

ТЕХНІЧНІ НАУКИ

УДК 62-83

Березниченко З. А., Климченкова Н. В., Лагуненков С. В.

РАЗРАБОТКА РАЦИОНАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ УПРАВЛЕНИЯ
ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ МОСТОВОГО КРАНА

Мостовой кран – ведущая машина по перемещению грузов (заготовок и деталей) между технологическими операциями, то есть непосредственно участвует в изготовлении продукции.

Динамические нагрузки и раскачивания удлиняют и снижают качество выполнения операций, что значительно удлиняет весь производственный процесс. На одну производственную технологическую операцию приходится 8–10 операций по перемещению [1, 2].

Решение лежит в повышении степени автоматизации ЭМС крана. Это позволит учесть ряд кинематических параметров, влияющих на динамические нагрузки и раскачивание грузов при перемещении.

Целью работы является построение рациональных эксплуатационных режимов вертикального перемещения грузов ЭМС мостового крана. Для достижения поставленной цели необходимо решение ряда задач:

- разработать математическое описание технологического процесса вертикального перемещения грузов ЭМС мостового крана для заданных движущих сил и сопротивлений;
- определить кинематические закономерности движения элементов ЭМС, которые формируют динамические нагрузки, и исследовать их в переходных режимах;
- дать рекомендации по построению рациональных эксплуатационных режимов управления ЭМС мостового крана.

За объект исследования принята ЭМС подъема грузов мостовым краном типа

НК 1090А. Технические характеристики: номинальная масса груза $m_L = 16$ т; масса кранового моста $m_K = 25$ т; масса тележки $m_B = 6$ т; скорость подъема $V_h = 20$ м/мин; высота пролета балки $h = 2,5$ м; система электропривода – тиристорный преобразователь частоты-асинхронный электродвигатель (ТПЧ-АД) с законом регулирования $U_{1m}/f_1 = \text{const}$. Предмет исследования – кинематические закономерности движения груза и элементов ЭМС на определенных этапах пути и автоматическое управление ими.

Разные части механизмов крана начинают свое движение неодновременно. Так как в первый момент пуска груз еще не стал двигаться, а вращающиеся части механизма разгоняются до определенной скорости, движение второй массы происходит лишь с выбором половины зазора в одну и другую сторону, поэтому при $|\varphi'_1 - \varphi_2| < \frac{\delta}{2}$ в системе появляется зазор. Это приводит к возникновению дополнительных усилий. И груз, и части механизма не являются абсолютно жесткими. Дополнительные усилия ведут как к колебаниям как ЭМС, так и груза. Следствием колебательных процессов являются динамические нагрузки.

При перемещении грузов ЭМС мостового крана должна обеспечивать минимум динамических нагрузок при заданной производительности.

Известно, что на мостовых кранах наибольшие динамические нагрузки возникают при подъеме груза с основания или при торможении [2]. Если не учесть этого на самых первых этапах подъема, то длительность пуска значительно увеличится.

Для исследования технологических операций подъема за расчетную модель ЭМС [2] принимаем двухмассовую модель, представленную на рис. 1. ЭМС имеет две поступательно перемещающиеся массы m_1 и m_2 , соединенные упругим элементом с жесткостью c ,

где m_1 – приведенная масса вращающихся частей ЭМС подъема, m_2 – масса груза. К массе m_1 приложено движущее усилие P , к массе m_2 – вес груза $G = mg$. В исходном состоянии обе массы неподвижны, усилие в упругом элементе (подвеске) $S_0 = G$. От этого начального состояния отсчитываем перемещения масс x_1 и x_2 . Движение начинается после растормаживания m_1 . При движении системы усилие в упругом звене:

$$S = G + c(x_1 - x_2). \quad (1)$$

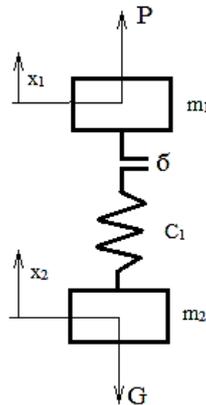


Рис. 1. Расчетная модель ЭМС мостового крана

Дифференциальные уравнения движения первой и второй масс имеют вид:

$$m_1 \frac{d^2 x_1}{dt^2} + c(x_1 - x_2) = P(t) - G, \quad (2)$$

$$m_2 \frac{d^2 x_2}{dt^2} - c(x_1 - x_2) = 0. \quad (3)$$

На основании уравнений (1) и (2) получаем уравнение относительно усилия в упругом звене:

$$\frac{d^2 x_1}{dt^2} - \frac{d^2 x_2}{dt^2} + \frac{c(m_1 + m_2)}{m_1 \cdot m_2} (x_1 - x_2) = \frac{P - G}{m_1}. \quad (4)$$

С учетом (1) выражение (4) примет вид:

$$\frac{d^2 S}{dt^2} + \lambda^2 S = \lambda^2 G + \frac{c}{m_1} (P - G), \quad (5)$$

где P – движущее усилие механизма подъема; $\lambda = \frac{c(m_1 + m_2)}{m_1 \cdot m_2}$.

Постоянное движущее усилие двигателя не является характерным признаком ЭМС механизмов мостовых кранов. В действительности оно изменяется в функции угловой скорости ротора.

Для многих ЭМС пуск двигателя осуществляется при помощи пускового реостата, при котором момент двигателя изменяется по линейному закону от скорости (электропривод асинхронного двигателя с фазным ротором, шунтового двигателя постоянного тока [1]):

$$P = P_0 - B \cdot \dot{x}_1, \quad (6)$$

где B – коэффициент пропорциональности;

P_0 – движущее усилие при неподвижном роторе;

\dot{x}_1 – угловая скорость ротора (все величины приведены к поступательному перемещению груза).

Как показывают исследования [2, 3, 4] движущее усилие изменяется по более сложному закону от скорости. При подъеме груза возникает слабина каната [3], что может привести к его выходу из канавок подъёмного барабана, нарушению нормальной работы, подскоку груза. В [3] предложен более рациональный способ подъема, который позволит реализовать следующий закон изменения движущего усилия:

$$P(t) = G + \frac{P_0}{B \cdot e^{-B \cdot t / T_m}} \cdot (1 - e^{-B \cdot t / T_m}), \quad (7)$$

где T_m – электромеханическая постоянная времени электропривода;

t – время подъема.

Тогда при изменении P по (6), решая (4), получим выражение для определения динамических усилий:

$$S = G + \frac{(P_0 - G) \cdot c \cdot m^2}{m_1 \cdot (B^2 + \lambda^2 \cdot m^2)} \cdot \left(\frac{B}{m \lambda} \sin \lambda t - \cos \lambda t + e^{-B \cdot m / t} \right), \quad (8)$$

где $m = m_1 + m_2$.

При изменении P по (7), решая (4), получим:

$$S = G + \frac{(P_0 - G) \cdot c m^2}{m_1 \cdot (B^2 \cdot e^{-2B \cdot t / T_m} + \lambda^2 \cdot m^2)} \cdot \left(\frac{B \cdot e^{-B \cdot t / T_m}}{m \cdot \lambda} \cdot \sin \lambda t - \cos \lambda t + e^{-B \cdot t / T_m} \right), \quad (9)$$

где $T_m = \frac{J_1}{\beta}$;

β – модуль жесткости механической характеристики;

J_1 – момент инерции двигателя.

Анализ (8) и (9) показывает, что при ручном управлении невозможно контролировать соотношения такого количества параметров (B , m_1 , m_2 , c , T_m , λ). Необходимо построение электромеханической системы на базе программируемых микроконтроллеров [5]. Для связи микроконтроллера с машинистом должен быть предусмотрен пульт управления.

Уравнения (8) и (9) показывают закономерности формирования динамических нагрузок в эксплуатационных режимах. На рисунке 2 приведены полученные закономерности. Закономерности определяют характер нарастания динамических усилий в подвеске груза. Значение усилий при различных возмущающих воздействиях колеблется около некоторого значения. Амплитудные значения колебаний определяются не только величиной возникающего воздействия, но и интенсивностью нарастания этого воздействия. Так для снижения динамических нагрузок можно применить более мягкое, не скачкообразное нарастание сигнала.

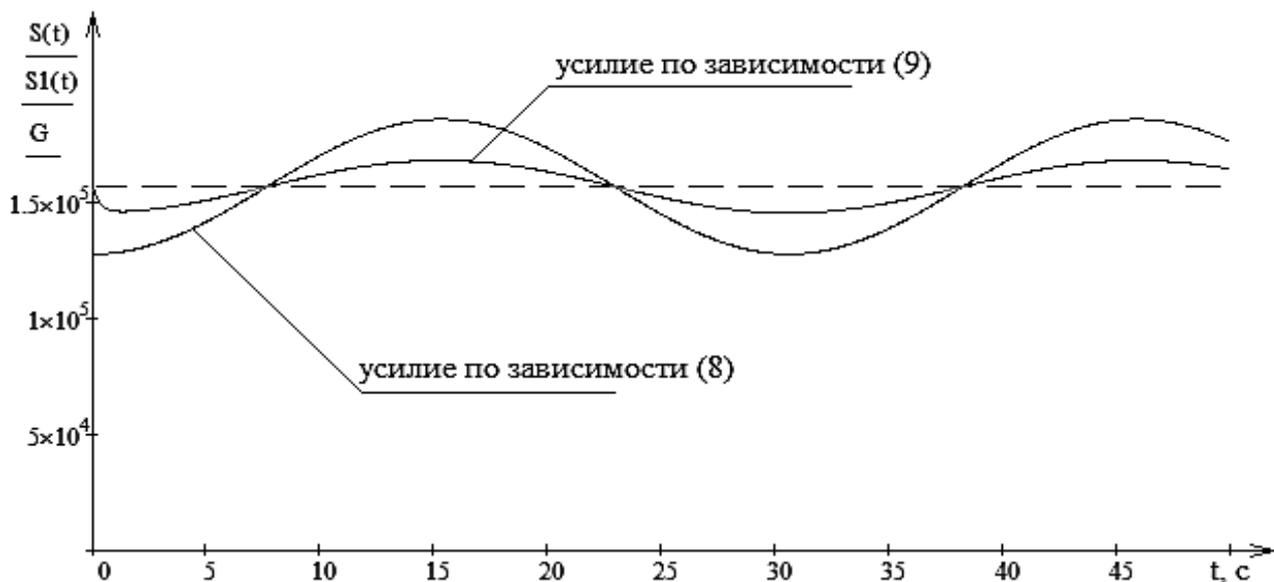


Рис. 2. Закономерности изменения динамических усилий

Для построения рациональных режимов управления следует обеспечить при заданном изменении движущего усилия снижение динамических нагрузок и длительности переходных режимов с учетом люфтов и зазоров, встречающихся в передачах, что положительно повлияет на уровень производительности крана. Модель, позволяющая проверить обеспечение этих условий в системе, представлена на рис. 3.

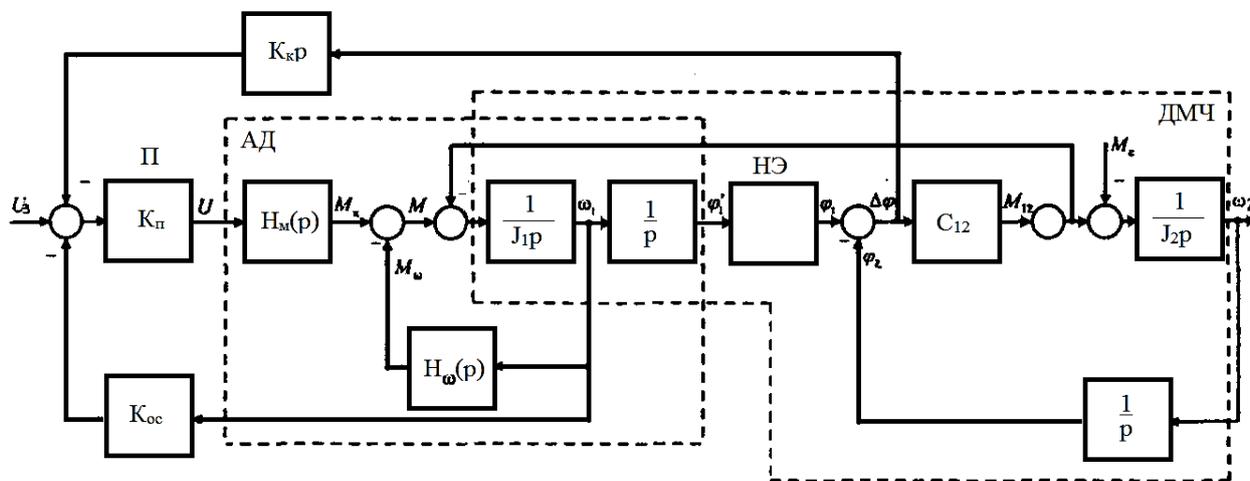


Рис. 3. Эквивалентная структурная схема ЭМС с ДМЧ и учетом нелинейностей

На рис. 3 K_p – пропорциональный преобразователь; $K_{\omega c}$ – датчик обратной связи по скорости; $H_m(p)$ – электромеханический преобразователь (входящий в состав АД); $H_{\omega}(p)$ – датчик внутренней обратной связи по скорости; K_c – корректирующая обратная связь.

Так как было установлено, что на динамические нагрузки можно влиять, варьируя величиной T_m , которая в свою очередь зависит от β – модуля жесткости электромеханической характеристики. Очевидно, существует некоторая оптимальная жесткость β_{opt} , при которой ξ_{max} – коэффициент демпфирования максимален:

$$\xi_{max} = 0,5 \cdot (\sqrt{\gamma} - 1), \tag{10}$$

где $\gamma = \frac{J_1 + J_2}{J_1}$ – коэффициент соотношения моментов инерции.

Обеспечив наилучшее демпфирование, можно получить наилучшую жесткость:

$$\beta_{opt} = J_1 \cdot \Omega \cdot \gamma^{1/4}, \quad (11)$$

где $\Omega = \sqrt{\frac{C_{12}(J_1 + J_2)}{J_1 \cdot J_2}}$ – частота свободных колебаний.

Из (11) следует, что чем выше жесткость упругой связи C_{12} , тем при большей жесткости механической характеристики наступает ξ_{max} .

Из уравнения (11) можно увидеть, что оптимальная жесткость приведет к незначительному гашению колебаний при малых значениях γ . Для улучшения показателей качества также следует ввести обратную связь по разности скоростей.

$$K_{к-ont} = \frac{1}{K_0} \left[\frac{3}{\gamma} \left(\frac{2}{27} \frac{T_M^2}{T^2} + 1 \right) - 1 \right], \quad (12)$$

где K_0 – коэффициент передачи двигателя.

Модель рис. 3 представлена в среде Matlab Simulink для разных условий изменения движущего усилия. Варьируя величинами β , T_M , γ можно увидеть формирование динамики электропривода подъема мостового крана. На рис. 4, 5 приведены совмещенные графики переходных процессов, демонстрирующие поведение ЭМС мостового крана с контролируемыми и не контролируемыми параметрами.

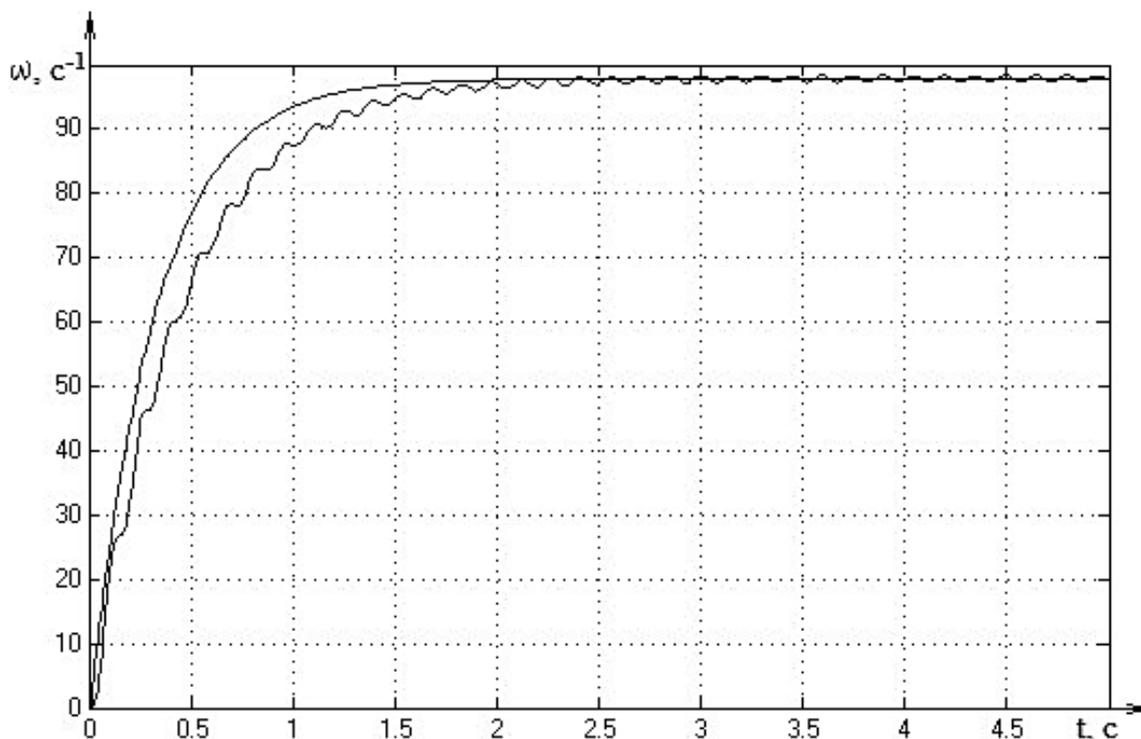


Рис. 4. Графики переходных процессов по скорости

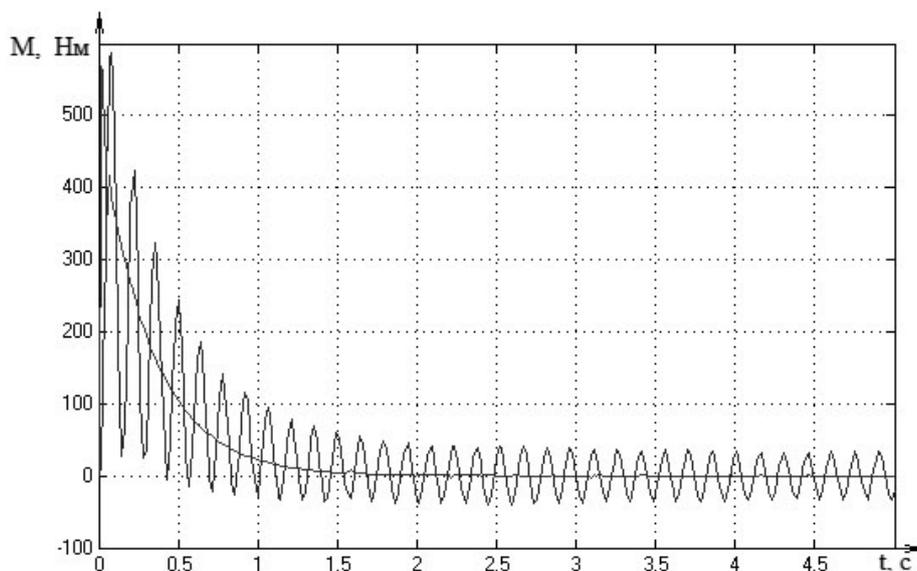


Рис. 5. Графики переходных процессов по моменту

ВЫВОДЫ

Уравнения (8) и (9) позволяют контролировать соотношение параметров механизма подъёма (B, m_1, m_2, C). Из этих уравнений следует, что динамические усилия в упругом элементе изменяются по гармоническому закону с частотой колебаний m_1 и m_2 относительно друг друга: $\lambda^2 = \frac{c(m_1 + m_2)}{m_1 \cdot m_2} = \frac{\omega^2(m_1 + m_2)}{m_2}$. Амплитуда колебаний динамического усилия через π/λ после приложения движущегося усилия достигают максимального значения.

Уравнения (9, 11, 12) позволяют контролировать на программном уровне не только соотношения параметров ($B, m_1, m_2, c, P(t), T_m, \beta, \gamma$), но и влиять на формирование динамических характеристик ЭМС. С учетом этого получены более высокие результаты по показателям качества переходных процессов и рационализации быстродействия ЭМС подъема мостового крана.

Для построения рациональных эксплуатационных режимов управления ЭМС мостового крана необходимо контролировать темп нарастания динамических нагрузок при заданной производительности. С выполнением этой задачи справится ЭМС, построенная на базе микроконтроллеров.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Герасимьяк Р. П. Анализ и синтез крановых электромеханических систем / Р. П. Герасимьяк, А. А. Лещев. – Одесса : СМІЛ, 2008. – 192 с.
2. Динамика грузоподъемных кранов : учеб. для вузов / Александров М. П. и др. – М., 1986. – 400 с.
3. Повышение степени автоматизации технологического процесса перемещения груза кранами / Климченкова Н. В., Корниенко С. В. и др. // Вост.-Европейский журнал передовых технологий. – Харьков : Технологический центр, 2008. – № 41(31). – С. 41–44.
4. Пат. 27558 Україна, В 66719/00. Спосіб вертикального переміщення вантажів краном / Клімченкова Н. В., Спаська А. М. ; заявник та патентовласник Донбаська державна машинобудівна академія – № u200705695 ; заявл. 23.05.07 ; опубл. 12.11.2007, Бюл. № 18.
5. Корниенко С. В. Шляхи удосконалення ЕМС крану на підставі підвищення ступеню автоматизації / С. В. Корниенко, Н. В. Клімченкова, З. О. Березніченко // ЕМС : методи, моделювання та оптимізація : збірник матеріалів конференції. – Кр – 2 : Изд-во КНТУ, 2012. – С. 30–34.