

ИССЛЕДОВАНИЕ ДВИЖУЩИХ СИЛ В МЕХАНИЗМЕ ИЗМЕНЕНИЯ ВЫЛЕТА СТРЕЛОВОЙ СИСТЕМЫ КРАНА

Вячеслав Ловейкин¹, Дмитрий Паламарчук²

¹ Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины
03041, ул. Героев Обороны 11, Киев, Украина

² Киевский национальный университет строительства и архитектуры
03680, Воздухофлотский пр-кт 31, Киев, Украина, e-mail: palamarchuk-dima@ukr.net

THE DRIVING FORCES RESEARCH IN MECHANISM LUFFING OF CRANE BOOM SYSTEM

Vyacheslav Loveykin¹, Dmitro Palamarchuk²

¹ National University of Life Environmental Sciences of Ukraine
03041, Heroiv Oborony st., 11, Kyiv, Ukraine

² Kyiv National University of Construction and Architecture
03680, Povitoflotsky Prospect 31, Kyiv, Ukraine

АНОТАЦІЯ. Представлені результати теоретичного дослідження рушійних сил в рейковому механізмі зміни вильоту врівноваженої шарнірно-зчленованої стрілової системи порталного крана МАРК-40. Дослідження крутного моменту електродвигуна і зусиль в зубчастій рейці проведені за умови руху стрілової системи за оптимальними законами, які дозволяють здійснювати горизонтальне переміщення вантажу з мінімальними коливаннями. Визначення рушійних сил приводу проведено з використанням принципу можливих переміщень.

Ключові слова: кран, стрілова система, навантаження, коливання, рух.

АННОТАЦИЯ. Представлены результаты теоретического исследования движущих сил в рейковом механизме изменения вылета уравновешенной шарнирно-сочлененной стреловой системы порталного крана МАРК-40. Исследования вращающего момента электродвигателя и усилий в зубчатой рейке проведены при условии движения стреловой системы за оптимальными законами, которые позволяют производить горизонтальное перемещение груза с минимальными колебаниями. Определение движущих сил привода произведено с использованием принципа возможных перемещений.

Ключевые слова: кран, стреловая система, нагрузка, колебания, движение.

ABSTRACT. Purpose. Research efforts to change the rack, which during operation receives not only the load of gravity units, but also shock and load fluctuations that occur due to sway on a flexible suspension. The rack is the driving element, and effort in it - the driving force, so that the efforts to determine the need to solve the first problem of the dynamics. **Methodology/approach.** Since the laws of motion of all the links are known, using the principle of virtual displacements, the equation works found all the external forces acting on the gibbet system. **Findings.** During the investigations the expression to find the driving forces behind the drive raked luffing mechanism, namely torque rotor motor and longitudinal force in the rack. **Research limitations/implications.** Comparing static forces in the rail can be seen that they are the same when moving boom system for both optimal laws. The increase in the kinematic characteristics under the law optimization difference jerks, resulting in an increase of the dynamic and full efforts in the rack. **Originality/value.** In practice, it is advisable to apply the law to optimize acceleration difference between the center of mass of the load and the end point of the trunk. The application of this law in the automatic system managed actuator allow for horizontal movement of cargo with minimal vibrations and minimum load on the drive elements, which increases the efficiency of cranes.

Key words: crane, jib system, load, fluctuations, movement.

ВВЕДЕНИЕ

Исследования многих ученых посвящены вопросу уменьшения раскачивания груза, подвешенного на канате при его горизонтальном перемещении грузоподъемными кранами разных типов [1, 2, 3]. Значительное внимание уделено влиянию раскачивания груза на увеличение продолжительности рабочего цикла крана, снижению маневренности крана, ухудшению условий труда крановщика и обслуживающего пер-

сонала, а также на увеличение динамических нагрузок на звенья, механизмы и кран в целом [3, 4]. В работе [5] проанализированы и систематизированы факторы отрицательного влияния раскачивания груза на эффективность кранов, в частности, рассмотрено увеличение внутренних усилий в звеньях шарнирно-сочлененной стреловой системы (ШССС). Установлено, что наиболее пагубно эти раскачивания влияют на звенья и элементы механизма изменения вылета стреловой системы: зубчатую рей-

ку, приводную шестерню, редуктор, электродвигатель (рис. 1). Особенно это сказывается при перемещении груза на небольшие расстояния, когда рабочий цикл состоит только с процессов разгона и торможения [2, 4].

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Использование частотного преобразователя в системах электронного управления электродвигателем механизма изменения вылета стреловой системы позволяет плав-

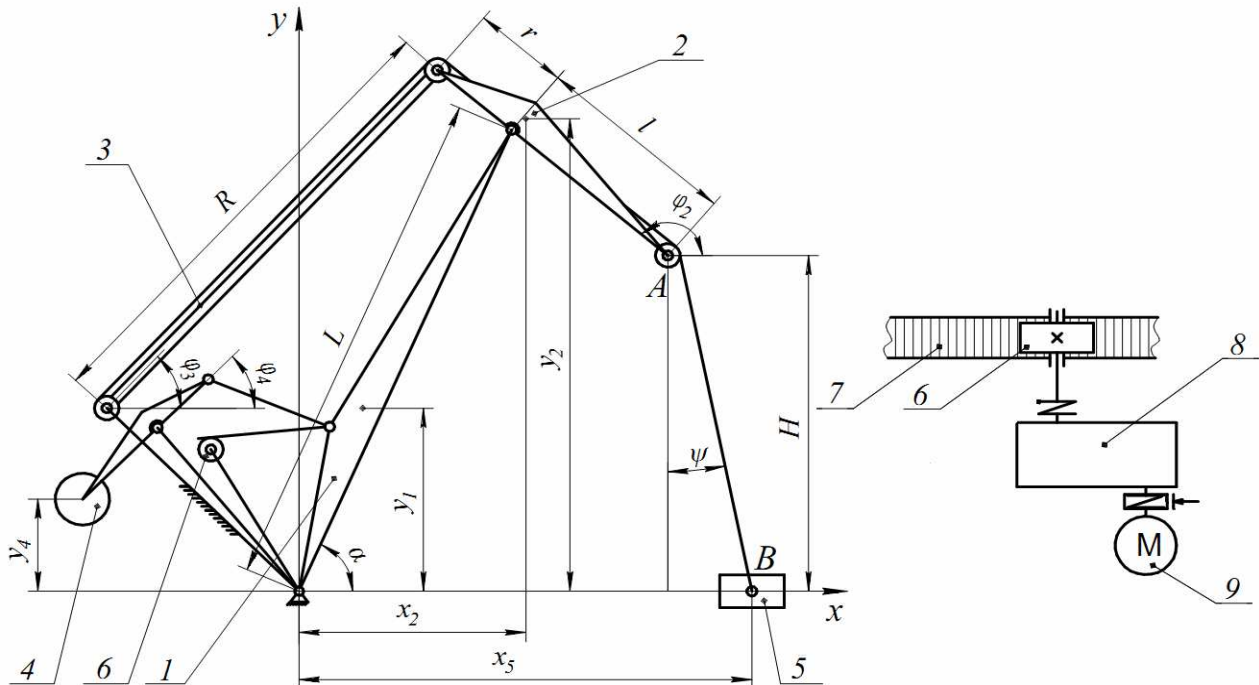


Рис. 1. Схема шарнирно-сочлененной стреловой системы с рейковым механизмом изменения вылета: 1 – стрела; 2 – прямолинейный хобот; 3 – оттяжка; 4 – противовес; 5 – груз; 6 – приводная шестерня; 7 – зубчатая рейка; 8 – редуктор; 9 – электродвигатель; y_1, y_2, y_4 – вертикальные координаты центров масс соответственно стрелы, хобота и противовеса; x_2, x_5 – горизонтальные координаты центров масс соответственно хобота и груза; α – угловая координата стрелы; $\varphi_2, \varphi_3, \varphi_4$ – угловые координаты соответственно хобота, оттяжки и коромысла противовеса; L – длина стрелы; l – длина хобота; r – длина контрхобота; R – длина оттяжки; H – длина подвеса груза; ψ – угол отклонения грузового каната от вертикали

Fig. 1. Scheme articulated boom system with Raked luffing mechanism: 1 - boom; 2 - straight trunk; 3 - guy; 4 - balances; 5 - cargo; 6 - the driving gear; 7 - rack; 8 - gear; 9 - electric motor; y_1, y_2, y_4 - vertical coordinates of the centers of mass, respectively corre-boom, trunk and balances; x_2, x_5 - horizontal coordinates of the centers of mass, respectively, trunk and cargo; α - angle coordinate arrows; $\varphi_2, \varphi_3, \varphi_4$ - angular coordinates, respectively trunk, from serious and rocker-counter; L - length of the boom; l - length of the trunk; r - the length straight trunk; R - the length of procrastination; H - the length of the suspension of the cargo; ψ - the deflection angle from the vertical hoist rope

Для существенного уменьшения колебаний груза в кранах с ШССС предложено специальные конструкции механизмов изменения вылета стреловой системы [6].

Однако эти конструкции неуниверсальны, поэтому в механизмах с электроприводом более целесообразно применять автоматические системы управляемого электропривода, которые построены с использованием частотного преобразователя [7].

но изменять частоту вращения ротора электродвигателя. Это позволяет сгладить рабочие характеристики электродвигателя во время переходных процессов – разгона и торможения, что дает возможность существенно уменьшить или предотвратить возникновение колебаний груза.

В большинстве случаев управление частотным преобразователем осуществляется с помощью компьютера в соответствии с заранее установленными оптимальными законами. В ранее проведенных исследова-

ниях приведены законы [8–10], использование которых позволяет осуществлять горизонтальное перемещение груза с колебаниями, при которых угол отклонения грузового каната от вертикали ψ не превышает $6,86^\circ$. Для сравнения, при ручном управлении электродвигателем механизма изменения вылета ШССС, угол отклонения грузового каната от вертикали ψ составляет $10...12^\circ$ [11].

Закон, который приведен в работе [9], позволяет обеспечить минимальную разницу между горизонтальным ускорением концевой точки хобота (точка А на рис. 1) и центром тяжести груза (точка В на рис. 1). Закон, описанный в статье [10], позволяет минимизировать разницу между значениями горизонтальных рывков этих же точек.

Применение этих законов направлено на повышение эффективности кранов с ШССС, в частности, на уменьшение нагрузок в элементах привода механизма изменения вылета. Поэтому целесообразно провести исследование изменения усилия в зубчатой рейке, которая во время работы воспринимает не только нагрузки от силы тяжести звеньев, но и удары и колебания нагрузок, возникающие вследствие раскачивания груза на гибком подвесе. Зубчатая рейка является движущим звеном, а усилие в ней – движущей силой, поэтому для определения этого усилия нужно решить первую задачу динамики, то есть по известным законам движения груза и всех звеньев стреловой системы определить движущий момент электродвигателя [12].

ИЗЛОЖЕНИЕ МАТЕРИАЛА

Поскольку законы движения всех звеньев известны, то с использованием принципа возможных перемещений найдено уравнение работ всех внешних сил, действующих на стреловую систему:

$$\begin{aligned} M_P \delta\varphi_6 = & J_1 \ddot{\alpha} \delta\alpha + m_1 g \delta y_1 + m_2 g \delta y_2 + \\ & + m_2 \ddot{y}_2 \delta y_2 + m_2 \ddot{x}_2 \delta x_2 + J_2 \ddot{\varphi}_2 \delta\varphi_2 + \\ & + J_3 \ddot{\varphi}_3 \delta\varphi_3 + m_3 g \delta y_3 + J_4 \ddot{\varphi}_4 \delta\varphi_4 + \\ & + m_4 g \delta y_4 + m_5 g \delta y_5 + m_5 \ddot{y}_5 \delta y_5 + m_5 \ddot{x}_5 \delta x_5 + \\ & + J_6 \ddot{\varphi}_6 \delta\varphi_6 + M_O, \end{aligned} \quad (1)$$

где M_P – движущий момент на приводной шестерне; $\delta\varphi_6, \delta\alpha, \delta\varphi_2, \delta\varphi_3, \delta\varphi_4$ – возможные угловые перемещения соответственно ротора электродвигателя, стрелы, хобота, оттяжки и коромысла противовеса; J_1, J_2, J_3, J_4, J_6 – моменты инерции относительно собственных осей вращения соответственно стрелы, хобота, оттяжки, коромысла противовеса и ротора электродвигателя (значения определены с помощью технических характеристик стреловой системы [13]); $\ddot{\alpha}$ – угловое ускорение стрелы при изменении вылета, выражение, для определения которого приведено в работе [8]; $\ddot{\varphi}_2, \ddot{\varphi}_3, \ddot{\varphi}_4, \ddot{\varphi}_6$ – угловое ускорение соответственно хобота, оттяжки, коромысла противовеса и ротора электродвигателя, выражения для определения этих величин приведены в работе [8]; m_1, m_2, m_3, m_4, m_5 – массы звеньев стреловой системы соответственно стрелы, хобота, оттяжки, противовеса и груза (значения взяты в работе [13]); g – ускорение свободного падения; $\delta y_1, \delta y_2, \delta x_2, \delta y_3, \delta y_4, \delta y_5, \delta x_5$ – возможные линейные перемещения центров масс соответственно стрелы, хобота, оттяжки, коромысла противовеса и груза; $\ddot{y}_2, \ddot{x}_2, \ddot{y}_5, \ddot{x}_5$ – линейные ускорения центров масс вдоль осей x и y соответственно хобота и груза, выражения, для определения которых приведены в работе [4]; $M_O = 25000 \text{ Н}\cdot\text{м}$ – момент сопротивления движению стреловой системы, приведенный к точке вращения стрелы и включающий в себя момент от ветровой нагрузки.

Возможные линейные и угловые перемещения выражения (1) связаны с возможным угловым перемещением стрелы следующими зависимостями:

$$\begin{aligned} \delta\varphi_6 = \frac{\partial\varphi_6}{\partial\alpha} \delta\alpha, \quad \delta y_1 = \frac{\partial y_1}{\partial\alpha} \delta\alpha, \quad \delta y_2 = \frac{\partial y_2}{\partial\alpha} \delta\alpha, \\ \delta x_2 = \frac{\partial x_2}{\partial\alpha} \delta\alpha, \quad \delta\varphi_2 = \frac{\partial\varphi_2}{\partial\alpha} \delta\alpha, \quad \delta\varphi_3 = \frac{\partial\varphi_3}{\partial\alpha} \delta\alpha, \\ \delta y_3 = \frac{\partial y_3}{\partial\alpha} \delta\alpha, \quad \delta\varphi_4 = \frac{\partial\varphi_4}{\partial\alpha} \delta\alpha, \quad \delta y_4 = \frac{\partial y_4}{\partial\alpha} \delta\alpha, \\ \delta y_5 = \frac{\partial y_5}{\partial\alpha} \delta\alpha, \quad \delta x_5 = \frac{\partial x_5}{\partial\alpha} \delta\alpha, \end{aligned} \quad (2)$$

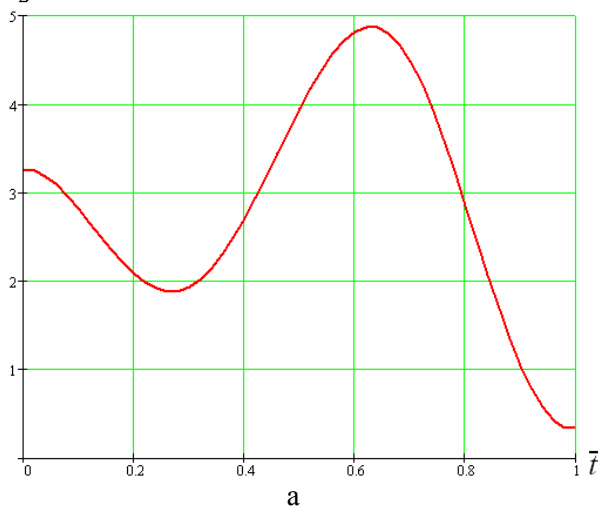
где $\frac{\partial \varphi_6}{\partial \alpha}$, $\frac{\partial y_1}{\partial \alpha}$, $\frac{\partial y_2}{\partial \alpha}$, $\frac{\partial x_2}{\partial \alpha}$, $\frac{\partial \varphi_2}{\partial \alpha}$, $\frac{\partial \varphi_3}{\partial \alpha}$, $\frac{\partial y_3}{\partial \alpha}$, $\frac{\partial \varphi_4}{\partial \alpha}$, $\frac{\partial y_4}{\partial \alpha}$, $\frac{\partial y_5}{\partial \alpha}$, $\frac{\partial x_5}{\partial \alpha}$ – операторы передачи движения первого порядка [4] между угловыми и линейными координатами центров масс звеньев и стрелой, которые в теории механизмов и машин получили название первых передаточных функций или аналогов скоростей.

Уравнение работ всех сил, действующих на стреловую систему (1), с учетом соотношений (2), приобретает следующий вид:

$$M_P \frac{\partial \varphi_6}{\partial \alpha} \delta \alpha = J_1 \ddot{\alpha} \delta \alpha + m_1 g \frac{\partial y_1}{\partial \alpha} \delta \alpha + m_2 g \frac{\partial y_2}{\partial \alpha} \delta \alpha + m_2 \ddot{y}_2 \frac{\partial y_2}{\partial \alpha} \delta \alpha + m_2 \ddot{x}_2 \frac{\partial x_2}{\partial \alpha} \delta \alpha + J_2 \ddot{\varphi}_2 \frac{\partial \varphi_2}{\partial \alpha} \delta \alpha + J_3 \ddot{\varphi}_3 \frac{\partial \varphi_3}{\partial \alpha} \delta \alpha + m_3 g \frac{\partial y_3}{\partial \alpha} \delta \alpha + J_4 \ddot{\varphi}_4 \frac{\partial \varphi_4}{\partial \alpha} \delta \alpha + m_4 g \frac{\partial y_4}{\partial \alpha} \delta \alpha + m_5 g \frac{\partial y}{\partial \alpha} \delta \alpha + m_5 \ddot{y}_5 \frac{\partial y}{\partial \alpha} \delta \alpha + m_5 \ddot{x}_5 \frac{\partial x}{\partial \alpha} \delta \alpha + J_6 \ddot{\varphi}_6 \frac{\partial \varphi_6}{\partial \alpha} \delta \alpha + M_O. \quad (3)$$

В результате некоторых алгебраических преобразований получено конечное уравнение для определения движущего момента на шестерне рейковой передачи привода при изменении вылета стреловой системы

$M_E, \cdot 10 \text{ Н}\cdot\text{м}$



от минимального значения к максимальному

$$M_P = \left(J_6 \ddot{\varphi}_6 \frac{\partial \varphi_6}{\partial \alpha} + J_1 \ddot{\alpha} + m_1 g \frac{\partial y_1}{\partial \alpha} + m_2 g \frac{\partial y_2}{\partial \alpha} + m_2 \ddot{y}_2 \frac{\partial y_2}{\partial \alpha} + m_2 \ddot{x}_2 \frac{\partial x_2}{\partial \alpha} + J_2 \ddot{\varphi}_2 \frac{\partial \varphi_2}{\partial \alpha} + J_3 \ddot{\varphi}_3 \frac{\partial \varphi_3}{\partial \alpha} + m_3 g \frac{\partial y_3}{\partial \alpha} + J_4 \ddot{\varphi}_4 \frac{\partial \varphi_4}{\partial \alpha} + m_4 g \frac{\partial y_4}{\partial \alpha} + m_5 g \frac{\partial y}{\partial \alpha} + m_5 \ddot{y}_5 \frac{\partial y}{\partial \alpha} + m_5 \ddot{x}_5 \frac{\partial x}{\partial \alpha} + M_O \right) / \frac{\partial \varphi_6}{\partial \alpha}. \quad (4)$$

Для определения крутящего момента электродвигателя используется известная формула

$$M_E = \frac{M_P}{i \eta}, \quad (5)$$

где $i=215$ – передаточное число приводного механизма; $\eta=0,9$ – ККД привода механизма изменения вылета ШССС.

В результате проведенных расчетов построены графики изменения крутящего момента электродвигателя при его частотном управлении в соответствии с установленными оптимальными законами (рис. 2).

Расчеты проведены для ШССС порталного крана МАРК-40 [13] с такими геометрическими и весовыми характеристиками:

- длина стрелы $L=25,76 \text{ м}$;
- длина хобота $l=10,16 \text{ м}$;

$M_E, \cdot 10 \text{ Н}\cdot\text{м}$

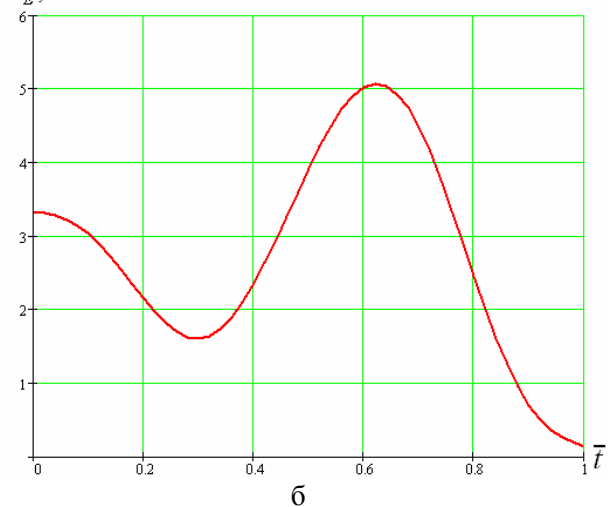


Рис. 2. Графики изменения крутящего момента электродвигателя: а – при изменении вылета по закону оптимизации разницы ускорений; б – при изменении вылета по закону оптимизации разницы рывков

Fig. 2. Graphs of motor torque: a - when you change the departure of the law optimization difference accelerations; b - when changing departure for law optimization difference jerks

- длина контрхобота $r=2,51$ м;
- длина оттяжки $R=21,33$ м;
- длина свободного конца канатного груза $H=14,7$ м;
- масса стрелы $m_1=12650$ кг;
- масса хобота в сборе с контрхоботом $m_2=5423$ кг;
- масса оттяжки $m_3=3114$ кг;
- масса противовеса $m_4=13525$ кг;
- средняя масса груза $m_5=20000$ кг;
- момент инерции стрелы относительно ее оси вращения $J_1=2856000$ кг·м²;
- момент инерции хобота относительно его оси вращения $J_2=118900$ кг·м²;
- момент инерции оттяжки относительно ее оси вращения $J_3=413600$ кг·м²;
- момент инерции противовеса относительно его оси вращения $J_4=491300$ кг·м²;
- момент инерции ротора электродвигателя относительно его оси вращения $J_6=1,1$ кг·м².

Эти и последующие графики (рис. 3) построены в зависимости от относительного времени, которое определяется выражением

$$\bar{t} = \frac{t}{t_1}, \quad (6)$$

где $t_1=22$ с – среднее время движения стреловой системы от минимального значения вылета к максимальному; t – значение времени в любой момент движения стреловой системы, при этом $0 \leq t \leq t_1$.

Усилия в зубчатой рейке привода можно разделить на две составляющие – статическую и динамическую.

Статическая составляющая усилия создается силами тяжести, действующими на звенья и постоянными усилиями, а динамическая – силами и моментами сил инерции звеньев. Эти составляющие усилий также находятся по принципу возможных перемещений.

Статическая составляющая усилия в рейке:

$$F_{СТ} = \left(m_1 g \lambda_1 \frac{\partial y_1}{\partial \alpha} + m_2 g \lambda_2 \frac{\partial y_2}{\partial \alpha} + m_3 g \lambda_3 \frac{\partial y_3}{\partial \alpha} + m_4 g \frac{\partial y_4}{\partial \alpha} + m_5 g \frac{\partial y_5}{\partial \alpha} \right) / \frac{\partial S_6}{\partial \alpha}, \quad (7)$$

где $\frac{\partial S_6}{\partial \alpha}$ – оператор передачи движения первого порядка между рабочей длиной зубчатой рейки и стрелой [4].

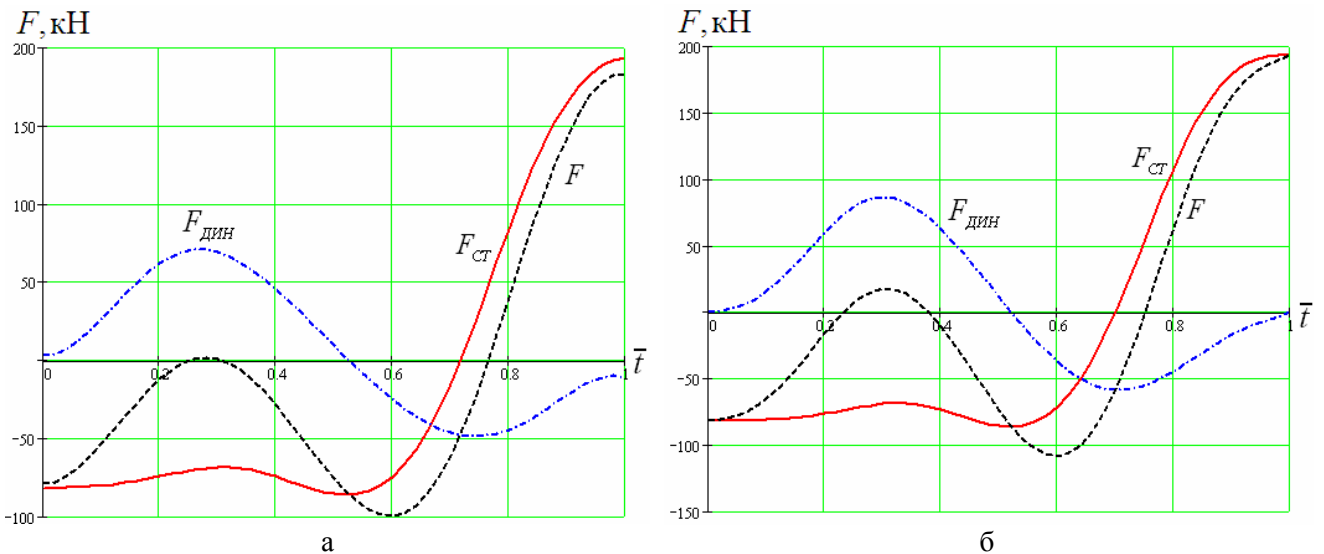


Рис. 3. Графики изменения усилия в зубчатой рейке: а – при изменении вылета по закону оптимизации разницы ускорений; б – при изменении вылета по закону оптимизации разницы рывков

Fig. 3. Graph of efforts in the rack: a - when changing departure for the law to optimize acceleration difference; b - when changing departure for law optimization difference jerks

Динамическая составляющая усилия в рейке:

$$F_{\text{ДИН}} = J_6 \ddot{\phi}_6 \frac{i}{R_6} + \left(J_1 \ddot{\alpha} + m_2 \ddot{y}_2 \frac{\partial y_2}{\partial \alpha} + m_2 \ddot{x}_2 \frac{\partial x_2}{\partial \alpha} + J_2 \ddot{\phi}_2 \frac{\partial \phi_2}{\partial \alpha} + J_3 \ddot{\phi}_3 \frac{\partial \phi_3}{\partial \alpha} + J_4 \ddot{\phi}_4 \frac{\partial \phi_4}{\partial \alpha} + m_5 \ddot{y}_5 \frac{\partial y_5}{\partial \alpha} + m_5 \ddot{x}_5 \frac{\partial x_5}{\partial \alpha} \right) / \frac{\partial S_6}{\partial \alpha}, \quad (8)$$

где $R_6 = 0,175 \text{ м}$ – радиус делительной окружности в шестерне рейкового механизма изменения вылета.

Полное усилие в зубчатой рейке находится из равенства

$$F = F_{\text{СТ}} + F_{\text{ДИН}}. \quad (9)$$

На рис. 3 приведены графики изменения усилия в зубчатой рейке, полученные в результате расчетов по формулам (7) – (9).

ВЫВОДЫ

В ходе проведенных исследований были определены выражения для нахождения движущих сил привода в рейковом механизме изменения вылета ШССС (вращающего момента ротора электродвигателя и продольного усилия в зубчатой рейке). Проведено исследование указанных параметров при законах горизонтального перемещения груза – законе, который позволяет минимизировать разницу ускорений центра масс груза и концевой точки хобота и законе минимизации разницы рывков центра масс груза и концевой точки хобота.

Статические усилия в рейке одинаковы при движении стреловой системы по обоим оптимальным законам, поскольку не зависят от условий движения стреловой системы. Увеличение кинематических характеристик по закону оптимизации разницы рывков [10] приводит к увеличению динамического и, соответственно, полного усилия в зубчатой рейке. Максимальное усилие составляет $183,07 \text{ кН}$ при оптимизации разницы отклонения ускорений и $193,87 \text{ кН}$ при оптимизации разницы отклонения рывков. Причем, как видно из графиков (рис. 3), при максимальном вылете стреловой системы рейка работает на растяжение и это обеспечивается только одними стати-

ческими нагрузками. Поэтому на практике целесообразно применять закон оптимизации разницы ускорений между центром масс груза и концевой точки хобота. Применение этого закона в автоматической системе управляемого электропривода позволит осуществлять горизонтальное перемещение груза с минимальными колебаниями и минимальными нагрузками на элементы привода, что повышает эффективность кранов с ШССС.

ЛИТЕРАТУРА

1. Kalweit C. Mehr als ein Ersatz für den Neckarhafen / Christian Kalweit // Hebezeuge Fördermittel. – 2007. – №5. – ss. 254–255.
2. Смахов А.А. Оптимальное управление подъемно-транспортными машинами / А.А. Смахов, Н.И. Ерофеев. – М. : Машиностроение, 1975. – 239 с.
3. Комаров М.С. Динамика грузоподъемных машин / М.С. Комаров – М. : Машиностроение, 1969. – 206 с.
4. Ловейкин В.С. Динамический анализ стреловых систем кранов с горизонтальным перемещением груза при изменении вылета: дис. кандидата тех. наук : 05.05.05 / Ловейкин Вячеслав Сергеевич. – К., 1982. – 268 с.
5. Ловейкин В.С. Влияние раскачивания груза на эффективность кранов с шарнирно-сочлененной стреловой системой / В.С. Ловейкин, Д.А. Паламарчук, В.В. Ищук // Горные, строительные, дорожные и мелиоративные машины. - 2012. - № 80. С. 22-29.
6. Ловейкин В.С. Конструкции механизмов изменения вылета стреловой системы, обеспечивающие оптимальное движение груза / В.С. Ловейкин, Д.А. Паламарчук // Бюджетно вопросы от света на науката – 2012. – 2012. – №39. С. 38-42.
7. Ромасевич Ю.А. Оптимизация переходных режимов движения грузовой тележки пролетных кранов: дис. кандидата тех. наук: 05.05.05 / Ромасевич Юрий Александрович. – К., 2010. – 210 с.
8. Ловейкин В.С. Оптимизация режима изменения вылета шарнирно-сочлененной уравновешенной стреловой системы крана / В.С. Ловейкин, Д.А. Паламарчук // Горные, строительные, дорожные и мелиоративные машины. – 2008. – № 72. С. 21–27.
9. Ловейкин В.С. Минимизация колебаний груза при горизонтальном перемещении шарнирно-сочлененной стреловой системой

- крана / В.С. Ловейкин, Д.А. Паламарчук // Техника строительства. – 2010. – № 24. С. 9–17.
10. Паламарчук Д.А. Способ минимизации колебаний груза во время изменения вылета шарнирно-сочлененной стреловой системы крана / Д.А. Паламарчук, В.В. Ищук // Горные, строительные, дорожные и мелиоративные машины. – 2011. – №78. С. 20–27.
 11. Григорьев Н.И. Отклонение груза при работе порталных кранов / Н.И. Григорьев, С.И. Медведин // Речной транспорт. – 1961. – №5. С. 16–17.
 12. Ловейкин В.С. Расчеты оптимальных режимов движения механизмов строительных машин : [учеб. пособие] / В.С. Ловейкин. – К. : УМК ВО, 1990. – 168 с.
 13. Святославский А. Украинские «Марки» для украинских портов / А. Святославский // Транспорт. – 2004. – №22. – С. 11–15.
- REFERENCES
1. Kalweit Christia, 2007. Mehr als ein Ersatz für den Neckar hafen. Hebezeuge Fördermittel, No.5, 254–255.
 2. Smehov A.A., Erofeev N.I., 1975. Optimal'noe upravlenie podemno-transportnymi mashinami [Optimal control of lifting machinery]. Moscow, 239.
 3. Komarov M.S., 1969. Dinamika gruzopodemnyh mashin [Dynamics of of lifting machines]. Moscow, 206.
 4. Lovejkin V.S., 1982. Dinamicheskij analiz strelovyh sistem kranov s gorizontal'nym peremeshheniem gruzu pri izmenenii vyleta [Dynamic analysis jib crane systems with horizontal movement of the load when changing departure]. Kyiv, 268.
 5. Lovejkin V.S., Palamarchuk D.A., Ishchuk V.V., 2012. Vlijanie raskachivaniya gruzu na jeffektivnost' kranov s sharnirno-sochlenennoj strelovoj sistemoj [Influence sway the efficiency cranes with articulated jib system]. Kyiv, 22-29.
 6. Lovejkin V.S., Palamarchuk D.A., 2012. Konstrukcii mehanizmov izmenenija vyleta strelovoj sistemy, obespechivajushhie optimal'noe dvizhenie gruzu [Design mechanisms luffing jib system for optimal cargo movement]. Sofia, 38-42.
 7. Romasevich. Ju. A., 2010. Optimizacija perehodnyh rezhimov dvizhenija gruzovoj telezhki proletnyh kranov [Optimization of transients movement trolley span cranes], 210.
 8. Lovejkin V.S., Palamarchuk D.A., 2008. Optimizacija rezhima izmenenija vyleta sharnirno-sochlenennoj uravnoveshennoj strelovoj sistemy kрана [Optimization of luffing articulated equation revisited-jib crane system]. Kyiv, 21-27.
 9. Lovejkin V.S., Palamarchuk D.A., 2010. Minimizacija kolebanij gruzu pri gorizontal'nom peremeshhenii sharnirno-sochlenennoj strelovoj sistemoj kрана [Minimizing the load variations in the horizontal movement of the articulated jib crane system]. Kyiv, 9-17.
 10. Palamarchuk D.A., Ishchuk V.V., 2011. Sposob minimizacii kolebanij gruzu vo vremja izmenenija vyleta sharnirno-sochlenennoj strelovoj sistemy kрана [Way to minimize the oscillation of the load during the luffing articulated jib crane system]. Kyiv, 20-27.
 11. Grigorev N.I., Medvedin S.I., 1961. Otklonenie gruzu pri rabote portal'nyh kranov [Deviation of the load when working gantry cranes], Rechnoj transport, 16-17.
 12. Lovejkin V.S., 1990. Raschety optimal'nyh rezhimov dvizhenija mehanizmov stroitel'nyh mashin [Calculations of optimal modes of motion mechanisms of construction machinery]. Kyiv, 168.
 13. Svyatoslavskij A., 2004. Ukrainskie «Marki» dlja ukrainских portov [Ukrainian "Marks" for the Ukrainian ports]. Transport, 11-15.

