

**Статические и динамические
нагрузки электроприводов
механизмов передвижения и
поворота**

Для механизмов передвижения, работающих на горизонтальном пути в производственном помещении, приведенный к валу статический момент, обусловленный силами трения

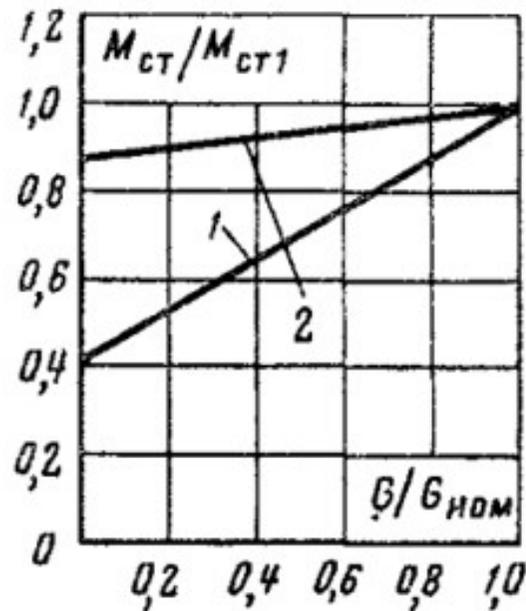
$$M_{\text{с.передв.}} = \frac{k_p \cdot (G + G_0') \cdot \left(\mu \cdot \frac{d_{\text{ц}}}{2} + f \right)}{i_p \cdot \eta_M}$$

G – вес груза; G_0' – общий вес незагруженного механизма; μ – коэффициент трения в опорах ходовых колес; f – коэффициент трения качения ходовых колес; η_M – КПД передач механизма; $d_{\text{ц}}$ – диаметр подшипников колес; k_p – коэффициент, учитывающий трение реборд колес о рельсы, возникающее вследствие возможного перекоса конструкции моста или тележки.



$$M_{\text{с.передв.}} = \frac{k_p \cdot (G + G'_0) \cdot \left(\mu \cdot \frac{d_{\text{ц}}}{2} + f \right)}{i_p \cdot \eta_m}$$

Изменения момента вызываются изменением веса перемещаемого груза и изменением силы трения в кинематических звеньях механизма.



$$1 - G'_0 < G$$

Пределы изменения нагрузок ЭП механизмов передвижения и поворота без учета ветровой нагрузки и уклона

При горизонтальном положении платформы и отсутствии ветра *статический момент поворота* (прямая 2):

$$M_{\text{с.пов}} = k_p \cdot \frac{2 \cdot f \cdot (G + G'_0) \cdot D_{\text{кр}}}{d_p \cdot i \cdot \eta_M}$$

k_p – коэффициент, учитывающий трение реборд колес опорных тележек о рельсы или роликов опорного роликового круга о направляющие, а также трение в центральной цапфе оси вращения платформы; $D_{\text{кр}}$ – диаметр роликового круга; d_p – диаметр роликов (в случае опорных тележек - диаметр их колес); f – коэффициент трения качения роликов или ходовых колес; i – передаточное число редуктора.

Статические нагрузки установок, работающих на открытом воздухе, могут существенно изменяться при наличии уклона или воздействия ветра.

В общем случае сила сопротивления движению для механизмов передвижения может быть представлена в виде алгебраической суммы

$$F_c = F_{гр} + F_{тр} + F_B = (G'_0 + G) \sin \alpha + k_{тр} (G'_0 + G) \cos \alpha + p_B S_B$$
$$k_{тр} = 2k_p \left(\mu \frac{d_{ц}}{2} + f \right) / D_k \quad \text{— коэффициент трения}$$

D_k — диаметр ходового колеса; α — угол наклона

Сила сопротивления от давления ветра

$$F_B = p_B \cdot S_B$$

p_B — ветровое давление; S_B — площадь парусности машины, м²

$$p_B = 150 \div 250 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}$$

- для кранов, работающих на открытом воздухе

Площадь парусности машины $S_B = k_{СП} \cdot S_{ВК} + S_G$

$k_{СП}$ – коэффициент сплошности конструкции, численно равный 0,3÷0,6 для ферм и 0,7÷0,8 для механизмов;

$S_{ВК}$, S_G – площадь, ограниченная контуром конструкции и груза.

Для механизмов передвижения момент сопротивления от давления ветра

$$M_B = F_B \cdot \frac{D_K}{2}$$

D_K – диаметр колеса

Статический момент в случае, когда результирующая сила направлена против движения (является тормозной)

$$M_c = \frac{F_c \cdot D_K}{2 \cdot i \cdot \eta_M}$$

по движению

$$M_c = \frac{F_c \cdot D_K \cdot \eta_M}{2 \cdot i}$$

Для механизмов поворота статический момент, обусловленный ветром, при постоянной силе ветра зависит от угла поворота платформы. При перпендикулярном направлении по отношению к поверхности конструкции (максимальный момент)

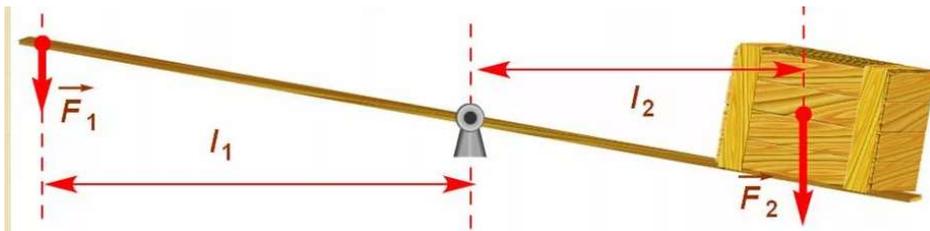
$$M_{\text{в.макс}} = F_{\text{вг}} \cdot l_1 + F_{\text{вк}} \cdot l_2$$

$F_{\text{вг}}, F_{\text{вк}}$ – сила сопротивления от давления ветра на груз и конструкцию;
 l_1, l_2 – плечо приложения силы ветра на поворотную часть.

При произвольном положении поворотной платформы статический момент

$$M_{\text{в}}^{\varphi} = M_{\text{в.макс}} \cdot \sin \varphi$$

φ – угол поворота платформы по отношению к направлению ветра.



Чтобы найти плечо силы, надо из точки опоры провести перпендикуляр на линию действия силы.

Быстродействие работы механизмов подъема, перемещения, поворота определяется в общем случае выражением

$$M - M_c = J_{\text{ЭКВ}} \cdot \frac{d\omega}{dt} = J_{\text{ЭКВ}} \cdot \varepsilon$$

$$J_{\text{ЭКВ}} = J_{\text{ДВ}} + \underbrace{0.15 \cdot J_{\text{ДВ}}}_{\text{Тормоз}} + \underbrace{0.1 \cdot J_{\text{ДВ}}}_{\text{Механическая передача}} + \underbrace{J_{\text{пр}}}_m$$

- момент инерции ротора, тормоза, механической передачи, груза.

Приблизительные значения времен пуска и торможения данного класса механизмов можно определить по выражениям

$$t_{\text{пуск}} = J_{\text{экв}} \cdot \frac{\omega_{\text{кон}} - \omega_{\text{нач}}}{M_{\text{п.ср}} - M_{\text{с}}} \Leftrightarrow \frac{v}{a_{\text{доп}}}$$

$$t_{\text{торм}} = J_{\text{экв}} \cdot \frac{\omega_{\text{н}}}{M_{\text{т.ср}} + M_{\text{с}}} \Leftrightarrow t_{\text{торм}} = t_{\text{пуск}}$$

Значение величины $a_{\text{доп}}$

	Подъем, опускание груза, $a, \text{м/с}^2$	Поворот $\epsilon, \text{рад/с}^2$	Подъем, опускание стрелы, $a, \text{м/с}^2$	Передвижение тележки, $a, \text{м/с}^2$	Передвижение крана, $a, \text{м/с}^2$
Литейные и крупные монтажные краны	0.15	–	–	0.15	0.15
Мостовые краны общего назначения	0.3	–	–	0.4	0.5
Строительные башенные краны	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2
Судовые грузовые краны	1.0	1.0	0.7	–	–
Стреловые поворотные краны общего назначения	0.4	0.5	0.5	–	0.5

Значение величин допустимых ускорений и величин средних значений пусковых моментов для различных типов двигателей берут из таблиц в справочниках.

Классификация режимов работы кранов и их механизмов

В России для определения режима работы и группы режима крановых механизмов действует ГОСТ 34017-2016.

Режим работы крана учитывается при расчете мощности и выборе типа двигателя и аппаратуры управления.

Т а б л и ц а 1 — Принятые обозначения

Обозначение	Определение
<i>A</i>	Группа классификации режима работы крана
<i>Q</i>	Класс нагружения крана
<i>U</i>	Класс использования крана
<i>M</i>	Группа классификации режима работы механизма
<i>L</i>	Класс нагружения механизма
<i>T</i>	Класс использования механизма
<i>P</i>	Значение нагрузки на кран или механизм
C_T	Суммарное количество рабочих циклов крана за срок службы
K_p	Коэффициент распределения масс перемещаемых грузов
K_m	Коэффициент распределения нагрузки механизма

Группу классификации режима работы крана определяют два показателя, характеризующие условия эксплуатационного нагружения конструкции:

- класс использования, зависящий от количества циклов работы крана в течение назначенного срока службы;
- класс нагружения, который зависит от распределения относительных масс перемещаемых грузов.

Класс использования характеризуется показателем наработки — суммарным количеством циклов работы крана за срок службы.

Т а б л и ц а 2 — Классы использования крана

Класс использования	Число циклов работы за срок службы, C_T	Примеры реализации
U_0	До $1,6 \times 10^4$ включ.	Нерегулярное использование, в течение 10 лет не более 5—10 циклов работы в сутки
U_1	Св. $1,6 \times 10^4$ до $3,2 \times 10^4$ включ.	
U_2	Св. $3,2 \times 10^4$ до $6,3 \times 10^4$ включ.	Нерегулярное использование в течение 10 лет не более 20—35 циклов работы в сутки
U_3	Св. $6,3 \times 10^4$ до $1,25 \times 10^5$ включ.	
U_4	Св. $1,25 \times 10^5$ до $2,5 \times 10^5$ включ.	Регулярное использование в течение 10 лет не более 70 циклов работы в сутки
U_5	Св. $2,5 \times 10^5$ до $5,0 \times 10^5$ включ.	Регулярное использование в течение 10 лет не более 140 циклов работы в сутки
U_6	Св. $5,0 \times 10^5$ до $1,0 \times 10^6$ включ.	Регулярное использование в течение 20 лет не более 140 циклов работы в сутки
U_7	Св. $1,0 \times 10^6$ до $2,0 \times 10^6$ включ.	Интенсивное использование в течение 20 лет более 140 циклов работы в сутки
U_8	Св. $2,0 \times 10^6$ до $4,0 \times 10^6$ включ.	
U_9	Св. $4,0 \times 10^6$	

Класс нагружения характеризуется относительным показателем нагруженности - коэффициентом распределения нагрузки

$$k_p = \sum_j \left[\frac{C_j}{C_T} \left(\frac{P_j}{P_H} \right)^3 \right]$$

C_j – среднее количество циклов работы крана с грузом массой P_j
 $C_T = \sum_j C_j$
 P_H — номинальная грузоподъемность крана.

Т а б л и ц а 3 — Классы нагружения

Класс нагружения	Коэффициент распределения нагрузки K_p	Примеры реализации
Q_1 — особо легкий	До 0,062 включ.	Кран всегда работает с грузами менее 50 % грузоподъемности. В особых случаях (не более 4 %) подъем больших грузов
Q_2 — легкий	Св. 0,062 до 0,125 включ.	Постоянная работа с грузами, значительно меньшими номинальной грузоподъемности крана (85 % грузов менее 50 % грузоподъемности)
Q_3 — средний	Св. 0,125 до 0,250 включ.	Работа с грузами, меньшими номинальной грузоподъемности крана, с периодическими подъемами грузов, близких к номинальной грузоподъемности (65 % грузов менее 50 % грузоподъемности)
Q_4 — тяжелый	Св. 0,25 до 0,50 включ.	Частая работа с грузами близкими к номинальной грузоподъемности (75 % грузов более 50 % грузоподъемности)
Q_5 — весьма тяжелый	Св. 0,50 до 1,00 включ.	Постоянная работа в основном с грузами, близкими к номинальной грузоподъемности крана

Группа классификации режима работы крана определяется комбинацией класса использования и класса нагружения согласно таблице 4, которая построена так, что для всех комбинаций, обеспечивающих одну группу режима А, значение произведения $k_p C_T$ одинаковое.

Т а б л и ц а 4 — Группа классификации режима работы крана

Класс нагружения и коэффициент распределения нагрузки		Класс использования и значения $C_T \cdot 10^{-4}$									
Q_p	K_p	U_0 1,6	U_1 3,2	U_2 6,3	U_3 12,5	U_4 25	U_5 50	U_6 100	U_7 200	U_8 400	U_9 > 400
Q_1	0,062	—	—	A0	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7
Q_2	0,125	—	A0	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
Q_3	0,250	A0	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9
Q_4	0,500	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10
Q_5	1,000	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11

Т а б л и ц а А.3 — Примеры классификации башенных кранов

Категория крана	Назначение крана	Группа классификации режима работы		
		Класс использования	Класс нагружения	Группа классификации
1	Редко используемый кран	U_1	Q_2	A1
	Кран, обслуживающий склад предприятия	U_3	Q_1	A2
	Кран для технического обслуживания буровых платформ	U_3	Q_2	A3
	Кран для ремонтных работ в доке	U_4	Q_2	A4
2	Самомонтирующийся кран	U_3	Q_2	A3
	Башенный кран, монтируемый частями	U_4	Q_2	A4
3	Кран, используемый в доках для достройки судов	U_4	Q_2	A4
	Кран для перегрузки контейнеров	U_4	Q_2	A4
	Кран, используемый в судостроении	U_4	Q_3	A5
	Кран, работающий с грейфером	U_5	Q_4	A5

Классификацию для крановых механизмов рассмотреть самостоятельно

Системы электроприводов

- для крановых ЭП применяются специально разработанные серии электродвигателей переменного и постоянного тока.
- в зависимости от применяемых ЭД разрабатываются системы электроприводов постоянного и переменного тока.

Режим работы ЭД в крановом электроприводе характеризуется широким изменением нагрузок, частыми пусками и торможениями, широким диапазоном изменения скорости ниже и выше номинальной.

Крановые двигатели рассчитаны для работы в повторно-кратковременном режиме который характеризуется продолжительностью включения (ПВ) 15, 25, 40 и 60% при продолжительности цикла не более 10 мин.

Системы крановых электроприводов

Электропривод	Диапазон		
	Мощностей, кВт	Регулирование скорости D	
		Ниже номинальной	Выше номинальной
Асинхронный электропривод с кулачковым контроллером, регулирование скорости реостатное	2:30	3:1	—
Асинхронный электропривод с кулачковым контроллером, регулирование скорости реостатное при использовании схемы динамического торможения с самовозбуждением	5:30	7:1	—
Асинхронный электропривод с магнитным контроллером и реостатным регулирование скорости	2:180	4:1	—
Асинхронный электропривод с магнитным контроллером и реостатным регулирование скорости при использовании схемы динамического торможения с самовозбуждением	20:180	8:1	—



Системы крановых электроприводов

Электропривод	Диапазон		
	Мощностей, кВт	Регулирование скорости D	
		Ниже номинальной	Выше номинальной
Асинхронный электропривод с импульсно-ключевым управлением	2:30	10:1	–
Асинхронный электропривод с тиристорным преобразователем напряжения статора и резисторами в роторе	2:180	10:1	–
Асинхронный электропривод с многоскоростным АД и преобразователем частоты с непосредственной связью	2:60	40:1	–
Электропривод постоянного тока по системе Г – Д	20:180	10:1	2,5:1
Электропривод постоянного тока по системе ТП– Д	50:300	10:1	2,5:1

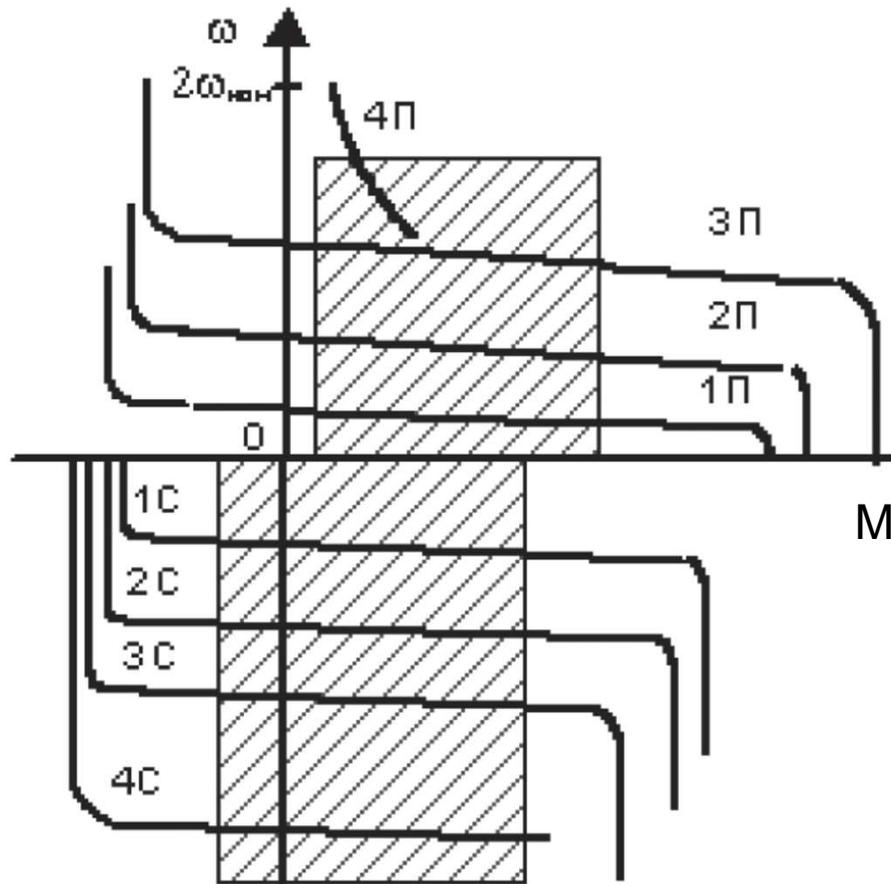
Электропривод механизма подъема

Главной особенностью - наличие активного характера момента нагрузки. Потенциальная энергия груза при опускании должна или возвращаться в питающую сеть (более предпочтительно) или рассеиваться в виде тепла в специальном устройстве.

Необходимость обеспечения установившейся скорости в тормозном режиме является главным требованием к электроприводу механизма подъема и является определяющим при выборе структуры силовой цепи.

Большинство электроприводов механизма подъема требуют регулирования скорости, в каждом квадранте располагается несколько механических характеристик.

Желаемые механические характеристики ЭП механизма подъема

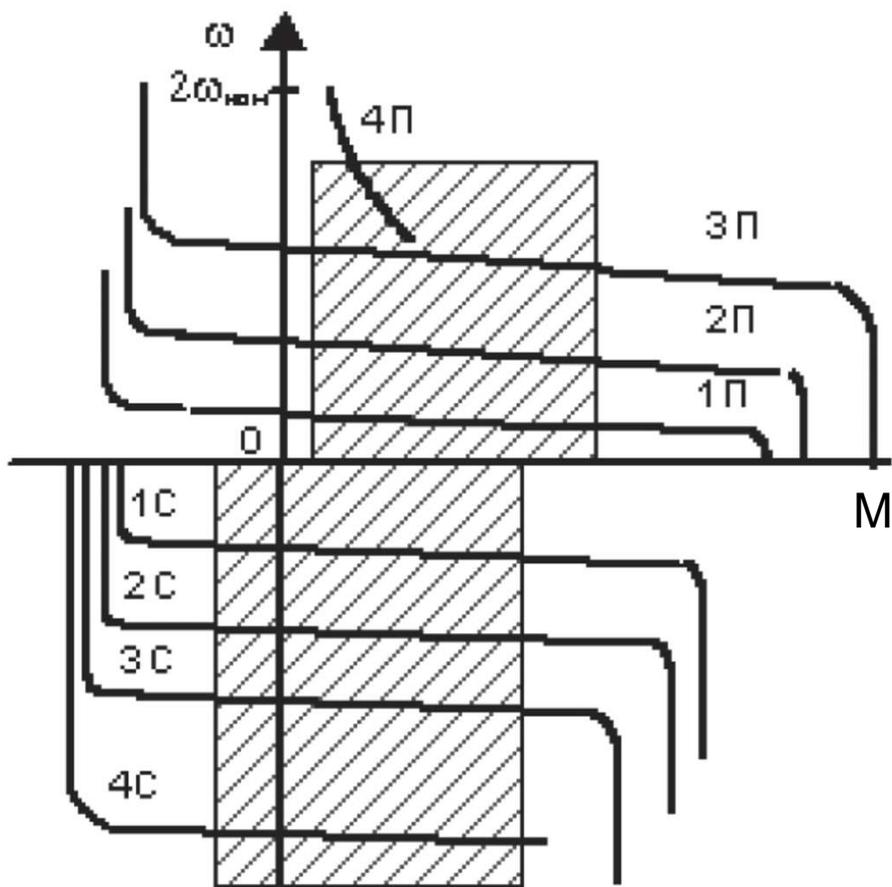


Характеристика 1 в первом квадранте служит для обтягивания строп грузозахватного приспособления.

Характеристика 2 является промежуточной. При работе на характеристике 3 производится подъем груза с номинальной скоростью.

Характеристики 4, лежащие в первом, третьем и четвертом квадрантах используются в ЭП кранов с большой высотой подъема, прежде всего башенных.

При работе на этих характеристиках производится подъем и опускание грузов массой меньше номинальной с повышенной скоростью.



Наибольшее влияние на выбор системы электропривода и ее структуру оказывает характеристика 1, лежащая в третьем и четвертом квадрантах.

Скорость опускания груза на этой характеристике называется посадочной или установочной, определяется технологическими требованиями к крану и является одной из главных характеристик электропривода механизма подъема.

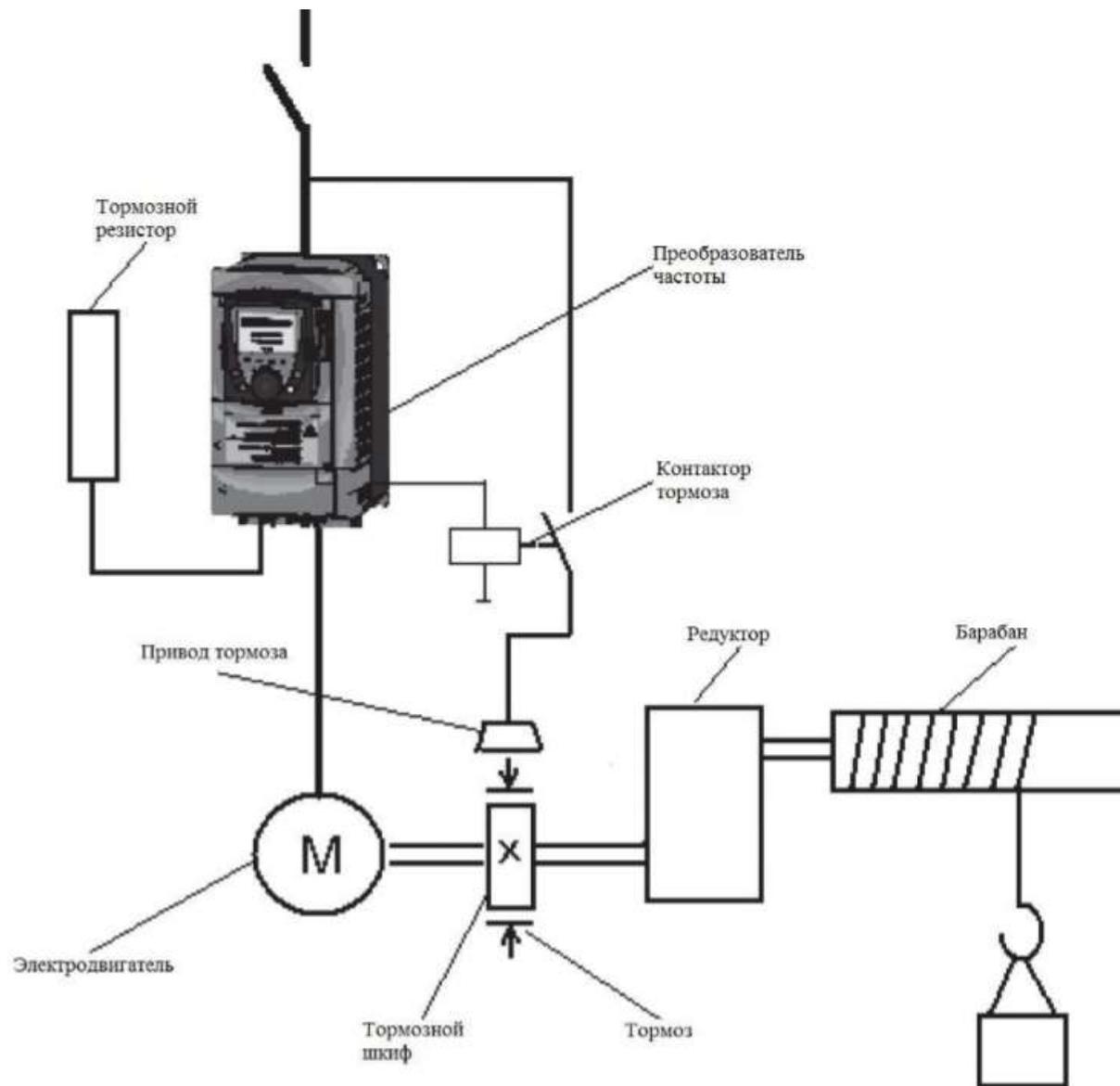
Требования по обеспечению безопасности.

1. Обязательное наличие в конструкции механической части тормоза «нормально замкнутого типа», т.е. при отключенном приводе механизм должен быть всегда заторможен. Тормоз должен обладать достаточным запасом тормозного момента, называемым «коэффициентом запаса торможения».
2. Обязательное обеспечение опускания груза только работающим электродвигателем.

Таким образом

- ЭП должен обеспечивать достаточный запас пускового момента при максимальной допустимой нагрузке и максимальном допустимом снижении питающего напряжения;
- растормаживание механического тормоза должно производиться только после того, как ЭП разовьет пусковой момент достаточный для подъема груза;
- срабатывание любой защиты ЭП должно приводить к отключению ЭП с затормаживанием механическим тормозом;
- преобразователь частоты должен быть оборудован устройством рекуперации или рассеяния энергии торможения (тормозной резистор) с мощностью, достаточной для обеспечения опускания груза максимальной допустимой массы на номинальной скорости.

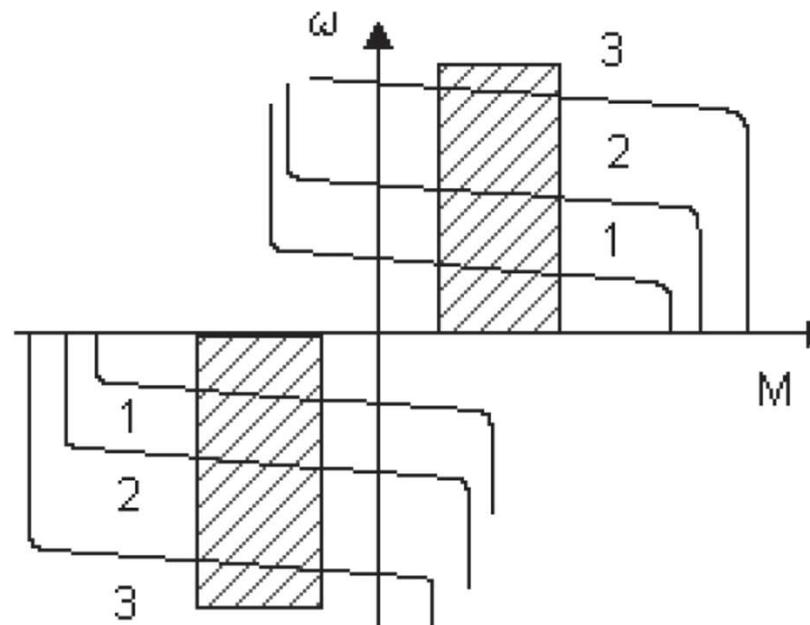
Структурная схема электропривода механизма подъема



Электропривод механизмов горизонтального перемещения (ЭПГП)

- К механизмам горизонтального перемещения относят механизмы передвижения кранов и грузовых тележек, а также механизмы поворота. Все эти механизмы имеют реактивный момент нагрузки.
- Идеальный ЭПГП должен обеспечивать жесткие механические характеристики в двигательном и тормозном режимах.

Желаемые механические характеристики электропривода



- В отличие от механизма подъема тормозной режим механизмов горизонтального перемещения занимает лишь небольшое время цикла и возникает, как правило, при переходе с высших на низшие скорости.
- В тормозном режиме ЭПП может работать при движении под уклон (при неисправности рельсовых путей) или при движении по ветру.
- Многие механизмы горизонтального перемещения имеют большой приведенный момент инерции, поэтому, во избежание повышенных динамических нагрузок на металлоконструкции и механизмы ЭП должен ограничивать ускорения при пуске и торможении.
- Особенностью ЭПП является то, что большинство из них реализуются как многодвигательные приводы, например, приводы механизмов передвижения кранов и механизмов поворота. В этом случае электродвигатели могут питаться как от одного преобразователя частоты, что является наиболее экономичным вариантом, так и от индивидуальных преобразователей, обеспечивающих более гибкое управление крановыми механизмами.

Структурная схема ЭП механизма горизонтального перемещения



Выбор электродвигателей механизмов кранов.

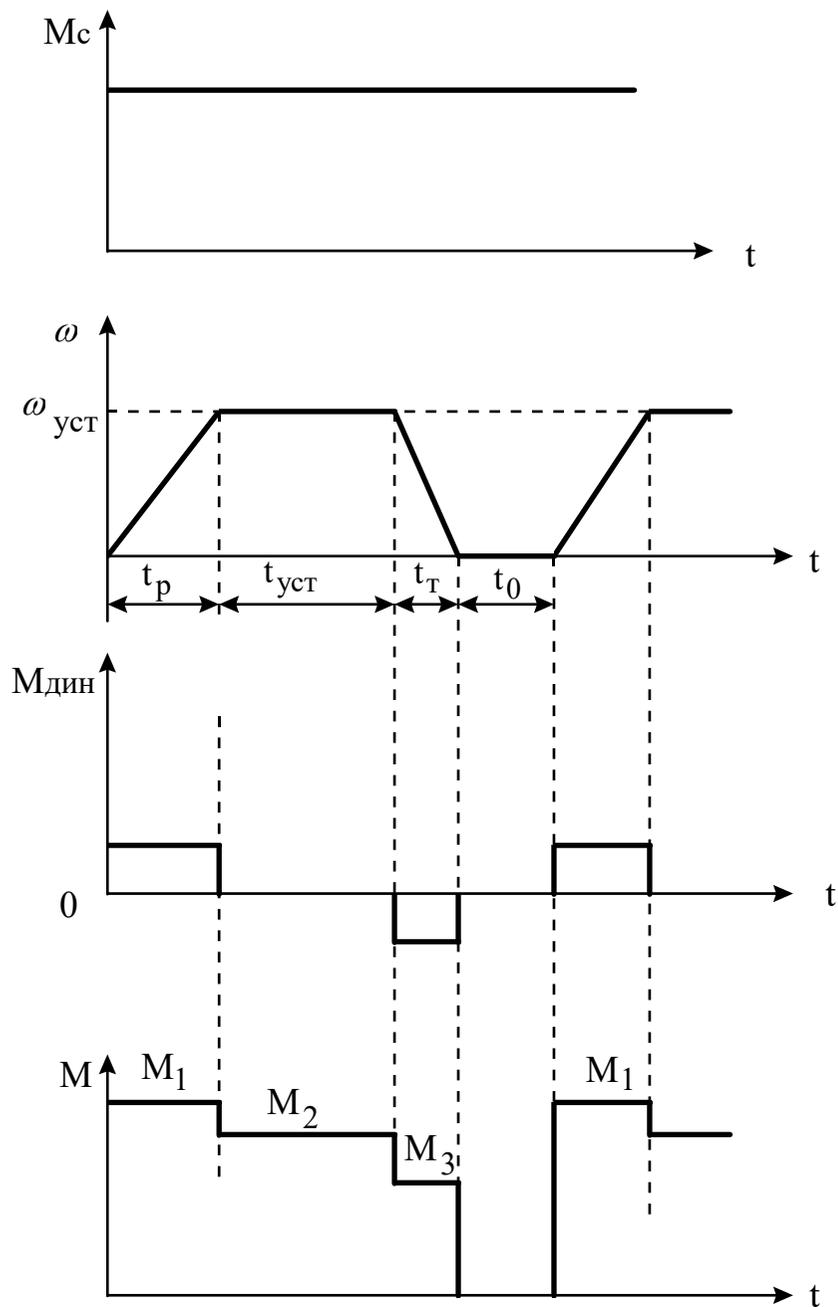
Основное требование - соответствие мощности двигателя условиям технического процесса исполнительного механизма.

Последовательность выбора электродвигателя

- Расчет мощности и предварительный выбор двигателя.
- Проверка выбранного двигателя по условиям пуска и перегрузки.
- Проверка выбранного двигателя по нагреву.

Исходные данные при выборе электродвигателей

- статические и динамические нагрузки, приведенные к валу двигателя;
- параметры режима работы;
- время приложения статической и динамических нагрузок;
- технологические особенности работы механизмов, определяющие число групповых циклов.



а

$$t_{ц} = t_p + t_{уст} + t_T + t_0$$

$$M_{сэ} = \sqrt{\frac{1}{t_{ц}} \cdot \sum_{i=1}^n M_{с_i}^2 \cdot t_i}$$

б

$$M_H \geq k_3 \cdot M_{сэ} \quad \omega_{уст} \leq \omega_H$$

$$P_H = M_H \cdot \omega \geq k_3 \cdot M_{сэ} \cdot \omega_{уст}$$

в

$$M = M_c + J_{эКВ} \frac{d\omega}{dt} = M_c + M_{дин}$$

$$M_{max} \geq M_1$$

$$M_{пАД} \geq M_{сп}$$

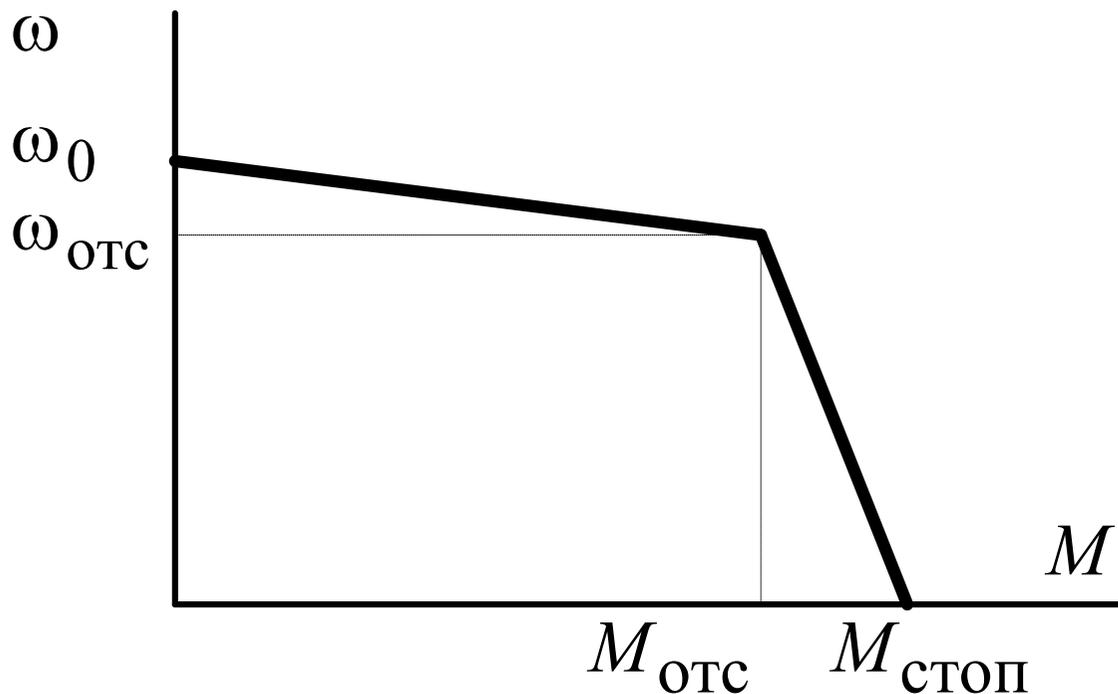
г

Ограничение механических перегрузок механизмов циклического действия

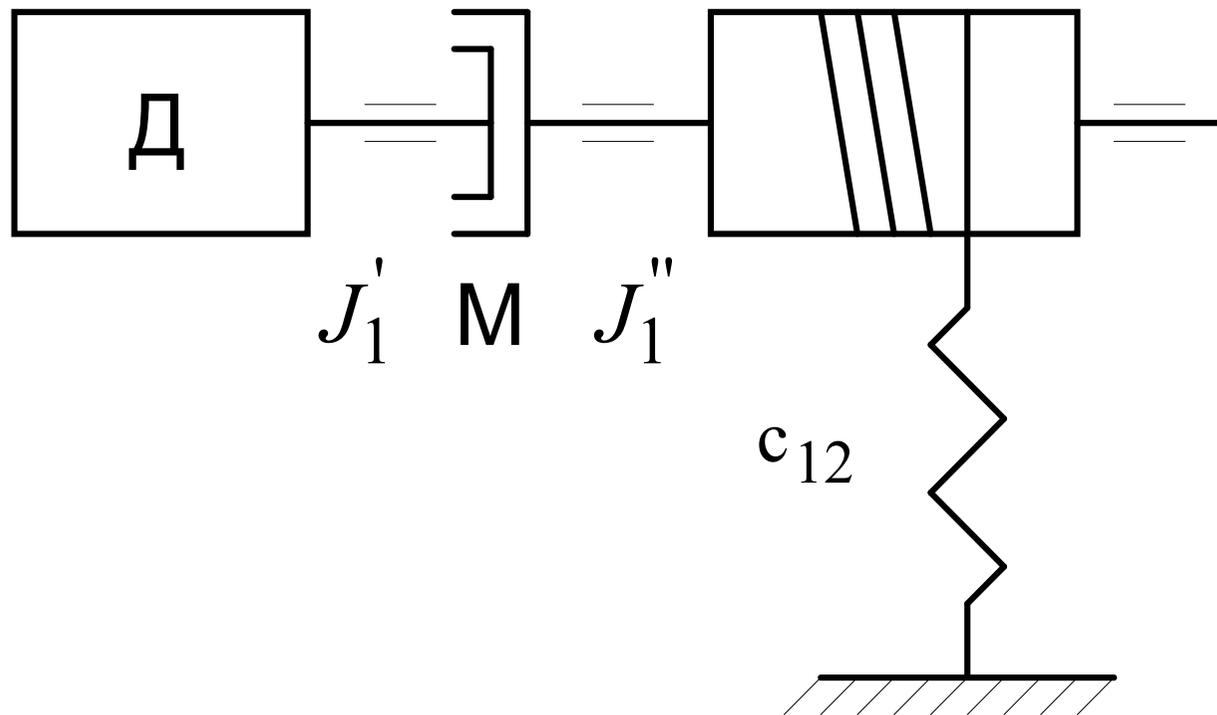
Осуществляется двумя путями:

- *электрическим*
- *механическим.*

Электрическое непрерывное ограничение момента достигается использованием ЭП с экскаваторной характеристикой.



Механическое непрерывное ограничение момента обеспечивается путем использования муфт предельного момента или других устройств с ограниченным предельным передаваемым моментом.



Темы презентаций

1. Электропривод конвейерных линий.
2. Электропривод эскалаторов.
3. Электропривод канатных дорог.
4. Электрооборудование металлорежущих станков.
5. Электрические печи сопротивления.
6. Электрические дуговые печи.
Электрооборудование дуговых плавильных печей постоянного тока.
7. Электрооборудование индукционной печи.
8. Электрооборудование вакуумно-дуговой печи.

Темы презентаций

9. Электрооборудование плазменных печей.

10. Электрооборудование индукционно-плазменной печи.

11. Электрооборудование импульсно-плазменных установок.

12. Электрооборудование высокочастотных индукционно-плазменных установок.

13. Электрооборудование СВЧ установок.

14. Сварочные аппараты для дуговой и контактной сварки.

Темы презентаций

15. Электроустановки электролиза и гальванических покрытий металлов. Электрооборудование цехов электролиза алюминия.

16. Установки гальванического покрытия. Аппараты управления установками гальванического покрытия.

17. Электрооборудование металлорежущих станков и кузнечно-прессового оборудования.

18. Устройство и конструкция лифта. Требования к электроприводу лифта.

19. Схемы управления лифтовыми установками.

20. Системы электроприводов лифта.