УДК 621.316

М.Н. НИКОЛЕНКО, магистрант (НГТУ)
Д.А. КОТИН, к.т.н., зав. кафедрой ЭАПУ (НГТУ)
г. Новосибирск

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ НАГРУЗКИ ПОДЪЕМНОГО МЕХАНИЗМА С УЧЕТОМ УПРУГОСТИ КАНАТА

Введение. Построение математической модели – это важнейший этап исследования и проектирования любой системы. От точности разработанной модели зависит весь последующий анализ объекта, и даже работоспособность реализованной системы. Модель должна быть достаточно точной, адекватной и быть удобна для использования. В докладе будет представлена математическая модель нагрузки подъемного механизма, учитывающая упругость каната.

Описание механизма подъема. Кинематическая схема типового механизма подъема приведена на рисунке 1.

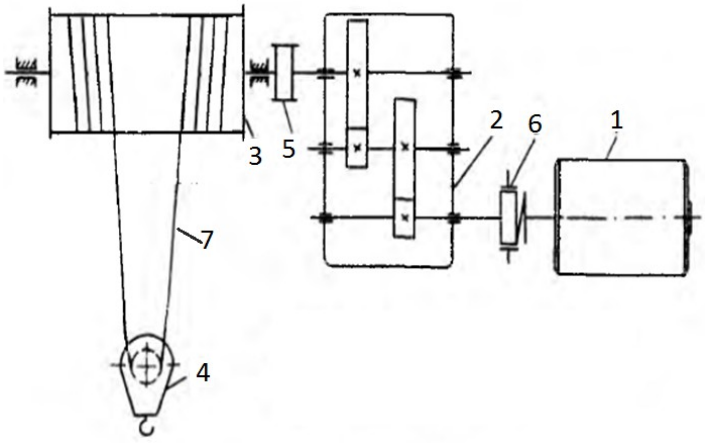

Рисунок 1 – Кинематическая схема механизма подъема

Механизм подъема состоит из двигателя 1, редуктора 2 и барабана 3, на который наматывается канат 7 с грузовой подвеской 4 для подъема груза. Редуктор соединен с барабаном при помощи муфты 5. Для осуществления безопасной работы механизмы подъема снабжаются тормозами, которые с целью уменьшения тормозного момента располагают на быстроходном валу механизма. Тормозной шкиф устанавливают на полумуфте 6 со стороны редуктора, что обеспечивает торможение барабана при срабатывании тормоза даже в случае поломки пальцев муфты. Полиспаст сдвоенный, что обеспечивает строго вертикальное перемещение груза.

Механизм подъема будем рассматривать как двухмассовую систему с поступательно движущимися массами (рисунок 2, а), в которой упругая связь определяется жесткостью *c* подъемного каната. Расчетная динамиче-

ская схема, изображенная на рисунке 2, б, содержит приведенную к канату массу $m_г$ поступательно движущихся частей (груза и грузовой подвески) и приведенную массу $m_д$ вращающихся частей механизма (ротора двигателя, муфты, тормоза, редуктора и барабана (см. рисунок 1)) [1].

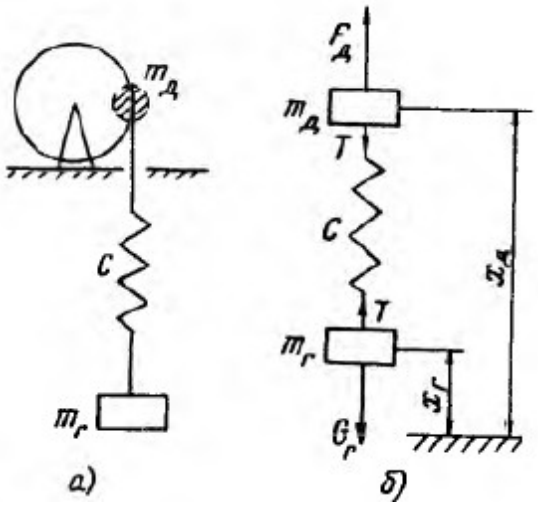

Рисунок 2 – Схема нагружения механизма подъема

Уравнения движения масс и имеют вид соответственно [1]:

$$m_д \frac{d^2 x_д}{dt^2} = F_д - T; \tag{1}$$

$$m_г \frac{d^2 x_г}{dt^2} = T - G_г, \tag{2}$$

где – приведенная сила, пропорциональная моменту привода двигателя механизма; T – сила натяжения каната; $G_г$ – сила тяжести, действующая на массу $m_г$; $x_д$ и $x_г$ – координаты масс и соответственно. Значения $x_д$ и $x_г$ отличаются друг от друга на длину подвеса каната в соответствии с формулой (3):

$$x_д = x_г + l_0 + x, \tag{3}$$

где l_0 – длина подвеса каната при нулевой силе натяжения; x – линейная деформация каната, связанная с силой натяжения в соответствии с формулой (4):

$$T = cx. \tag{4}$$

Получим координату $x_д$, продифференцировав линейную скорость вращения барабана $V_б$ – выражение (5) – связанную с угловой частотой вращения вала двигателя через соотношение (6):

$$x_д = \int V_б dt. \tag{5}$$

$$V_б = \frac{D_б}{2i_p} w_{дв}, \tag{6}$$

где $i_р$ – передаточное число редуктора.

Момент сопротивления на валу двигателя $M_с$ пропорционален силе натяжения каната T :

$$M_с = \frac{D_б}{2i_p} T, \tag{7}$$

Сила тяжести, действующая на массу $m_г$, равняется:

$$G_г = m_г \cdot g, \tag{8}$$

где g – ускорение свободного падения.

Приведенную к канату массу $m_г$ поступательно движущихся частей разделим на приведенную к канату массу груза $m_{г0}$ и грузового подвеса m_0 :

$$m_г = m_{г0} + m_0 \tag{9}$$

Структурная схема механизма подъема. С учетом формул (2)-(9) нагрузку на валу двигателя представим структурной схемой, изображенной на рисунке 3.

На рисунке 3, $l_{сл}$ – длина слабины каната, т.е. длина каната, смотанная с барабана после остановки груза, необходимая для удобства работы стропальщика. При рассмотрении переходных процессов при подъеме с предварительным натяжением или подъема “с веса” длину слабины каната следует принять равной нулю. При рассмотрении процесса спуска груза с последующим ослаблением натяжения каната (при отрицательных перемещениях) требуется задать значение $l_{сл}$ равное пути груза.

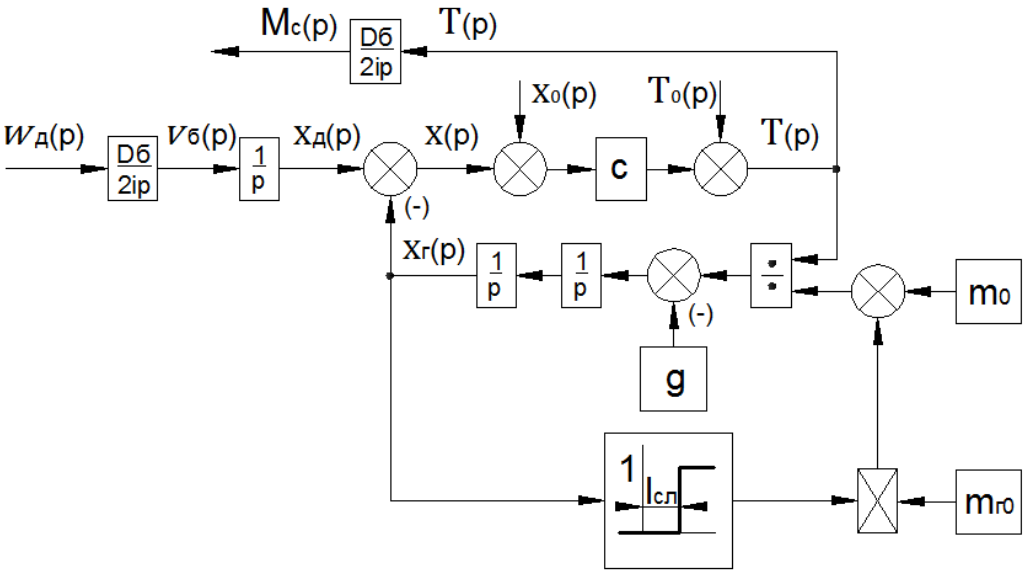

Рисунок 3 – Структурная схема нагрузки на валу двигателя механизма подъема с учетом упругости каната

Предварительное натяжение каната можно задать двумя способами: через линейное растяжение каната x_0 или предварительную силу натяжения каната T_0.

Представленная структурная схема не учитывает длину подвеса каната при нулевой силе натяжения l_0, т.к. она не влияет на переходные процессы, но затрудняет сравнение полученных результатов.

Данная модель позволяет моделировать процессы в системах электропривода (ЭП) подъемных механизмов с учетом упругости каната. С её помощью можно оценить синтезированную двухмассовую электромеханическую систему (ДЭМС), а также оценить влияние упругости каната, не учтенную при синтезе системы управления.

Анализ работы электромеханических систем с использованием предложенной модели. Для проверки работы схемы был синтезирован бездатчиковый частотно-регулируемый асинхронный ЭП с классическим векторным управлением и ориентацией управляющих воздействий по вектору потокосцепления ψ_r без учета упругости каната [2].

На рисунке 4 изображен переходные процессы по частоте вращения ротора w асинхронного двигателя (АД), электромагнитному моменту Me и моментообразующему току статора i_{sq} при подъеме груза. ЭП отрабатывает следующий режим работы: предварительное намагничивание – разгон до минимальной скорости под действием силы тяжести подвеса – выбор слабины каната с последующим отрыванием груза от земли на минимальной скорости – разгон до максимальной скорости – движение на максимальной скорости – торможение до минимальной скорости – движение на минимальной скорости – остановка.

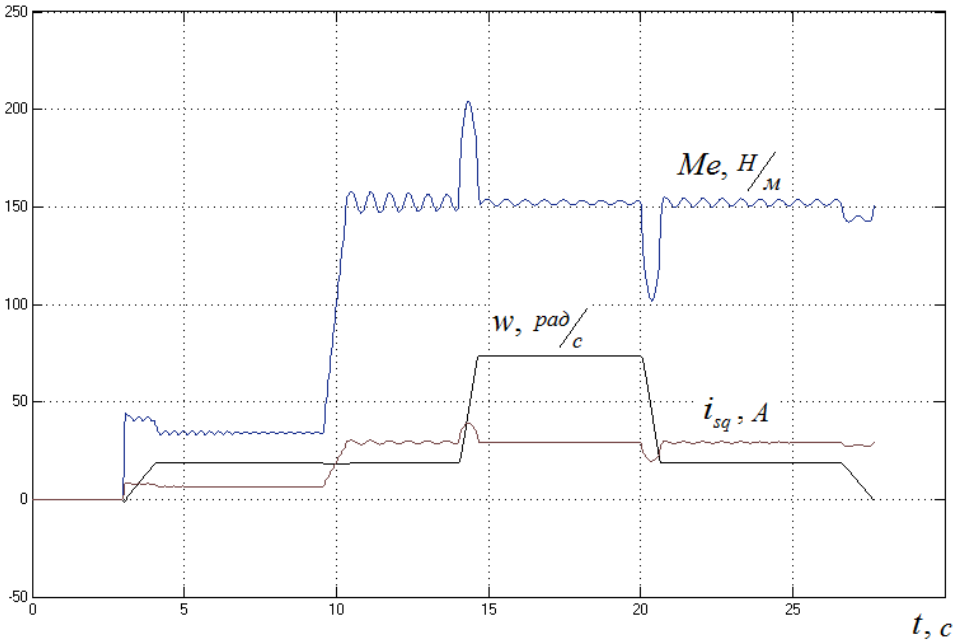

Рисунок 4 – Переходные процессы по частоте вращения ротора w и электромагнитному моменту Me и моментообразующему току статора i_{sq} при подъеме груза

Выводы: Предложенная модель отображает работу ЭП механизма подъема. Из анализа переходных процессов рисунка 4 следует, что несмотря на незначительные колебания скорости, в целом удовлетворяющие технологии процесса, колебания электромагнитного момента, вызванные наличием упругого элемента существенны. Это неизбежно отразится на колебаниях электрических координат привода, таких как ток статора I_S и потокосцепление ротора ψ_r. Для устранения недопустимых колебаний электрических переменных при синтезе замкнутой системы управления АД необходимо использовать методики проектирования систем автоматического регулирования двухмассовых электромеханических систем. В дальнейших работах предлагается использовать методику систем сигнально-адаптивной обратной модели (САОМ) управляемых процессов.

Список литературы:

1. Масандинов Л.Б. Электропривод подъемных кранов / Л.Б. Масандинов.– М. : Изд-во МЭИ, 1998. – 100 с.

2. Панкратов В.В. Адаптивные алгоритмы бездатчикого векторного управления асинхронными электроприводами подъемно-транспортных механизмов: учеб. пособие / В.В. Панкратов, Д.А. Котин. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2012. – 143 с.