

## **ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПОВОРОТНОГО КРУГА ЛОКОМОТИВНОГО ДЕПО**

Спроектированная система управления автоматизированным электро-приводом поворотного круга локомотивного депо г. Минска базируется на применение частотно-регулируемого электропривода и микропроцессорной системе управления.

Поворотный круг предназначен для разворота или поворота магистральных или маневровых тепловозов, электровозов, моторных вагонов, электро- и дизель- поездов при их въезде в боксы депо веерного типа или выезде из них.

Механизм имеет возможность поворота в горизонтальной плоскости на  $360^{\circ}$  вокруг центральной опоры, что позволяет установить локомотив в бокс в любом требуемом направлении. Стальная ферма поворотного круга представляет собой одну поперечную и две продольные балки на которой располагаются шпалы, рельсы и элементы крепления. Каждая концевая часть опирается на две ходовые тележки, ведущую и ведомую, которые опираются на круговой рельс. Привод движения ходовых тележек осуществляется двумя электродвигателями.

При проектировании системы управления были реализованы следующие требования к электроприводу и системе управления:

- режим работы S3;
  - плавный пуск и останов электропривода с заданным ускорением;
  - регулированием скорости;
  - ограничение параметров: момента и тока, допустимыми значениями в переходных процессах и при механических перегрузках;
  - высокая надежность;
  - простота наладки и эксплуатации;
  - невысокая стоимость и экономичность эксплуатации;
  - наличие реверса;
  - безопасность обслуживания.
- система управления должна обеспечивать автоматический и ручной способ управления;
- обеспечивать звуковую сигнализацию при пуске;
  - обеспечение световой индикацию поясняющую режим работы;
  - обеспечение необходимой жесткости механических характеристик привода, чтобы скорость почти не зависела от веса груза;
  - ограничение ускорений до допустимых пределов при минимальной длительности переходных процессов;
  - обеспечение работы электропривода как в двигательном, так и в тормозном режимах;

- наличие конечных выключателей для автоматической остановки электропривода в необходимых положениях;
- предотвращение самозапуска двигателей при восстановлении напряжения после перерыва в электроснабжении;

В целях энергосбережения и экономичного использования ресурсов был проведен расчет мощности электродвигателей.

Мощность двигателей необходимая для привода передвижения рассчитывается по формуле [2]:

$$P_c = \frac{F_{nep} \cdot V_{nep}}{1000 \cdot \eta}, \quad (1.2)$$

где  $F_{nep}$  – общее сопротивление передвижению от статических нагрузок, Н;

$V_{nep}$  – номинальная скорость передвижения, м/с;

$\eta$  – КПД механизма.

Общее сопротивление передвижению от статических нагрузок [2]:

$$F_{nep} = F_{mp} + F_{укл} + F_{в}, \quad (1.3)$$

где  $F_{mp}$  – сопротивление трения, Н;

$F_{укл}$  – сопротивление от уклона пути, Н;

$F_{в}$  – сопротивление от ветровой нагрузки, Н.

Сопротивление трения [2]:

$$F_{mp} = k_p \cdot (m + Q) \cdot g \frac{(f \cdot d_k + 2 \cdot \mu)}{D_k}, \quad (1.4)$$

где  $m$  – масса поворотного круга,  $m = 70000$  кг;

$Q$  – грузоподъемность поворотного круга,  $Q = 300000$  кг;

$g$  – ускорение свободного падения,  $g = 9,81$  м/с<sup>2</sup>;

$d_k$  – средний диаметр цапфы,  $d_k = 0,2$  м;

$k_p$  – коэффициент, учитывающий сопротивление от трения реборд ходовых колес и торцов ступиц колеса,  $k_p = 2,5$ ;

$\mu$  – коэффициент трения ходовых колес по рельсам,  $\mu = 0,0012$ ;

$f$  – коэффициент трения в подшипниках опор вала ходового колеса,  $f = 0,0006$  м;

$D_k$  – диаметр ходового колеса,  $D_k = 900$  мм.

$$F_{mp} = 2,5 \cdot (70000 + 300000) \cdot 9,81 \frac{(0,015 \cdot 0,2 + 2 \cdot 0,0012)}{0,9} = 54445 \text{ Н}.$$

Сопротивление от уклона пути [2]:

$$F_{\text{укл}} = (m + Q) \cdot g \cdot \sin \alpha, \quad (1.5)$$

где  $\alpha$  – угол наклона пути;  
 $\sin \alpha$  – уклон пути,  $\sin \alpha = 0.003$ .

$$F_{\text{укл}} = (70000 + 300000) \cdot 9,81 \cdot 0,003 = 10889 \text{ Н}.$$

Ветровая нагрузка [2]:

$$F_B = F_{\kappa} \cdot F_2, \quad (1.6)$$

где  $F_{\kappa}$  – ветровая нагрузка на конструкцию, Н;  
 $F_2$  – ветровая нагрузка на груз, Н.

Ветровая нагрузка на конструкцию [2]:

$$F_{\kappa} = \rho \cdot A_{\kappa}, \quad (1.7)$$

где  $\rho$  – распределенная ветровая нагрузка на единицу расчетной площади элемента конструкции, Па;

$A_{\kappa}$  – расчетная площадь элемента конструкции,  $\text{м}^2$ .

Распределенная ветровая нагрузка [2]:

$$\rho = q \cdot k \cdot c \cdot n, \quad (1.8)$$

где  $q$  – динамическое давление ветра,  $q = 125$  Па;

$k$  – коэффициент, учитывающий изменение динамического давления на высоте 10 м над поверхностью земли,  $k = 1$ ;

$c$  – коэффициент аэродинамической силы,  $c = 1,8$ ;

$n$  – коэффициент перегрузки,  $n = 0,7$ .

$$\rho = 125 \cdot 1 \cdot 1,8 \cdot 0,7 = 157,5 \text{ Па}.$$

Площадь элемента конструкции:

$$A_{\kappa} = A \cdot k_{\text{пл}}, \quad (1.9)$$

где  $A$  – габаритная площадь элемента конструкции,  $A = 138,6 \text{ м}^2$ ;

$k_{\text{пл}}$  – коэффициент сплошности,  $k_{\text{пл}} = 0,8$ .

$$A_{\kappa} = 138,6 \cdot 0,8 = 110,88 \text{ м}^2.$$

По полученным данным ветровая нагрузка на конструкцию согласно формуле (1.7):

$$F_{\kappa} = 157,5 \cdot 110,88 = 17463 \text{ Н}.$$

Ветровая нагрузка на груз:

$$F_2 = \rho \cdot A_2, \quad (1.10)$$

где  $A_2$  – расчетная площадь груза,  $A_2 = 72 \text{ м}^2$ .

Распределенная ветровая нагрузка:

$$\rho = q \cdot k \cdot c \cdot n,$$

где  $c$  – коэффициент аэродинамической силы,  $c = 1,2$ .

$$\rho = 125 \cdot 1 \cdot 1,2 \cdot 0,7 = 105 \text{ Па}.$$

По полученным данным ветровая нагрузка на груз согласно формуле (1.10):

$$F_2 = 105 \cdot 72 = 7560 \text{ Н.}$$

Полная ветровая нагрузка согласно формуле (1.6):

$$F_6 = 17465 + 7560 = 25023 \text{ Н.}$$

Общее сопротивление передвижению от статических нагрузок согласно формуле (1.3):

$$F_{пер} = 54445 + 10889 + 25023 = 90357 \text{ Н.}$$

Статическая мощность электродвигателя согласно формуле (1.2):

$$P_c = \frac{90357 \cdot 0,35}{1000 \cdot 0,85} = 37,2 \text{ кВт.}$$

Так как привод механизма поворотного круга отдельный, двухдвигательный, то мощность одного двигателя определяется по формуле:

$$P = 0,5 \cdot P_c = 0,5 \cdot 37,2 = 18,6 \text{ кВт.} \quad (1.11)$$

С учетом коэффициента запаса по мощности, расчетная потребная мощность электродвигателя составит:

$$P_{расч} = K_3 \cdot P = 1,15 \cdot 18,6 = 21,4 \text{ кВт.} \quad (1.12)$$

где:  $K_3$  – рекомендованный коэффициент запаса ( $K_3=1.1-1.2$ ).

По результатам расчетов мощности выбран трехфазный асинхронный электродвигатель МТКН 412-8, номинальная мощность:  $P_{ном}=22$  кВт.

Для обеспечения режимов работы выбран преобразователь частоты Omron CIMR-E7Z4030 на максимальную выходную мощность двигателя: 30 кВт.

Система управления автоматизированным электроприводом базируется на промышленный контроллере CJ2M (Omron).

Подключение к контроллеру возможно через встроенный порт USB или предоставляемые на выбор порт Ethernet/последовательный порт RS-232C/422/485.

Для проведения исследований режимов работы автоматизированного электропривода поворотного круга была разработана компьютерная модель в среде визуального моделирования Simulink в системе компьютерной математики MATLAB 7.0. Для повышения наглядности и удобства отладки модель электропривода поворотного круга представлена на рисунке 1.

Полученные результаты моделирования показали, что электропривод в полном объеме выполняет требования, которые к нему предъявлялись: в установленном режиме обеспечивает требуемую жесткость механических характеристик; в режиме пуска и в момент перехода на пониженную скорость значения пусковых тока и момента являются допустимыми для выбранного электродвигателя.

Система автоматизированного электропривода позволяет рационально расходовать энергоресурсы и повышает срок службы отдельных элементов. За счет применения частотно-регулируемого электропривода осуществляется экономия электроэнергии по сравнению с аналогичными установками.

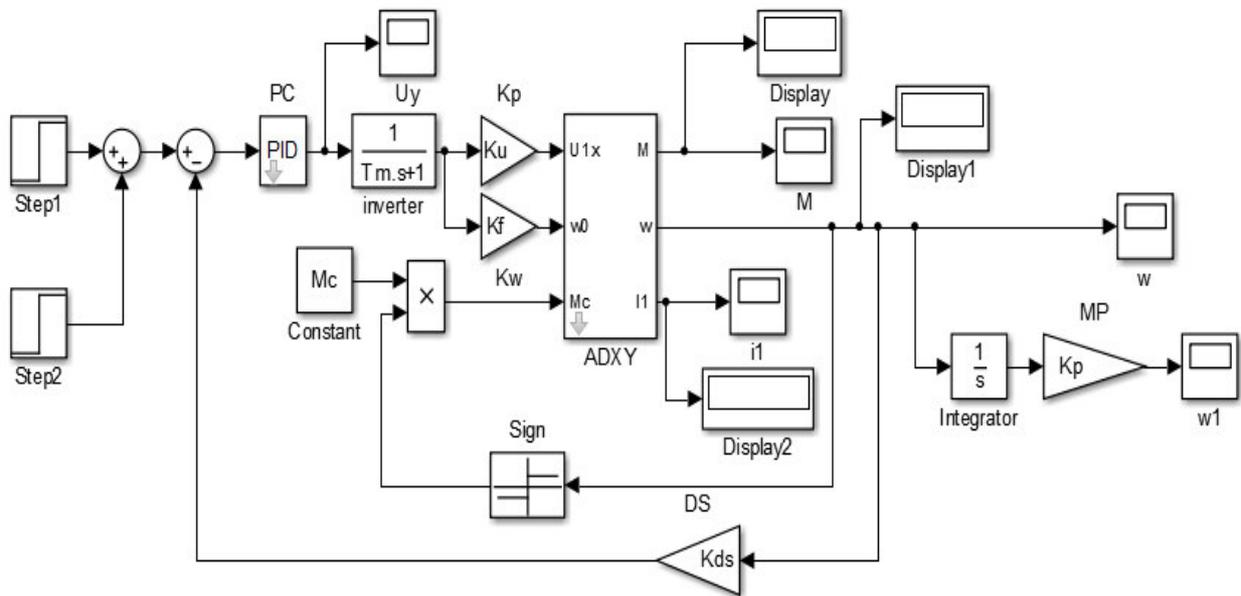


Рисунок 1– Модель электропривода поворотного круга в среде Simulink

В режиме энергосбережения, если двигатель работает с небольшой нагрузкой, преобразователь автоматически определяет величину потребляемого тока двигателя, подключенного к нему, оценивает его нагрузку и понижает выходное напряжение, таким образом эффективно сокращая потребляемую двигателем мощность. При понижении питающего напряжения скорость вращения ротора двигателя остается постоянной.

Для наиболее эффективного уменьшения потребляемой мощности в режиме энергосберегающей работы, используется функция автоматической настройки. Ориентировочная оценка экономии электроэнергии составляет 5-45 %. В проекте экономия электроэнергии достигается за счет следующих решений:

- использования преобразователя частоты для пуска асинхронного электродвигателя дает экономия до 50 % электроэнергии за время пуска;
- расчета оптимального маршрута движения круга, что позволяет минимизировать время работы электропривода;
- автоматизации останова электропривода за счет точного позиционирования, исключающего реверс или доводку привода при первоначальной неточной остановке;
- исключение ошибок персонала, приводящего к повторному запуску электропривода.

Косвенным фактором является повышение производительности поворотного круга, что сокращает время работы двигателя локомотива.