗМА ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ГРУЗОПОДЪЕМНОЙ  
МАШИНЫ ПО ОПТИМАЛЬНОМУ ЗАКОНУ

**Таблица 1.** Показатели движения мостового крана по оптимальному закону (2)  
**Table 1.** Indexes of motion of travelling crane on an optimal law (2)

Показатели	Начальная длина гибкого подвеса груза		
	2,5 м	7,5 м	14,5 м
Затраты энергии $E$ , Дж	508371	433105	399832
	453048	403743	367160
	416962	187749	173236
Потери энергии $\Delta E$ , Дж	354910	283977	260345
	298287	252779	221884
	255852	21647	17025
Относительные потери энергии $\tilde{E}$ , %	69,81	65,56	65,11
	65,83	62,60	60,43
	61,36	11,53	9,82
Максимальный электромагнитный момент двигателя $M_{\max}$ , Нм	150	150	150
	155	150	150
	150	102	81
Кратность максимального момента двигателя, $\tilde{M}_{\max}$	2,69	2,69	2,69
	2,77	2,69	2,69
	2,69	1,83	1,46
Максимальный ток двигателя $I_{\max}$ , А	246	245	245
	245	242	246
	246	67	52
Кратность максимального тока двигателя, $\tilde{I}_{\max}$	6,07	6,03	6,03
	6,03	5,98	6,08
	6,03	1,67	1,28
Максимальный момент на быстроходном валу привода $M_{n,\max}$ , Нм	428	411	377
	443	371	337
	378	81	62
Максимальное приведенное усилие в крановом мосту $R_{m,\max}$ , Н	34843	33438	30706
	39769	32323	56027
	49235	24881	22473
Максимальное отклонение каната с грузом от вертикали, $\Delta x_{\max}$ , м	0,335	0,367	1,050
	0,370	0,585	0,982
	0,204	0,512	0,700
Максимальный угол отклонения каната с грузом от вертикали, $\Delta \varphi_{\max}$ , рад	0,111	0,045	0,070
	0,123	0,073	0,065
	0,068	0,064	0,046
Линейная амплитуда остаточных колебаний каната с грузом после остановки крана, $\Delta x_{\max}(t > T)$ , м	0,224	0,260	0,354
	0,043	0,264	0,429
	0,118	0,025	0,026
Угловая амплитуда остаточных колебаний каната с грузом после остановки крана, $\Delta \varphi_{\max}(t > T)$ , рад	0,074	0,032	0,023
	0,014	0,033	0,028
	0,039	0,003	0,001

В таблице 1 представлены показатели, которые получены с помощью проведения расчетных экспериментов. Три значения в каждой ячейке таблицы 1 отвечают трем значениям начального напряжения питания  $0, 0,1U_{ном}$  и  $0,3U_{ном}$  [20].

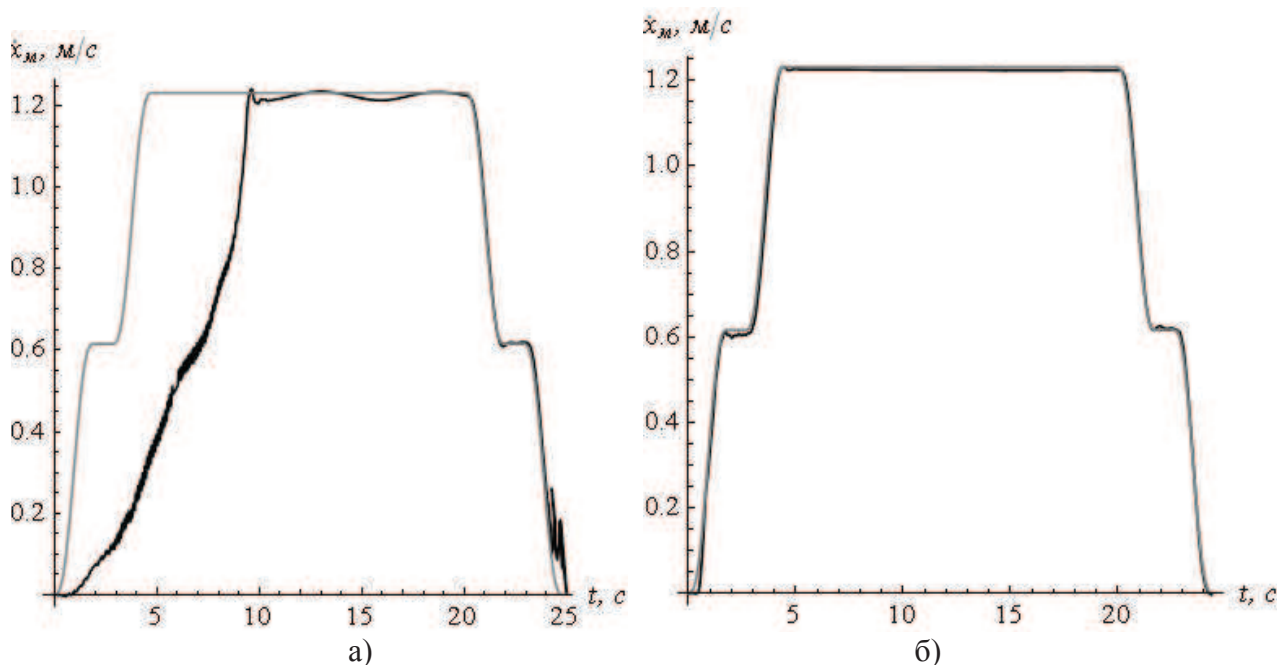
Проанализируем данные, которые представлены в табл. 1. Сравнивая между собой энергетические показатели приходим к выводу, что увеличение длины гибкого подвеса груза уменьшает затраты энергии. Кроме того, необходимо обратить внимание на то, что при начальной длине гибкого подвеса 7,5 и 14,5 метров и начальном напряжении питания двигателей  $0,3U_{ном}$  происходит значительное уменьшение затрат энергии за счет уменьшения вредных потерь электроэнергии в приводных крановых двигателях. Таким образом, оптимальный закон движения (2) выгодно использовать именно при значительной длине гибкого подвеса груза и ненулевом напряжении питания двигателя.

Аналогичное утверждение можно сделать для электрических и динамических показате-

телей работы крана, так как при указанных условиях максимальные значения тока, электромагнитного момента, максимального приведенного усилия в крановом мосту и максимального момента на быстроходном валу привода значительно меньше, чем при других условиях эксплуатации крана.

Анализ кинематических показателей работы крана показывает, что указанные условия работы крана (большая длина гибкого подвеса груза и ненулевое начальное напряжение питания двигателей) приводит к практически полному устранению нежелательных колебаний груза.

При других условиях присутствуют остаточные колебания груза, что связано с некачественной реализацией оптимального закона движения (2). Проиллюстрируем сказанное графиками, которые представлены на рис. 2 (серая линия показывает график заданной скорости движения крана, а черная – график скорости движения крана, который получен с помощью проведения расчетных экспериментов).



**Рис. 2.** Графики изменения скорости движения кранового моста при начальной длине гибкого подвеса груза 7,5 метров и начальном напряжении питания крановых двигателей: а) 0; б)  $0,3U_{ном}$

**Fig. 2.** Charts of change of rate of movement of faucet bridge at initial length of flexible suspension of load 7,5 meters and initial tension of feed of faucet engines : а) 0; б)  $0,3U_{ном}$

## ВЫВОД

В результате проведенных исследований установлено, что использование оптимального закона движения грузоподъемного крана с грузом на гибком подвесе возможно лишь при значительной длине гибкого подвеса груза. Указанные условия позволяют качественно реализовать закон движения крана, что в свою очередь устраняет нежелательные колебания груза на гибком подвесе, снижает динамическую нагруженность работы привода и мостовой конструкции крана, уменьшает максимальные значения токов и электромагнитных моментов электропривода.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Firago B.I. 2004: Teoriya elektroprivoda / Firago B.I. – Minsk.: ZAO „Tekhnoperspektiva”. – 527.
2. Sokolovskiy G.G. 2006: Elektroprivody peremennogo toka s chastotnym regulirovaniyem [uchebnik] / Sokolovskiy G.G. – M.: Academia. – 265.
3. Loveykin V.S. 1990: Raschety optimalnykh rezhimov dvizheniya mekhanizmov stroitelnykh mashin / V.S. Loveykin. – K.: UMK VO. – 168.
4. Komarov M.S. 1969: Dinamika gruzopodyemnykh mashin / M.S. Komarov. – M.: Mashinostroyeniye. – 206.
5. Zaytsev Yu.I. 1980: Issledovaniye nestatsionarnykh kolebaniy i optimalnyye rezhimy raboty gruzopodyemnykh mashin s postupatelymi dvizheniyami: avtoref. diss. na soisk. step. kand. tekhn. nauk: spets. 01.02.06 „Dinamika, prochnost mashin, priborov i apparatury” / Yu.I. Zaytsev. – Kh., 1981. – 26 s.
6. Chernousko F.L. Upravleniye kolebaniyami / F.L. Chernousko, L.D. Akulenko, B.N. Sokolov. – M.: Nauka. – 384.
7. Budikov L.Ya. 1997: Mnogoparametricheskii analiz dinamiki gruzopodyemnykh kranov mostovogo tipa / L.Ya. Budikov. – Lugansk: Izdatelstvo VUGU. – 210.
8. Geronimus Ya.L. 1966: O nekotorykh metodakh opredeleniya optimalnogo zakona dvizheniya, rassmatrivayemogo kak upravlyayushcheye vozdeystviye / Ya.L. Geronimus, M.M. Perelmuter // Mashinovedeniye. – № 6. – 6-24.
9. Gerasimiyak R.P. 2008: Analiz i sintez kranovykh elektromekhanicheskikh sistem / R.P. Gerasimiyak, V.A. Leshchëv. – Odessa.: SMIL. – 192.
10. Loveykin V.S. 2012: Analiz i sintez rezhimov dvizheniya mekhanizmov gruzopodyemnykh mashin / V.S. Loveykin, Yu.O. Romasevich. – K.: TsP „KOMPRINT”. – 298.
11. Grigorov O.V. 1995: Sovershenstvovaniye rabochikh kharakteristik kranovykh mekhanizmov: diss. na soisk. step. doktora tekhn. nauk: 05.05.05 / Grigorov Otto Vladimirovich. – Kh. – 386.
12. Melnikova L.V. 2000: Avtomatizatsiya tekhnologicheskogo protsessa peremeshcheniya mekhanizma s podveshennym gruzom sredstvami mikroprotsessornogo upravleniya: diss. na soisk. step. kand. tekhn. nauk: 05.09.03 / Melnikova Lyubov Vasilyevna. – Odessa. – 116.
13. Bazil Sh. 1993: Upravleniye elektroprivodom tsiklicheski robotayushchikh mekhanizmov gorizontalnogo peremeshcheniya: diss. na soisk. step. kand. tekhn. nauk: 05.09.03 / Bazil Shafik. – Odessa. – 186.
14. Terekhov V.M., Osipov O.I. 2005: Sistemy upravleniya elektroprivodov: uchebnik / V.M. Terekhov, O.I. Osipov; pod red. V.M. Terekhova. – Saratov: Izd. tsentr „Akademiya”. – 300.
15. Sokhadze A.G. 2006: Mekhatronnaya sistema gruzopodyemnogo kрана dlya avtomaticheskoy stabilizatsii polozheniya gruzа i upravleniya yego dvizheniyem: diss. na soisk. step. kand. tekhn. nauk: 05.02.05 / Sokhadze Aleksandr Georgiyevich. – Novocherkassk. – 218.
16. Smekhov A.A. 1975: Optimalnoye upravleniye podyemno-transportnymi mashinami / A.A. Smekhov, N.I. Yerofeyev. – M.: Mashinostroyeniye. – 239.
17. Romasevich Yu.O. 2011: Optimizatsiya rezhimu zmini vilotu vantazhu bashtovogo kрана za odinichnimi kinematichnimi kriteriyami / Romasevich Yu.O., Shumilov G.V. // Motrol. – Tom 13 B. – 167-173.
18. Romasevich Yu.A. 2012: Realizatsiya optimalnogo upravleniya dvizheniyem dinami-

cheskikh sistem s ispolzovaniyem PD- i PID-regulirovaniya / Yu.A. Romasevich // Motrol. – Vol 14. – № 3. – 176-183.

19. Preobrazovateli 2008: Preobrazovateli chasty FR-E7: rukovodstvo po ekspluatatsii: artikul 212650. Versiya V. Mitsubishi Electric Industrial Automation. – 512.

20. Preobrazovatel 2009: Preobrazovatel chasty Altivar 71 ot Schneider Electric – optimalnoye resheniye dlya primeneniya v sistemakh upravleniya podyemno-transportnym oborudovaniyem. [Elektronnyy resurs]. – Rezhim dostupa: URL: [http://www.schneider-electric.ua/ukraine/ua/products-services/offer-updates/newsiewer.page?c\\_filepath=template-data/Content/News/data\\_ua/local/automation\\_control/general\\_information/2009/07/20090722\\_altivar\\_71\\_schneider\\_electric\\_.xml](http://www.schneider-electric.ua/ukraine/ua/products-services/offer-updates/newsiewer.page?c_filepath=template-data/Content/News/data_ua/local/automation_control/general_information/2009/07/20090722_altivar_71_schneider_electric_.xml). – Nazvaniye s ekrana.

#### **LOAD-LIFTING MACHINE MECHANISM MOVEMENT SIMULATION BY OPTIMAL LAW**

**Summary.** Simulation of bridge crane movement have been carry out. Optimal drive crane force have been realized by mean frequency regulation of electric motor. Efficiency estimation of optimal control have been calculated by power, electrical, dynamical and kinematic indexes. Rational options of drive have been established for quality realizing of optimal control.

**Key words:** bridge crane, optimal control, frequency-controlling electric drive, efficiency indexes.