

*к.т.н. Плюгин В.Е.
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина),
Гребенюков Д.А.
(ЗАО «Менса Индастриал Динамик», г. Запорожье, Украина)*

РАСЧЕТ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ МЕХАНИЗМОВ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ КРАНОВ

Розглянута методика розрахунку механізмів підйому і пересування мостових металургійних кранів, орієнтованих на управління від частотних перетворювачів. Приведені розрахунки статичних потужностей механізмів підйому і пересування крану, розрахунок номінальної потужності, а також розрахунок і вибір перетворювачів частоти.

Ключові слова: *електропривод крану, статична потужність, перетворювач частоти, механізми підйому і пересування.*

Рассмотрена методика расчета механизмов подъема и передвижения мостовых металлургических кранов, ориентированных на управление от частотных преобразователей. Приведены расчеты статических мощностей механизмов подъема и передвижения крана, расчет номинальной мощности, а также расчет и выбор преобразователей частоты.

Ключевые слова: *крановый электропривод, статическая мощность, преобразователь частоты, механизмы подъема и передвижения.*

Введение. Крановое электрооборудование является одним из основных средств комплексной механизации всех отраслей народного хозяйства. Электропривод большинства грузоподъемных машин характеризуется повторно - кратковременном режимом работы при большей частоте включения, широком диапазоне регулирования скорости и постоянно возникающих значительных перегрузках при разгоне и торможении механизмов. Особые условия использования электропривода в грузоподъемных машинах явились основой для создания специальных серий электрических двигателей и аппаратов кранового исполнения. Проектирование и расчеты кранового электропривода, несмотря на многолетнее развитие как теоретической части, так и аппаратного обеспечения, не имеют практической ценности без учета специфики эксплуатации в условиях конкретного производства и опыта промышленного внедрения.

Постановка задач исследования. Целью настоящей работы является представление методики расчета механизмов подъема и перемещения мостовых металлургических кранов, ориентированных на управление от частотных преобразователей. Научно-исследовательская база сформирована при поддержке российского гиганта краностроения, предприятия мирового масштаба - ЗАО «Сибирский завод тяжелого машиностроения», г. Красноярск [1 – 4]. Рассматриваемая в данной работе методика является единственной, по которой на Украине производится реконструкция кранов производства ЗАО «Сибятжмаш» и согласованной с конструкторским отделом этого предприятия.

Материалы исследования. Наиболее важными параметрами, характеризующими крановый электропривод, являются статические и номинальные мощности механизмов. Именно эти величины являются основополагающими в выборе электродвигателей, преобразователей частоты, формировании стоимости всего электрооборудования крана и, в конечном итоге, жизнеспособности крана как промышленной единицы предприятия.

Статическая мощность механизма подъема (1), главным образом определяется расчетом к.п.д. механизма подъема, массой подвески и канатов:

$$P_{ст} = \frac{(m_{гр} + m_{подв} + m_{к}) \cdot g \cdot v}{60\eta}, \quad (1)$$

где $m_{гр}$ – масса груза, т;

$m_{подв}$ – масса подвески (ковш, крюк, траверса, клещи), т;

$m_{к}$ – масса каната средняя, т;

$g = 9,8 \text{ м/с}^2$;

v – скорость подъема, м/с;

η – к.п.д. механизма подъема.

К.п.д. механизма подъема находится как

$$\eta = \eta_{б} \cdot \eta_{п} \cdot \eta_{от} \cdot \eta_{р}, \quad (2)$$

где $\eta_{б}$ = к.п.д., учитывающий потери в опорах барабана, а также потери, вызванные жесткостью каната;

$\eta_{п}$ – к.п.д. полиспаста;

$\eta_{от}$ – к.п.д. открытой зубчатой пары (если открытой пары нет, то $\eta_{от} = 1$);

$\eta_{р}$ – к.п.д. редуктора.

Масса подвески и масса канатов выбирается по таблице эмпирических данных (табл. 1) и зависит от грузоподъемности, высоты подъема, колеи тележки, числа ветвей полиспаста.

Таблица 1 - К выбору массы подвески и полиспаста

Грузоподъемность, т	Высота подъема, м	Колея тележки, мм	Число ветвей полисп.	$\eta_{п}$	Масса траверсы, кг	Масса канатов, кг	Общая масса груза, кг	
100	18	6300	12	0,980	6000	1380	108000	
	35	7500			6600	2330	109000	
140	18	7500	16	0,970	11000	1880	153000	
	35					2980	154000	
180	18		20	0,960	17300	2450	200000	
	35					3770	201500	
225	18		28	0,945	24000	3050	252000	
	35					5400	255000	
280	18		8500 для высоты подъема 18 м;	16	0,970	25000	4100	310000
	35					27000	6540	314000
320	18	9750 для высоты подъема 35 м	20	0,960	28000	4650	353000	
	35				31000	7200	359000	
360	18	9750 для высоты подъема 35 м	24	0,950	34000	5700	400000	
	35				37500	8900	407000	
400	18	9750 для высоты подъема 35 м	24	0,950	37000	5700	443000	
	35				40000	8900	449000	
450	18	9750 для высоты подъема 35 м	28	0,945	45000	6400	502000	
	35				48000	10700	509000	
500	18	9750 для высоты подъема 35 м	32	0,935	48000	7000	555000	
	35				50000	11600	562000	
560*	18	9750	36	0,925	58000	9000	627000	
	35					13000	631000	
630*	18	9750	40	0,915	66000	10000	706000	
	35					14000	710000	

Статическая мощность механизмов передвижения (механизмы передвижения тележки, моста крана) наиболее сложна в расчете, т.к. определяется влиянием многих факторов, не подчиняющимся строгим зависимостям. Рассмотрим получение статической мощности механизмов передвижения подробно.

Статическая мощность электродвигателя механизма передвижения, кВт:

$$P_{\text{ст}} = \frac{W_{\text{ст}} \cdot v}{60 \cdot \eta}, \quad (3)$$

где $W_{\text{ст}}$ - статическое сопротивление движению крана.

v – скорость передвижения, м/мин;

η - к.п.д. механизма передвижения.

К.п.д. механизма передвижения η находим как произведение к.п.д. редуктора и квадрата к.п.д. зубчатой муфты $\eta = \eta_p \cdot \eta_{\text{зм}}^2$. Обычно, $\eta = 0,8 \dots 0,9$ для механизмов передвижения тележек и кранов с цилиндрическими зубчатыми передачами при номинальной нагрузке.

Статическое сопротивление движению крана, кН:

$$W_{\text{ст}} = W_{\text{тр}} + W_{\text{ук}}, \quad (4)$$

где $W_{\text{тр}}$ – усилие на преодоление сил трения;

$W_{\text{ук}}$ – усилие на преодоление уклона рельсового пути.

Усилие на преодоление сил трения, кН:

$$W_{\text{тр}} = \omega_{\text{тр}} \cdot (Q + G), \quad (5)$$

где $\omega_{\text{тр}}$ - удельное сопротивление передвижению ребордных ходовых колес;

Q – вес груза, кН;

G – вес крана при расчете механизма передвижения крана, кН;

G – вес тележки с траверсой при расчете механизма передвижения тележки, кН.

Усилие на преодоление уклона рельсового пути, кН

$$W_{\text{ук}} = K_y \cdot (Q + G), \quad (6)$$

где K_y – коэффициент, учитывающий уклон рельсового пути:

$K_y = 1,0$ для мостовых кранов;

$K_y = 3,0$ для козловых кранов;

$K_y = 2,0$ для тележек.

Удельное сопротивление передвижению ребордных ходовых колес

$$\omega_{\text{тр}} = K_p \cdot \frac{2000}{D_k} \cdot \left(\mu + \frac{D_{\text{ц}}}{2} \cdot f \right), \quad (7)$$

где K_p - коэффициент, учитывающий трение реборд о рельс;

μ – плечо трения качения ходового колеса, м;

f – коэффициент трения подшипников опор вала ходового колеса;

D_k – диаметр ходового колеса, м;

$D_{\text{ц}}$ – диаметр цапфы вала ходового колеса, м.

Диаметр цапфы вала ходового колеса можно приблизительно определить как $D_{\text{ц}} = D_k / (4 \dots 6)$.

Расчет номинальной мощности электродвигателей механизмов подъема или передвижения находим исходя из статической мощности, полученной ранее:

$$P_n = \frac{P_{\text{ст}}}{K_T \cdot K_p \cdot K_{\text{п}}}, \quad (8)$$

где K_T – температурный коэффициент (табл. 2);

K_p – коэффициент, учитывающий режим работы;

$K_{\text{п}} = 0,6$ – коэффициент запаса для механизма передвижения (для механизма подъема не учитывается).

Для релейно-контакторных систем управления вводится также коэффициент запаса $K_{\text{р.к}} = 1.18$, на который необходимо увеличить статическую мощность.

Таблица 2 - Температурный коэффициент в формуле расчета номинальной мощности

Температура, °С	40	50	60	70	80
K_T	1	0,9	0,82	0,7	0,6

При определении коэффициента режима работы следует пользоваться правилом: для металлургии стандартным является относительная продолжительность включения ПВ 40%. Коэффициент K_p , учитывающий эксплуатацию оборудования при другом режиме ПВ, определяется по формуле

$$PВ\%_{\text{xx}} = \sqrt{\frac{PВ40\%}{PВ\%_{\text{xx}}}}, \quad (9)$$

где индекс xx соответствует требуемому ПВ.

Группы режима работы кранов и группа режима работы механизма определяются по соответствующим таблицам.

По рассчитанным статическим и номинальным мощностям механизмов крана выбираются преобразователи частоты. Отметим, что выбор преобразователей частоты осуществляется не по мощности, а по току.

Ток, по величине которого производится выбор преобразователей частоты (инверторов) приводного механизма, определяется по следующему выражению:

$$I_{\text{пр}} = \frac{k_{\text{max}}}{1.36} I_{\text{п}} N_{\text{дв}} N_{\text{пр}}, \quad (10)$$

где k_{max} – отношение максимального тока к полному току $I_{\text{п}}$ двигателя, принимается равным 2,0;

$N_{\text{дв}}$ – количество двигателей в приводном механизме;

$N_{\text{пр}}$ – количество преобразователей (инверторов), управляющих приводным механизмом.

Полный ток электродвигателя с учетом коэффициента загрузки:

$$I_{\text{п}} = \sqrt{I_{\text{а}}^2 \left(\frac{P_{\text{ст}}}{P_{\text{н}}} \right)^2 + I_{\text{р}}^2}, \quad (11)$$

где $I_{\text{а}}$, $I_{\text{р}}$ – соответственно активная и реактивная составляющие номинального тока двигателя;

$P_{\text{ст}}$ – статическая мощность механизма;

$P_{\text{н}}$ – номинальная мощность электродвигателя.

Проверка правильности выбора преобразователя частоты производится нахождением отношения максимального тока преобразователя к полному току двигателя:

$$\frac{I_{\text{пmax}}}{I_{\text{п}}} = \frac{1,36 I_{\text{пн}} N_{\text{дв}}}{I_{\text{п}} N_{\text{пр}}}, \quad (12)$$

где $I_{\text{пн}}$ – номинальный ток преобразователя, выбранного по расчетному току $I_{\text{пр}}$.

Найденное по (12) отношение токов не должно быть ниже, чем 1,80 для обеспечения допустимой перегрузочной способности привода.

Выводы. По изложенной в данной работе методике были рассчитаны и выбраны электродвигатели и преобразователи частоты для комплектации системы электропривода мостовых металлургических кранов грузоподъемностью от 46т до 600т таких предприятий Украины, как ОАО «Азовсталь», г. Мариуполь, ОАО «АМК», г. Алчевск, ОАО «Энегомашспецсталь», г. Краматорск. Методология расчета, совместно с базой данных технических параметров и коэффициентов, частично заявленных в рассмотренной работе, являются составной частью САПР, используемой в настоящий момент для проектирования и расчета частотно-регулируемых электроприводов механизмов подъема и передвижения металлургических кранов на ЗАО «Сибирский завод тяжелого машиностроения», г. Красноярск.

Библиографический список

- 1. Расчеты крановых механизмов и их деталей. Под ред. Р.А. Лалайца.- М.: ВНИИПТМАШ, 1993. – 187 с.*
- 2. Технические условия на транспортно-технологические краны для обслуживания предприятий металлургической промышленности. Руководящий документ. – М.: ВНИИПТМАШ, 2004. – 72 с.*
- 3. А.Г. Яуре, З.Е. Шафиров и др. Краны грузоподъемные: методика расчета и выбора электрооборудования РТМ 24.090.81-85. Министерство тяжелого и транспортного машиностроения, 1985. – 89с.*
- 4. Motor power and brake selection calculation. Closed corporation “Siberian plant of heavy machine-building”. – Krasnoyarsk, 2008. – p.42.*

Рекомендована к печати д.т.н., проф. Заблодским Н.Н.