

**РАЗРАБОТКА ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА ПОДЪЕМА ГРУЗА****Климченкова Н. В., Березниченко З. А.**

В данной статье рассмотрены способы моделирования электромеханической системы грузоподъемного крана с учетом технологических этапов его работы. Приведены расчетные и структурные схемы электропривода механизма подъема, использующие как линейные, так и вращающиеся координаты, для упрощения понимания физического смысла процесса подъема. В статье приведена математическая модель, реализующая особенности процесса подъема с основания средствами пакета математических программ Simulink в программной среде Matlab. Проведено моделирование процесса подъема груза с основания. Получены графики переходных процессов по моменту двигателя и упругому моменту, скоростям на поверхности барабана и груза и перемещений, учитывающие особенности грузоподъемных операций.

У даній статті розглянуті способи моделювання електромеханічної системи вантажопідіймального крана з урахуванням технологічних етапів його роботи. Наведено розрахункові та структурні схеми електроприводу механізму підйому, що використовують як лінійні, так і обертові координати, для спрощення розуміння фізичного змісту процесу підйому. В статті наведено математична модель, що реалізує особливості процесу підйому з основи засобами пакета математичних програм Simulink в програмному середовищі Matlab. Проведено моделювання процесу підйому вантажу з основи. Отримано графіки перехідних процесів по моменту двигуна і пружного моменту, швидкостям на поверхні барабана і вантажу і переміщень, що враховують особливості вантажопідійомних операцій.

This article discusses ways of modeling electromechanical system of the crane taking into account the technological stages of his work. There are calculated and block diagrams of the electric lifting mechanism, using both linear and rotary position, to facilitate understanding of the physical meaning of the ascension process. The article presents a mathematical model implementing features to the base of the lifting process by means of mathematical software package Simulink in Matlab software environment. The simulation of the process of lifting from the base was conducted. We obtained the schedule of transient torque of the engine and the elastic torque, speed on the drum surface and the load and displacements take into account the peculiarities of lifting operations.

Климченкова Н. В.

канд. техн. наук, доц. каф. ЭСА ДГМА

tm@dgma.donetsk.ua

Березниченко З. А.

аспирант ДГМА

ДГМА – Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск.

УДК 621.313

Климченкова Н. В., Берзниченко З. А.

## РАЗРАБОТКА ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА ПОДЪЕМА ГРУЗА

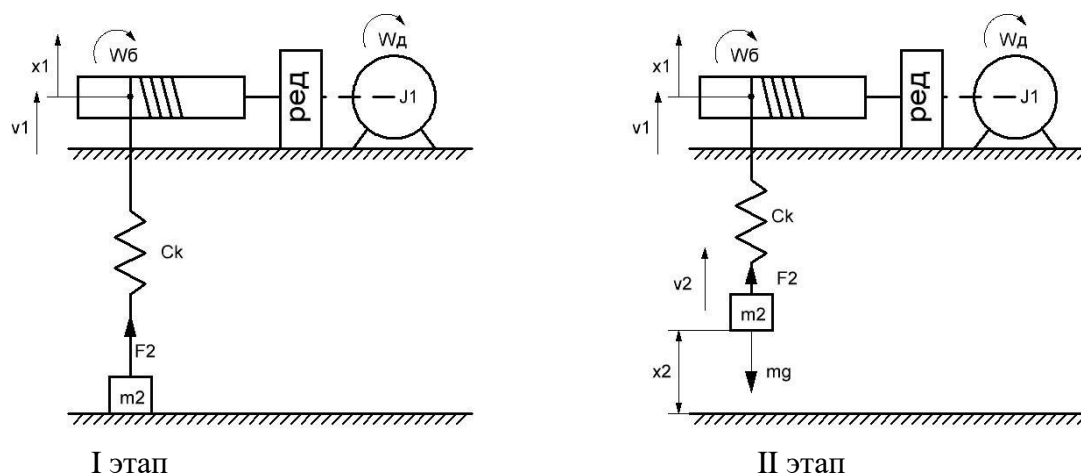
На подавляющем большинстве промышленных предприятий задействованы грузовые краны. Операции по перемещению сырья, заготовок и продукции занимают значительную часть технологического процесса (на литейном производстве при ковочных работах порядка 30–40 %). Поэтому данный аспект производственной деятельности нуждается в дальнейшем рассмотрении.

Изучение работы кранового оборудования в производственном процессе весьма дорогостоящее, а некоторые данные и вовсе невозможно получить из соображений безопасности. Поэтому возникает острая проблема создания модели, достаточно простой в описании и адекватной реальному объекту исследования.

Несмотря на столь острую проблему, вариантов решения достаточно мало. Некоторые весьма громоздки в математических выражениях [1, 2], другие не в полной мере соответствуют физическому смыслу протекания технологического процесса [3].

Целью работы является разработка математической модели электромеханической системы мостового крана с учетом особенностей технологического процесса для изучения возможности оптимизации режимов его работы.

Остановимся подробнее на процессе подъема груза. Данный процесс довольно специфичен, так как в нем необходимо выделить 2 этапа [4]. Расчетная схема процесса подъема с основания иллюстрирующая данные этапы представлена на рис. 1.



$J_1$  – момент инерции вала электродвигателя;  $W_d$  – скорость вращения вала;  $W_6$  – скорость вращения барабана;  $V_1$  – линейная скорость наматывания каната;  $X_1$  – линейное перемещение в точке приложения каната к барабану;  $C_k$  – жесткость каната;  $V_2$  – скорость движения груза;  $X_2$  – перемещение груза,  $m_2$  – масса груза;  $F_2$  – упругая сила в канате

Рис. 1. Расчетная схема

На первом этапе груз стоит на земле, стропы ослаблены. В течение первого этапа происходит выбор зазоров кинематической передачи, петли провисания канатов, деформация металлоконструкций и каната под действием сил тяжести, и завершается отрывом груза с основания при преодолении движущей силой сил тяжести груза.

Второй этап представляет собой передвижение груза согласно заданному техническому процессу.

Из расчетной схемы видно, что модель подъема необходимо рассматривать как многомассовую. Для первого приближения воспользуемся традиционной двухмассовой системой, считая, что металлоконструкция не деформируется.

Поведение двухмассовой системы описывается следующей системой дифференциальных уравнений в форме Лапласа.

$$\begin{cases} M(p) - M_y(p) \frac{1}{J_1 p} = \omega_1(p) \\ M_y(p) - M_c(p) \frac{1}{J_2 p} = \omega_2(p) \\ M_y(p) = \frac{C_k}{p} (\omega_1(p) - \omega_2(p)) \\ M(p) = \frac{\beta}{T_e p + 1} (\omega_0(p) - \omega_1(p)) \end{cases} \quad (1)$$

Такая структура нуждается в изменении, поскольку для кранов характерно изменение параметров рабочего органа (крюка подвески) в линейных координатах.

Кроме того, как показывают исследования в [4], большинство параметров движения груза и грузозахватного устройства зависит от массы и скорости поднимаемого груза. Поэтому актуальным является введение в электромеханическую систему крана датчика веса груза. Тогда автоматическое управление электроприводом подъема будет основано на том, что полученную информацию от датчика преобразуют в цифровые коды, на основании которых вычисляют и формируют управляющее воздействие, обеспечивающее изменение скорости перемещения груза в соответствии с заданным законом регулирования на обоих этапах подъема.

Датчик веса представляет собой кольцо, которое опирается на тензомеры, укрепленные на этом кольце. Узлы встройки и весовой терминал дадут возможность сопряжения с бортовым крановым компьютером через протоколы RS-234, 485 или USB. Далее полученный сигнал усиливают и передают на АЦП для оцифровки данных, затем выводят на индикатор.

Указанные особенности отражены на структурной схеме подъема грузоподъемного крана, представленной на рис. 2.

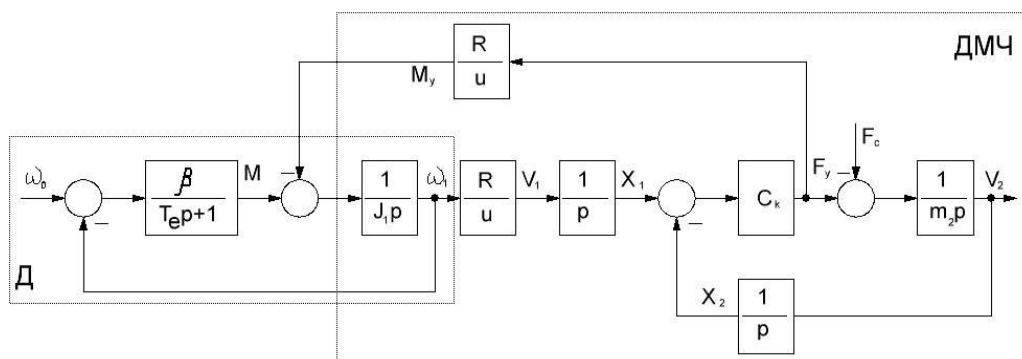


Рис. 2. Структурная схема

С учетом представленной структурной схемы система уравнений (1) принимает вид:

$$\begin{cases} M(p) - \frac{R}{u} F_y(p) \frac{1}{J_1 p} = \omega_1(p) \\ F_y(p) - F_c(p) \frac{1}{m_2 p} = V_2(p) \\ F_y(p) = C_k(x_1(p) - x_2(p)) \\ M(p) = \frac{\beta}{T_e p + 1} (\omega_0(p) - \omega_1(p)) \end{cases} \quad (2)$$

где  $R$  – радиус барабана;

$u$  – передаточное число редуктора.

Переход к линейным координатам устраняет трудности с вычислением крутильных жесткостей каната, а также позволяет увидеть влияние непосредственно груза. Информация о весе груза будет необходима на этапах его горизонтального перемещения, так как позволит рассчитать величину смещения тележки мостового крана относительно точки подъема груза с целью уменьшения амплитуды раскачивания груза в месте его дальнейшего позиционирования.

Очевидно, что перемещение груза возможно только после выбора каната, зазоров кинематических передач и преодоление движущей силой  $F_y$  сопротивление сил тяжести груза. Также стоит учесть, что скорость груза в доотрывный период может быть только неотрицательной. Данные обстоятельства необходимо учитывать при моделировании процесса подъема с основания следующими логическими условиями

$$\begin{cases} \text{пока } F_y < F_c, V_2 = 0 \\ \text{пока } X_2 = 0, V_2 \geq 0 \end{cases} \quad (3)$$

На основании систем (2, 3) построена математическая модель в пакете Matlab Simulink, представленная на рис. 3.

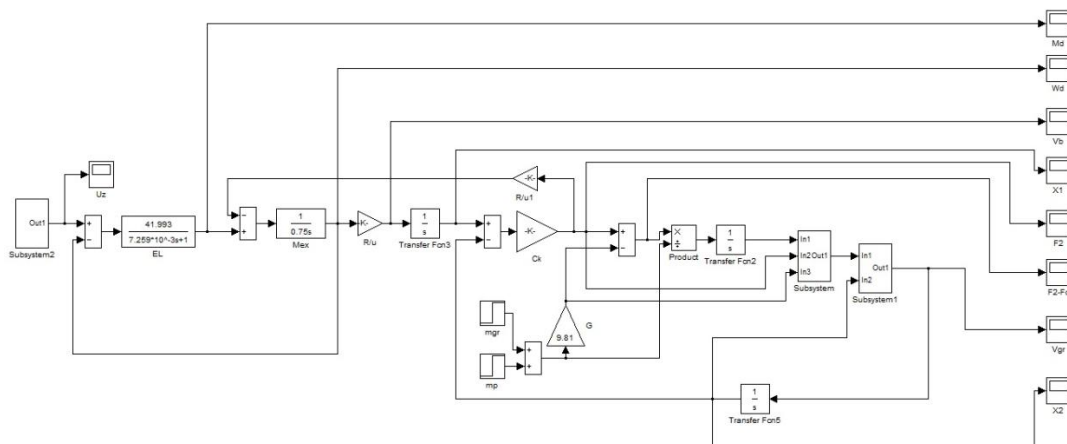


Рис. 3. Математическая модель подъема груза с основания

Выполнение логических условий (3) происходит в Subsystem и Subsystem1. Первое условие реализовано логическим сравнением значений упругой силы и силы сопротивления, в случае преодоления сил сопротивления на установочный вход триггера подается сигнал, разрешающий проверку выполнения второго условия. Устройство блока представлено на рис. 4.

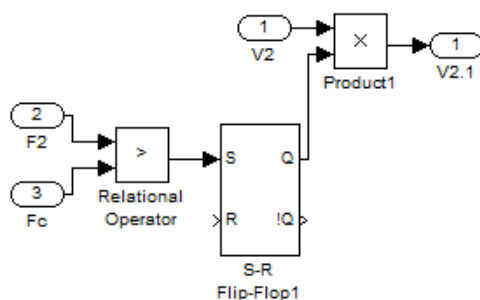


Рис. 4. Subsystem

Во втором блоке скорость разделяется на два контура, в первом из которых скорость может быть только неотрицательной. При начальных условиях Switch 1 транслирует сигнал первого контура, а при отклонении груза от нулевого положения происходит переключение контуров скорости. Внутренне устройство Subsystem1 представлено на рис. 5.

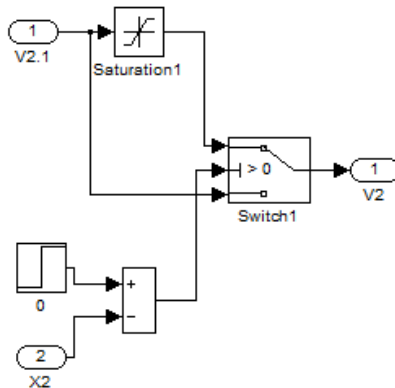


Рис. 5. Subsystem1

За объект моделирования выбран мостовой кран грузоподъемностью  $Q=20000$  кг, высотой подъема  $h=12$  м, диаметром барабана  $D_6=0,5$  м, скоростью подъема  $V=0,133$  м/с. На кране установлен асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором 4МТКМ 225 М6, мощностью  $P=37$  кВт.

На рис. 6–8 приведены результаты моделирования прямого пуска двигателя под номинальной нагрузкой.

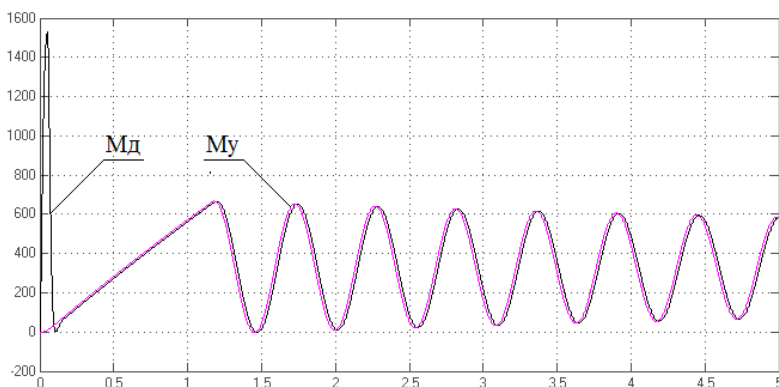


Рис. 6. График переходных процессов момента двигателя и момента упругого

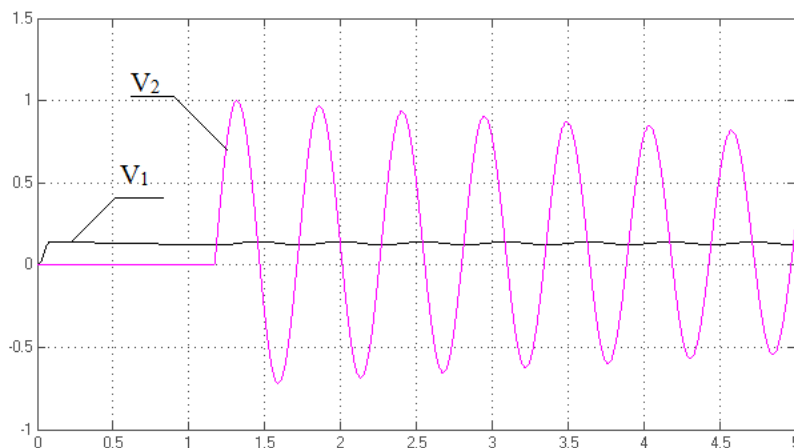


Рис. 7. График переходных процессов линейных скоростей каната и груза

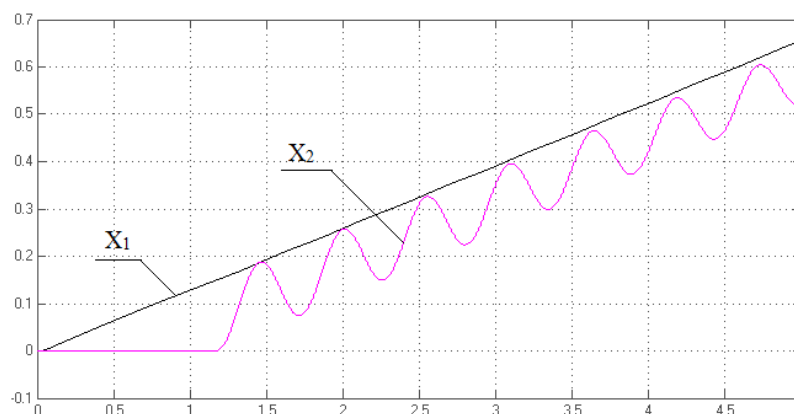


Рис. 8. График переходных процессов перемещений каната в точке приложения к барабану и груза

## ВЫВОДЫ

Полученная модель позволяет наблюдать процессы, близкие к протекающим процессам на реальном объекте.

Данная модель позволяет провести исследования влияния массы груза и скорости отрыва на изменение динамических параметров системы. Затем сравнить их с данными экспериментальных исследований, которые могут быть получены с помощью датчика веса груза.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гайдамака В.Ф. Грузоподъемные машины: Учебник / В. Ф. Гайдамака. – К.: Вища шк. Головное изд-во, 1989. – 328 с.: ил.
2. Лобов Н.А. Динамика грузоподъемных кранов / Н. А. Лобов. – М.: Машиностроение, 1987. – 160 с.: ил.
3. Герасимьяк Р.П. Анализ и синтез крановых электромеханических систем / Р. П. Герасимьяк, А. А. Лецев. – Одесса: СМІЛ, 2008. – 192 с.
4. Герасимьяк Р.П. Синтез коррекции трёхмассовых электромеханических систем подъёмных механизмов / Р. П. Герасимьяк, Е. С. Пуртова // Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы. – Херсон: Изд. ХПУ, 2002. – №1(6). – С. 65–72.

Статья поступила в редакцию 16.10.2016 г.