

Подъёмные краны

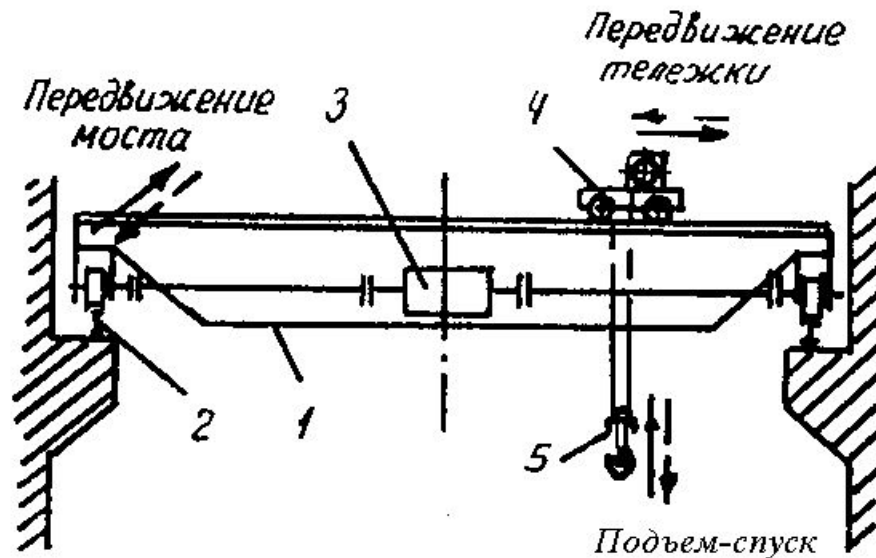
Подъёмные краны являются типичными установками циклического действия.

Самыми распространёнными являются:

- мостовые;
- козловые;
- башенные;
- порталные.

Основные механизмы мостового крана

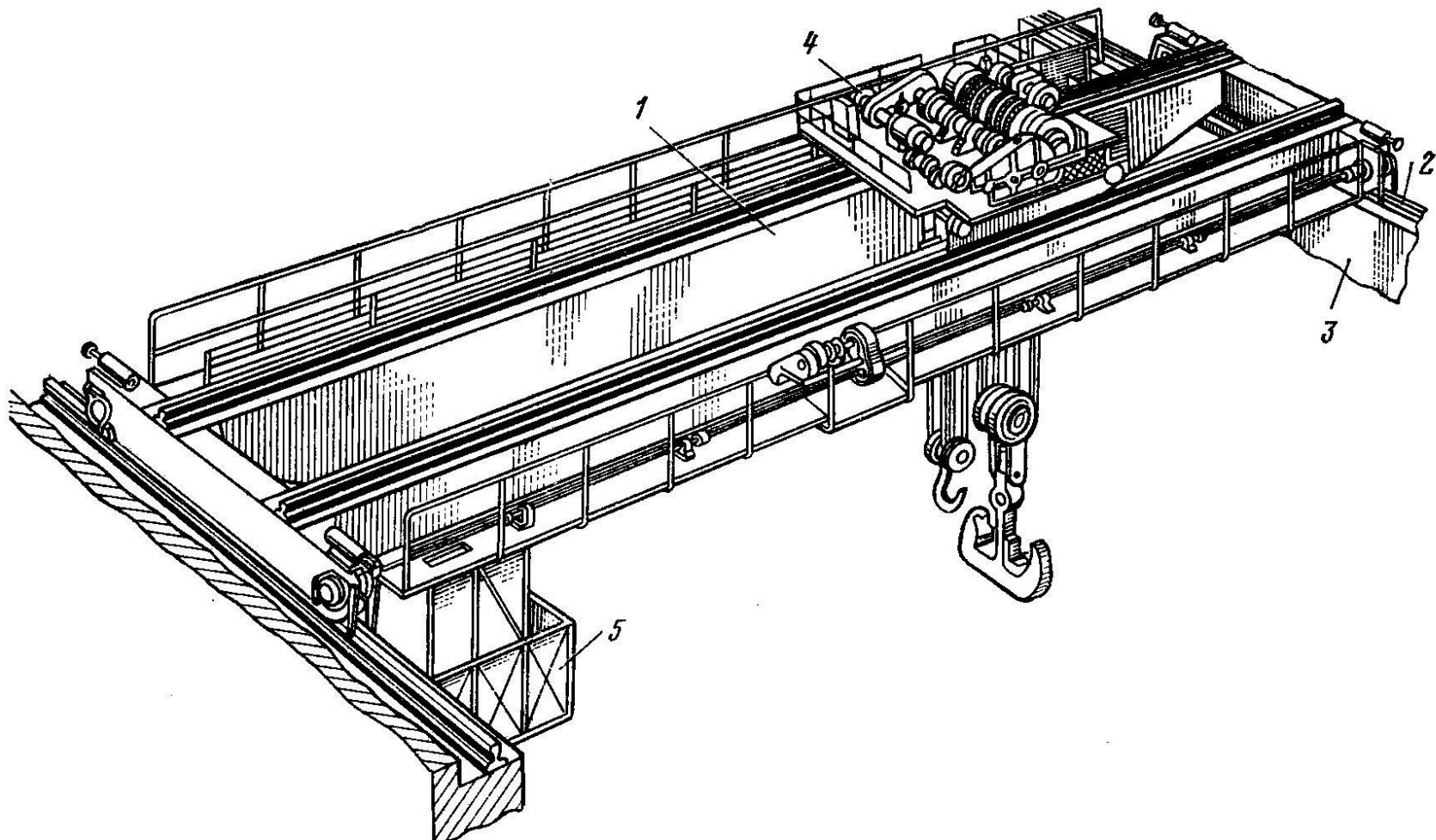
- механизм перемещения моста;
- механизм перемещения тележки;
- механизм подъема груза.



Внешний вид мостового крана

Стальная конструкция моста 1 опирается на ходовые тележки и с помощью механизма передвижения 3 может перемещаться по подкрановым путям 2, уложенных на подкрановых балках вдоль по стенам рабочего цеха. По мосту проложены рельсы, по которым перемещается тележка крана 4. На тележке крана установлена лебёдка, которая через полиспаст приводит в движение крюк 5. Если вместо крюка применить грейфер, то кроме подъемной лебёдки устанавливается лебёдка закрывания и открывания грейфера. Часто мостовой кран имеет несколько тележек.

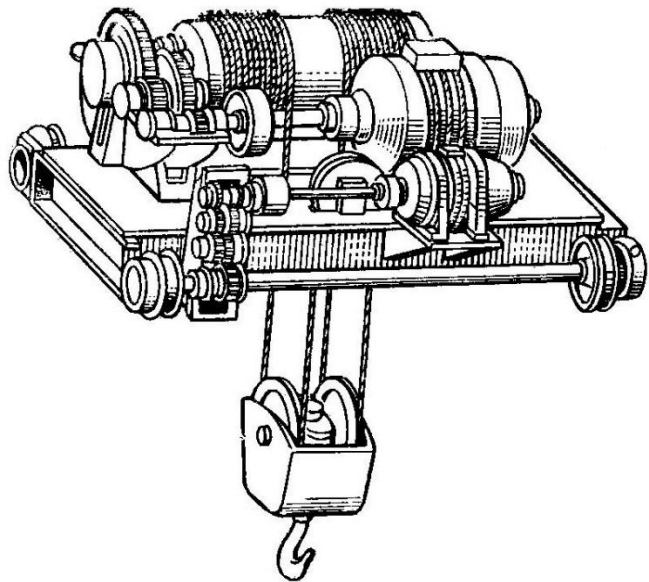
При этом каждый из механизмов должен быть оснащён реверсивным приводом.



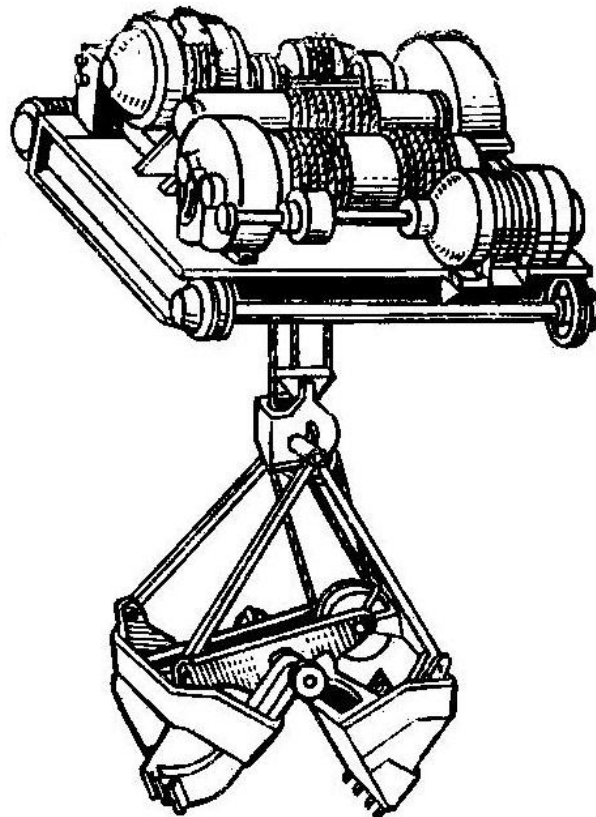
Мостовой кран



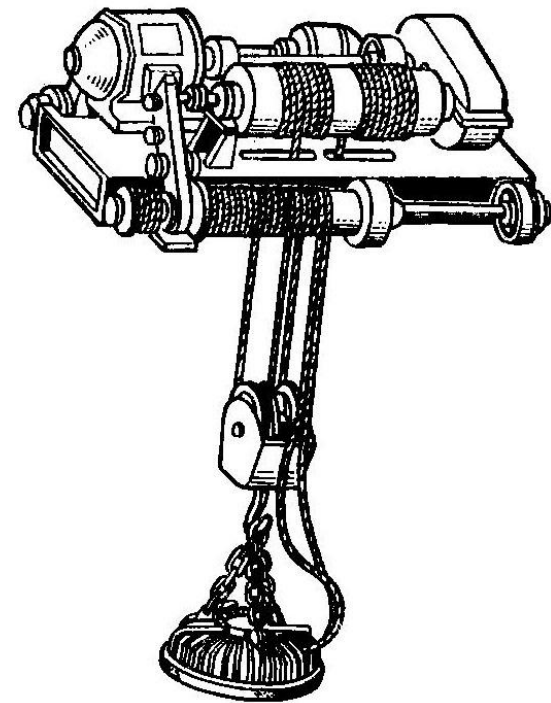
Мостовой кран



Лебёдка с крюком

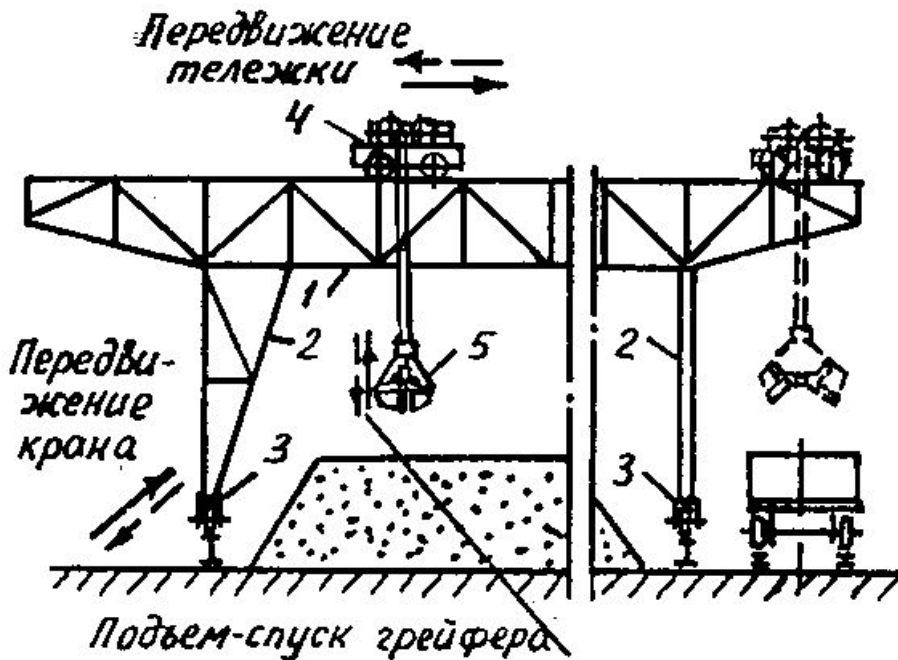


Грейфер



Магнит

Подъёмные краны



Внешний вид **КОЗЛОВОГО**
крана

В таком кране несущий мост 1 опирается на вертикальные опоры 2, эти опоры имеют ходовые тележки 3, колёса которых катятся по рельсовым путям, уложенным по обеим сторонам вдоль обслуживаемой площадки. Вдоль моста проложен рельсовый путь, по которому перемещается тележка 4. На тележке располагается грузоподъёмная лебёдка. Если исполнительным органом является грейфер, то лебёдки имеются две: подъёма и открывания грейфера. Тележка 4 – тележка подъёма груза и закрывания грейфера. Все ЭП должны быть реверсивными.

Особенностью конструкции козловых кранов, предъявляющей требования к ЭП механизмов передвижения, является большая наветренная площадь и соответственно большая ветровая нагрузка, действующая поперек пролетного строения. Кроме того, при больших длинах пролета, во избежание поломки металлоконструкции, бывает необходимо синхронизировать работу механизмов передвижения опор крана.

Определенное распространение получили так называемые кабель-краны, в которых мост заменён несущим канатом, натянутым между двумя канатами. Тележка в этом случае перемещается по несущему канату при помощи тягового каната, навиваемого на барабан лебёдки, расположенном на одной из башен. Ряд кранов имеет поворотную конструкцию.

К специальным козловым кранам можно отнести рудно-угольные грейферные перегружатели, работающие на тепловых электростанциях и металлургических заводах и перегружающие насыпные грузы при помощи специального грузозахватного приспособления – грейфера. Такие краны имеют высокие рабочие скорости, **режим работы механизмов подъема и передвижения тележки 6М**, большую длину пролета. К особенностям грейферного режима следует отнести необходимость синхронизации скоростей подъемной и замыкающей лебедок для равномерного распределения нагрузок.

Механизм передвижения таких кранов обеспечивает установочное движение. Краны, предназначенные для перегрузки контейнеров, также имеют некоторые отличия от козловых кранов общего назначения, связанные, прежде всего с наличием специального грузозахватного органа – спредера.



Кран- балка опорная

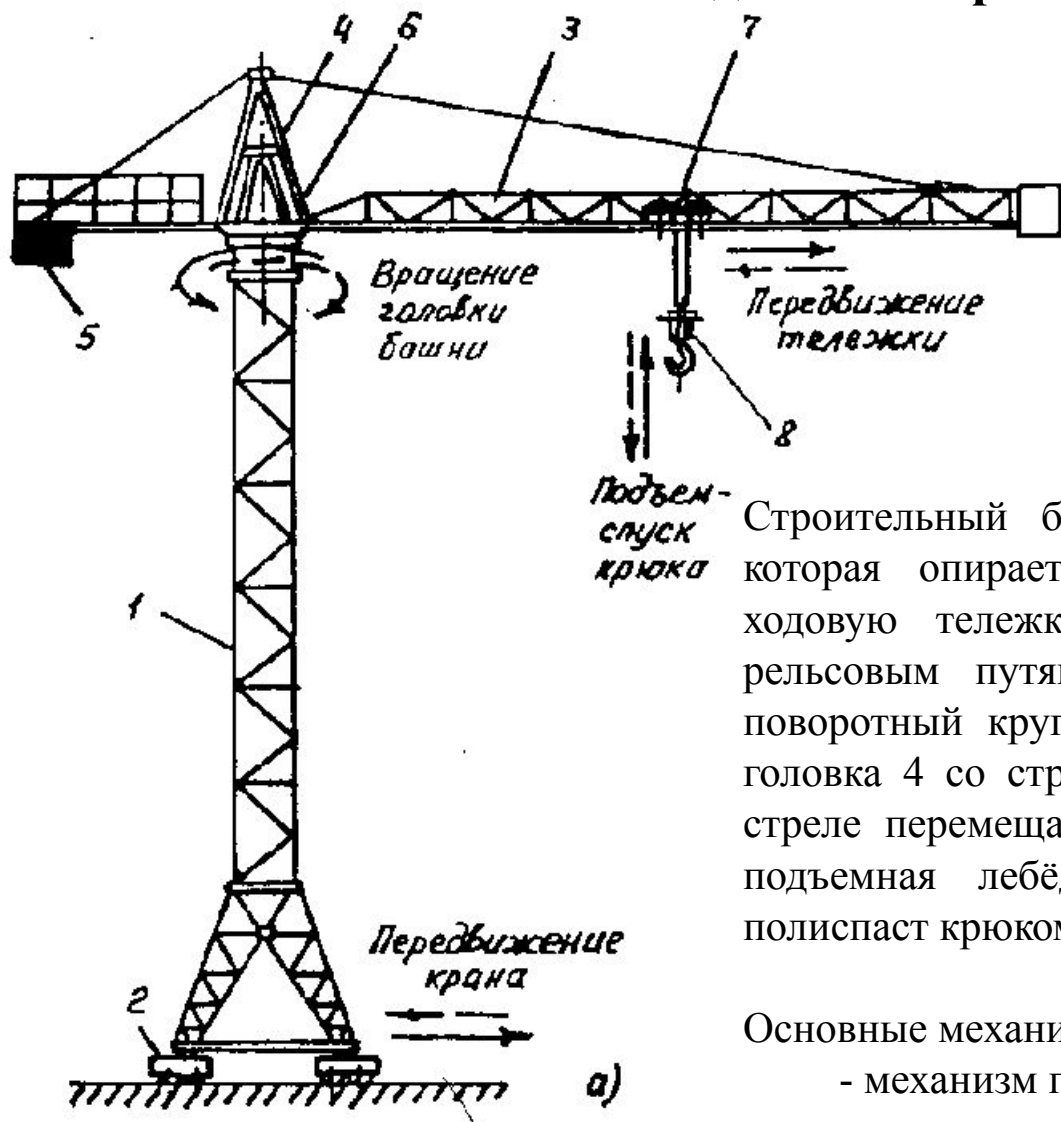


Кран козловой



Кран козловой контейнерный

Подъёмные краны



Строительный башенный кран

Строительный башенный кран состоит из башни 1, которая опирается на мощное основание, имеющее ходовую тележку, которая может перемещаться по рельсовым путям. В верхней части башни имеется поворотный круг 6, на котором вращается поворотная головка 4 со стрелой 3 и консолью противовеса 5. По стреле перемещается тележка 7, на которой находится подъемная лебёдка, приводимая в движение через полиспаст крюком 8.

Основные механизмы башенного крана:

- механизм передвижения крюка;
- механизм вращения головки башни;
- механизм передвижения тележки;
- механизм подъёма–опускания крюка.

Башенные краны применяются в промышленном и гражданском строительстве. К специфическим требованиям, предъявляемым к ЭП механизма подъема башенных кранов, относится необходимость подъема и опускания легких грузов с повышенной скоростью.

Это связано с желанием обеспечить высокую производительность при большой высоте подъема, учитывая, что грузы, близкие по массе к номинальным, поднимаются редко. Таким образом, общий диапазон регулирования скорости (ниже и выше номинальной) может достигать 40:1.

Существует два основных архитектурных типа башенных кранов – с поворотной и неповоротной башнями. Кроме того, изменение вылета может производиться подъемом и опусканием стрелы (краны с маневровой стрелой,) или передвижением по стреле грузовой тележки с подвешенной к ней крюковой подвеске (краны с балочной стрелой).

Особенностью башенного крана является также наличие больших упругих деформаций металлоконструкций, требующих учета при выборе механических характеристик ЭП (прежде всего механизмов поворота) и режимов пуска и торможения.

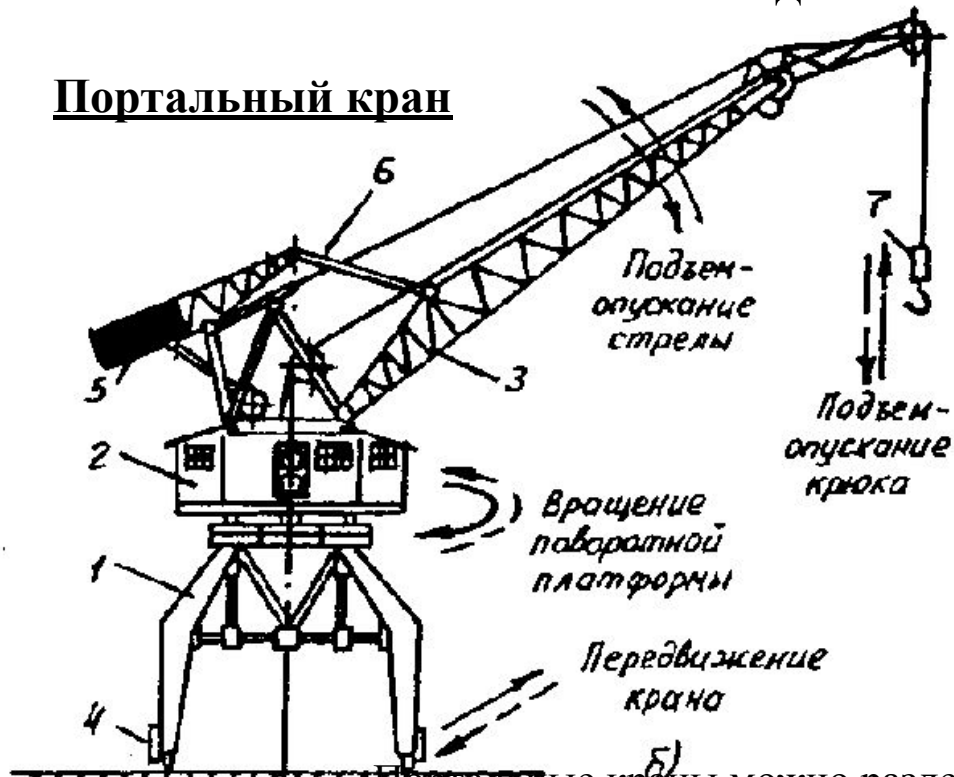
Многие башенные краны имеют специальные механизмы и приспособления для самомотажа.

Спецификой работы башенного крана является также питание его от временных электрических сетей малой мощности или автономных источников электроэнергии. Это предъявляет к его электрооборудованию дополнительные требования в части сохранения работоспособности при провалах напряжения.



Подъёмные краны

Портальный кран



Портал 1 имеет проём, размеры которого позволяют располагать кран над железнодорожным составом. На портал через роликовый круг опирается поворотная платформа 2. Угол наклона стрелы 3 может изменяться при помощи лебёдки. Необходимая уравновешенность крана обеспечивается подвижным противовесом 5, который соединён с рычагом 6, изменяющим плечо противовеса. Крюк 7 перемещается при помощи специальной лебёдки.

Портальные краны можно разделить на две группы:

- Монтажные краны, применяющиеся в основном на судостроительных и судоремонтных заводах. Такие краны имеют умеренные номинальные скорости и повышенные требования к диапазону регулирования скорости и плавности переходных процессов. Режим работы, как правило, не превышает 5К.

- Перегрузочные краны, работающие в морских и речных портах. Такие краны являются универсальными, т.е. могут работать как в крюковом режиме, так и в грейферном. Для работы с грейфером такие краны имеют две грузовые лебедки, которые управляются отдельно. При работе в крюковом режиме лебедки синхронизируются. Для обеспечения высокой производительности такие краны имеют высокие рабочие скорости. Режим работы может достигать до 8К. Диапазон регулирования скорости механизма подъема в крюковом режиме может достигать до 8:1.

Портальный кран имеет следующие механизмы:

- механизм передвижения портала;
- механизм вращения поворотной платформы;
- механизм подъёма–опускания стрелы.

Портальный кран



Классификация кранов по режимам работы

Режимы работ всех кранов:

I–Л (E1) – лёгкий,

II–С (E2) – средний,

III–Т (E3) – тяжёлый,

IV–ВТ (E4) – весьма тяжёлый

Основными характеристиками режимов работы крана являются следующие коэффициенты:

$$K_{гр} = \frac{Q_c}{Q_n} \quad \text{– коэффициент использования по грузоподъёмности;}$$

$$K_c = \frac{B}{24} \quad \text{– коэффициент суточного использования;}$$

$$K_{г} = \frac{\Delta}{365} \quad \text{– коэффициент годового использования;}$$

h – среднее число включений в час;

$$ПВ\% = \frac{t_p}{t_p + t_h} \cdot 100\% \quad \text{– продолжительность включения двигателя.}$$

Здесь: Q_c – среднее значение поднимаемой за один раз массы груза (например, за смену);

Q_n – номинальная грузоподъёмность;

B – число часов работы механизма в сутки;

Δ – число часов работы механизма в год;

t_p, t_h – время работы и паузы.

Режимы работы механизмов и электрооборудования грузоподъемных машин

Режим работы	Коэффициент использования			Продолжительность включения, %	Среднее число включений в час	Температура окружающей среды, °С	Разновидность механизма
	по грузоподъемности	по времени					
		годового	суточного				
	$K_{гр}$	$K_{г}$	$K_{с}$				
Л Легкий	0,25-1,0	Нерегулярная редкая работа		15-25	до 60	25	Механизмы ремонтных кранов, механизмы для установочного перемещения, другие редко работающие механизмы
С Средний	0,75	0,50	0,33	25-40	60-120	25	Механизмы порталных кранов для штучных грузов, складских цехов, механизмы изменения вылета стрелы, тали
Т Тяжелый	0,75-1,0	1,00	0,67	40	120-240	40	Механизмы кранов при работе с навалными и штучными грузами; механизмы кранов цехов крупносерийного производства
ВТ Весьма тяжелый	1,00	1,00	1,00	40	300-600	45	Механизмы кранов металлургического производства, механизмы подъема и перемещения тележек перегрузочных мостов
ОТ Особо тяжелый	1,00	1,00	1,00	60-80	600-720	45	Механизмы подъема и замыкания грейфера, подъема кранов, которые обслуживают порты (причалы), железнодорожные узлы; механизмы специальных металлургических кранов

Требования к электрооборудованию кранов

- 1) Рабочее напряжение сети, питающее краны не должно превышать 660 В. В соответствии с этим на кранах применяют U постоянного тока 220 В и 440 В, или U переменного тока 220, 380 и 660 В.
- 2) На механизмах кранов устанавливаются ограничители хода, воздействующие на электрическую цепь управления.
- 3) Концевые выключатели механизма подъёма ограничивают его ход вверх, но не должны ограничивать его ход вниз. Концевые выключатели механизма передвижения моста и тележки должны ограничивать ход в обоих направлениях.
- 4) Если по одним крановым путям перемещается несколько кранов, или по одному мосту несколько тележек, концевые выключатели должны предотвращать столкновение этих объектов.
- 5) На козловых и мощных мостовых кранах должна предусматриваться защита от перекоса крюка.
- 6) Краны, работающие на открытом воздухе, должны иметь противоугонные устройства, позволяющие закрепить кран при сильном ветре.
- 7) Электрические цепи кранов должны быть защищены от коротких замыканий и перегрузок свыше 200% номинального тока максимальным токовым реле.

Требования к электрооборудованию кранов

- 8) Тепловые реле на кранах не используются, так как крановые электродвигатели рассчитаны на повторно-кратковременный режим и выдерживают значительный перегрев.
- 9) В схеме управления кранов должны быть предусмотрены минимальные нулевые защиты, предотвращающие самозапуск двигателя после перерыва в электроснабжении.
- 10) Все люки и двери, ведущие к троллеям, должны быть снабжены блокировочными выключателями.
- 11) Все крановые механизмы должны быть снабжены тормозом, связанным с рабочим органом. При отключении соответствующего двигателя механизм должен затормаживаться.
- 12) Должно быть обеспечено отключение персоналом напряжения в случае острой необходимости.
- 13) Монтаж проводов на кранах должен проводиться в трубах. Мин. сечение проводов должно быть 2.5 мм².
- 14) Троллеи с наружной стороны должны окрашиваться в яркий цвет.
- 15) Все непроводящие металлические части электрооборудования должны быть соединены с мостом, далее через скаты и рельсы с землёй.

Требования к электроприводу крановых механизмов

1. При включенном ЭП механизма подъема (на нулевом положении) в случае выхода из строя механического тормоза необходимо обеспечение медленного опускания груза за счет динамического торможения в ЭП переменного тока (в ЭП постоянного тока это требование выполняется).
2. В начале подъема груза при снижении напряжения на зажимах двигателя до 90% номинального должна быть исключена возможность спуска номинального груза.
3. При перемещении рукоятки командоконтроллера в направлении снижения скорости ЭП последняя не должна повышаться даже кратковременно.
4. Груз должен двигаться только в направлении, установленном командоконтроллером. В случае неисправности в системе управления ЭП допускается остановка груза.
5. Регулирование скорости и момента двигателей в соответствии с определенным набором механических характеристик.
6. Ограничение динамических нагрузок в элементах механической части ЭП (ускорений и моментов).

Требования к электроприводу крановых механизмов

7. Повышенная надежность и безопасность работы крановых механизмов. Для защиты ЭП крановых механизмов используются специальные комплектные устройства - защитные панели, осуществляющие максимальную, нулевую и конечную защиты, а также нулевую блокировку.

8. Использование по возможности максимально простых схем ЭП с диапазоном регулирования скорости $D=(8-10):1$.

9. Повышенная точность остановки для ряда крановых установок (краны-штабелеры, контейнерные краны), для обеспечения которой в ряде случаев необходимо применение позиционных ЭП.

10. Формирование специальных динамических режимов в некоторых кранах (автоматическое успокоение колебаний грузов на перегружателях и башенных кранах, синхронизация опор крупных козловых кранов).

11. Жесткость механических характеристик механизмов подъема и плавность регулирования скорости. Жесткость механических характеристик ЭП является важным показателем для механизмов подъема с переменным статическим моментом, особенно при работе на низких скоростях. Плавность регулирования скорости позволит снизить ударные нагрузки на механизм подъема при торможении в конце спуска или подъема.

Скорости механизмов подъёма различных кранов

Тип крана	Номинальная скорость, м/с	«Ползучая» скорость, м/с	Диапазон регулирования
Мостовые, козловые	0,1-0,4	0,04-0,05	(8-10):1
Перегрузочные порталные	1-1,25	0,15-0,3	(6-8):1
Портальные монтажные	0,3-0,4	0,03-0,05	(10-12):1
Козловые судоремонтные	0,4-0,5	0,01-0,025	(40-50):1
Башенные строительные	0,1-1,0	0,07-0,1	10:1

Среднегодовое число рабочих часов механизмов различных кранов

Тип крана	Подъём	Передвижение	Поворот
Козловые краны	1000	600	
Ремонтные	150	100	
Башенные	100-150		100
Портальные монтажные	150		100
Портальные перегрузочные	3000		1000-1200

Крановые асинхронные электродвигатели

Традиционно для кранового ЭП применяются специально разработанные серии ЭД переменного и постоянного тока. По геометрии магнитопровода, степени использования электротехнических материалов, электромеханическим характеристикам и конструктивному исполнению такие ЭД существенно отличаются от двигателей общепромышленного исполнения.

Режим работы ЭД в крановом ЭП характеризуется широким изменением нагрузок, частыми пусками и торможениями, широким диапазоном изменения скорости ниже и выше номинальной (в ЭП постоянного тока и частотно-регулируемых ЭП).

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. Основным номинальным режимом крановых двигателей переменного тока является ПВ=40%.

Из-за высоких требований к динамике двигателей в переходных процессах пуска и торможения и для снижения расхода энергии при этом двигатели конструируются таким образом, чтобы момент инерции ротора был по возможности, минимальным. Снижение момента инерции достигается путем уменьшения высоты оси вращения при заданной мощности двигателя.

ЭД имеют повышенный (по сравнению с ЭД общепромышленного исполнения) запас прочности механических узлов и деталей. Крепление пакета ротора на валу всегда производится при помощи шпонки.

Традиционно, основное применение в крановых ЭП находят АДФР. Регулирование скорости и момента в ЭП с такими двигателями производится включением в цепь ротора пускорегулирующих резисторов. Для получения пониженных (посадочных) скоростей опускания груза применяется режим противовключения или различные специальные схемы включения (например – динамического торможения самовозбуждением).

Существуют также модификации крановых АДкзр (при мощности до 30 кВт) для применения в ЭП, имеющих, как правило, низкие номинальные скорости и не требующие их регулирования. Кроме того, существуют модификации крановых ЭД в двух и трехскоростном исполнении.

Все эти двигатели рассчитаны на питание от промышленной сети стандартного напряжения 220/ 380 В при частоте 50 Гц. Хотя это не означает, что они не могут работать в составе частотно-регулируемых электроприводов, тем не менее, в последнее время разрабатываются специальные серии асинхронных двигателей, в том числе и крановых, оптимизированные для работы в системах частотного регулирования.

Таким образом, крановые АД в настоящее время условно можно разделить на ЭД с фазным и короткозамкнутым ротором, предназначенные для питания от промышленной сети, и короткозамкнутые ЭД для частотно-регулируемых ЭП.

Крановые АДфр и АДкзр, предназначенные для питания от промышленной сети

Отечественной промышленностью выпускаются крановые АДфр и АДкзр, одно- и двухскоростные. Для применения на кранах общего назначения выпускаются электродвигатели с классом нагревостойкости изоляции F, для кранов и агрегатов металлургического производства – класса H.

Основные серии двигателей: фазные – МТФ, МТН, 4МТФ, 4МТН, 4МТМ и короткозамкнутые – МТКФ, МТКН, 4МТКФ, 4МТКН. Короткозамкнутые электродвигатели выпускаются мощностью до 30 кВт. Кроме того, для малых мощностей выпускаются двигатели ДМТФ, ДМТКН, АМТФ, АМТКН.

Двухскоростные двигатели выпускаются сериями МТКН, 4МТКН и 5АТ.

Двигатели представлены в шести-, восьми- и десятиполюсном исполнении. Быстроходные обмотки двухскоростных двигателей выпускаются также в четырехполюсном исполнении.

Основное конструктивное исполнение двигателей – горизонтальное на лапах с одним концом вала.

Электродвигатели всех габаритов изготавливаются в закрытом обдуваемом исполнении, двигатели мощностью свыше 45 кВт, кроме того, в защищенном исполнении с независимой вентиляцией от внешнего вентилятора с электроприводом.

Крановые ЭД большинство времени работают на номинальных скоростях, где эффективность самовентиляции велика. Поэтому независимая вентиляция в крановых двигателях применяется в ЭП интенсивного режима работы, где велика доля пусковых и тормозных потерь, и где ее применение позволяет избежать увеличения статической мощности.

Представляет интерес возможность использования крановых асинхронных двигателей с фазным и короткозамкнутым ротором предназначенных для питания от промышленной сети в составе частотно-регулируемого ЭП. В настоящее время имеется положительный опыт эксплуатации асинхронных двигателей мощностью до 55 кВт с закороченным фазным ротором при питании от ПЧ. Такое техническое решение принималось при модернизации кранов, оборудованных традиционными системами кранового электропривода на базе АДфр. Для снижения стоимости такой модернизации сохранялись электродвигатели и, в ряде случаев, пускорегулирующие резисторы, которые применялись в качестве тормозных.

АДфр, выбранный для работы в традиционной системе кранового ЭП с реостатным регулированием при переводе его на питание от ПЧ (если режим работы механизма не превышает), всегда имеет меньший уровень пусковых потерь. При векторном управлении, как правило, снижаются потери и в установившемся режиме, так как при частичной нагрузке в ЭП производится оптимизация энергопотребления.

АДкзр крановые электродвигатели серий МТ и 4МТ мощностью до 30 кВт достаточно широко применяются при создании крановых ЭП механизмов горизонтального перемещения (например, на башенных кранах), а в ряде случаев и в ЭП механизмов подъема.

Частотно-регулируемые крановые электродвигатели

Работа АД в системах частотного регулирования имеет свои особенности. Прежде всего, при частотном управлении значительно снижаются потери энергии в двигателях в пуско-тормозных режимах. Это позволяет переходить на более высокооборотные ЭП, и при проектировании двигателей основное внимание уделять снижению потерь в обмотках двигателя в номинальном режиме. При проектировании двигателей для системы частотного регулирования учитывается следующее:

1. Основные соотношения между геометрическими размерами, принятые для крановых асинхронных двигателей, сохраняются, поскольку определяющим здесь является режим работы, а не система регулирования.
2. В современных частотно-регулируемых ЭП с векторным управлением механические характеристики формируются системой управления ПЧ. Поэтому при проектировании ЭД, предназначенных для работы только с ПЧ, можно не предпринимать специальные меры для повышения перегрузочной способности и пускового момента.
3. Оптимальные частоты вращения двигателей в системах частотного регулирования выше, чем в обычных системах, и составляют 1900 - 1800 об/мин для легкого и среднего режимов работы и до 1000 - 800 об/мин – для тяжелого режима. Однако при проектировании следует согласовывать максимальную частоту вращения разрабатываемого ЭП и максимальную допустимую частоту вращения редуктора.
4. Двигатели должны быть работоспособны при повышении частоты выходного напряжения преобразователя в 1,5 - 2 раза по отношению к номинальной частоте.
5. С целью снижения потерь обмотка ротора двигателя заливается чистым алюминием или выполняется медной, скольжение при этом – минимальное. Регулирование выходного напряжения и частоты двигателя позволяет оптимизировать использование его активных частей и обеспечить работу двигателя в режиме минимальных потерь.
6. Возможно исполнение ЭД на нестандартное напряжение, соответствующее выходному напряжению ПЧ.

Все эти мероприятия, а также оптимальное разграничение зон регулирования, позволяют при одинаковой нагрузке снизить в 1,5 - 1,8 раза мощность двигателя в частотно-регулируемом ЭП.

Промышленностью выпускается специальная серия крановых двигателей для частотно-регулируемых ЭП. Эта серия включает в себя двигатели типа АД2КД мощностью от 4 до 11 кВт в шести- и четырехполюсном исполнениях с пристроенными дисковыми тормозами и двигатели 4МТКД мощностью от 22 до 110 кВт в шести- и восьмиполюсном исполнениях. Двигатели 4МТКД выполнены с использованием основных узлов традиционных двигателей серии 4МТН и изготавливаются в закрытом обдуваемом исполнении, а также с вентиляцией, не зависящей от внешнего вентилятора с ЭП.

Для этих двигателей разработаны автономные тормозные устройства с гидротолкателями.

Применение АД общего назначения в крановом ЭП

АДкр общего назначения отличаются от крановых двигателей, как электрическими параметрами, так и конструктивным исполнением.

Двигатели общего назначения в сравнении с крановыми двигателями имеют меньший пусковой и максимальный моменты, большее значение пускового тока, меньшее номинальное скольжение. Вал, подшипниковые щиты, станина имеют меньший запас прочности. Пакет ротора на валу часто крепится посадкой с натягом без шпоночного соединения, что совершенно недопустимо для крановых ЭД. Поэтому область применения таких двигателей в крановом ЭП ограничивалась механизмами передвижения кранов с низкими номинальными скоростями – электроталей, башенных и порталных кранов. Для этого, как правило, использовалась модификация двигателей общего назначения с повышенным скольжением.

В настоящее время распространилось мнение, что с появлением ПЧ с векторным управлением, необходимость в крановых двигателях отпала.

Действительно, высокий пусковой момент таких двигателей в системах частотного регулирования оказывается невостребованным, т.к. ПЧ с векторным управлением формирует механические характеристики с неизменной перегрузочной способностью, не зависящей от напряжения сети во всем диапазоне регулирования скорости. Двигатели общего назначения имеют при одинаковой с крановыми двигателями мощности меньший номинальный ток статора, меньшее номинальное скольжение, более высокий КПД, коэффициент мощности.

Таким образом, по электрическим параметрам двигатели общего назначения более пригодны для работы в составе частотно-регулируемого ЭП, чем традиционные крановые двигатели. Кроме того, они имеют меньшую массу и, как следствие, более низкую стоимость.

Тем не менее, меньший запас прочности механических деталей, посадка пакета ротора без шпоночного соединения, часто более низкий класс изоляции двигателей общего назначения требует осторожности при их применении в ЭП механизмов подъема, особенно на кранах интенсивного режима работы.

Целесообразно ограничить применение таких двигателей в частотно-регулируемом ЭП механизмов горизонтального перемещения кранов режимов до II–С (E2) .

Расчёт мощности электроприводов крана

Максимальное усилие в канате, кг:

$$S = \frac{Q_{гр} + Q_{тр} + Q_{кан}}{n \cdot t \cdot \eta_{п}}$$

$Q_{гр}$ – масса груза (грузоподъемность), кг

$Q_{тр}$ – масса траверсы, кг;

$Q_{кан}$ – вес каната, кг;

n – количество полиспастов;

t – кратность полиспастов

$\eta_{п}$ – КПД полиспастов

Статический момент на валу двигателя, Нм:

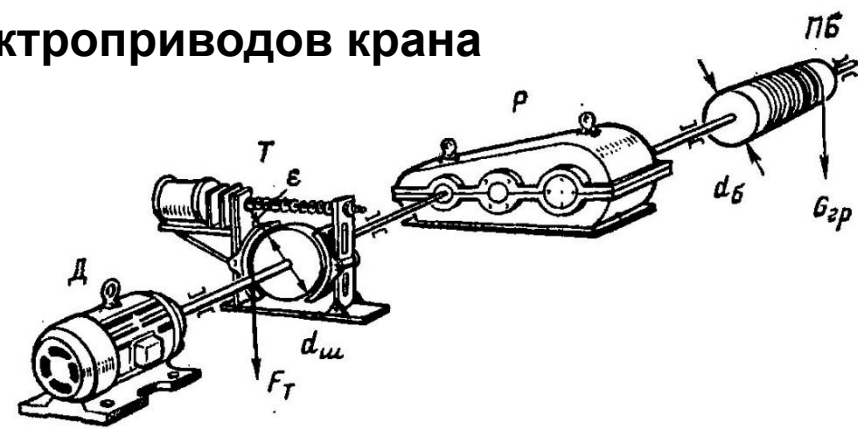
S – максимальное усилие в канате, кг;

$D_{б}$ – диаметр барабана, м;

g – ускорение свободного падения, м/с²;

i – передаточное число механизма;

$\eta_{м}$ – КПД механизма;



$$M_c = \frac{S \cdot n \cdot D_{б} \cdot g}{2 \cdot i \cdot \eta_{м}}$$

Расчёт мощности электроприводов крана

Динамический момент на валу двигателя, Нм:

$$M_j = \frac{\delta \cdot (2\Sigma J) \cdot n_{\text{дв}} \cdot g}{375 \cdot t} + \frac{0.975 \cdot (Q_{\text{зр}} + Q_{\text{тр}} + Q_{\text{кан}}) \cdot v^2 \cdot g}{n_{\text{дв}} \cdot t \cdot \eta_{\text{м}} \cdot \eta_{\text{п}}}$$

v – скорость подъема, м/с;

δ – коэффициент влияния масс механизма (1,1-1,25);

$n_{\text{дв}}$ – скорость вращения двигателя, об/мин;

ΣJ – суммарный маховый момент роторов двигателей, тормозных шкивов и соединительных муфт:

$J_{\text{дв}}$ – маховый момент ротора двигателя;

$$\Sigma J = J_{\text{дв}} + J_{\text{тш}} + J_{\text{м}}$$

$J_{\text{тш}}$ – маховый момент тормозного шкива;

$J_{\text{м}}$ – маховый момент муфты

Расчётное значение максимального момента двигателя при пуске механизма:

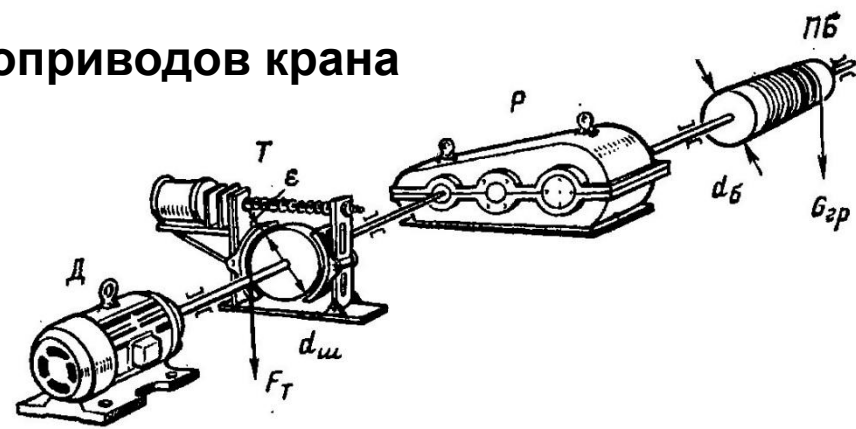
$$M = \frac{M_c + M_j}{k_t \cdot k_h \cdot k_u \cdot k_{\omega}}$$

k_t – коэффициент снижения момента от превышения температуры окружающей среды, для температуры окружающей среды 40°C $k_t = 1$;

k_h – коэффициент снижения момента при высоте над уровнем моря выше 1000 м, для высоты над уровнем моря до 1000 м; $k_h = 1$

k_u – коэффициент снижения момента при просадках напряжения питания; (напряжение питания 380 В ±10 %, так как максимальный момент уменьшается пропорционально квадрату напряжения
При его просадке на 10% значение коэффициента снижения момента будет $k_u = 0.9^2 = 0,81$

k_{ω} – коэффициент снижения момента при скорости вращения ротора выше синхронной, $k_{\omega} = 1$



Расчёт мощности электроприводов крана

Двигатель выбирается по номинальному моменту по двум критериям.

Первый критерий – номинальный момент двигателя должен быть больше статического расчетного момента, приведенного к валу одного двигателя:

$$M_{\text{ндв}} > \frac{M_c \cdot k_3}{\lambda}$$

λ - сервис-фактор (допустимая перегрузка двигателя при номинальных напряжении и частоте питающего напряжения), для большинства электродвигателей $\lambda = 1$;

k_3 - коэффициент запаса 1,15-1,25.

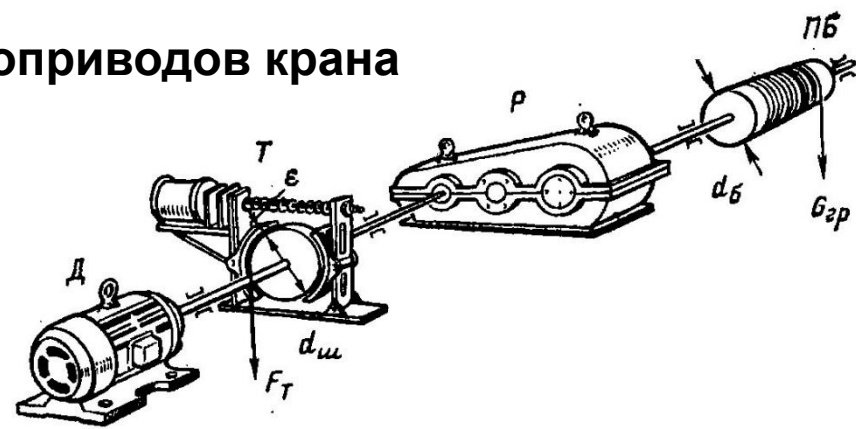
Второй критерий – номинальный момент двигателя должен быть больше момента, полученного отношением максимального расчетного момента к кратности максимального момента двигателя к номинальному.

Расчитать суммарную мощность двигателей по максимальной статической нагрузке можно так:

$$P = \frac{(Q_{\text{ср}} + Q_{\text{тр}} + Q_{\text{кан}}) \cdot v \cdot g}{\eta_m \cdot \eta_{\text{п}}}$$

Это справедливо при условии, что **номинальная скорость двигателя** равна:

$$n_{\text{дв}} = \frac{v \cdot n \cdot i \cdot 60}{D_{\text{б}} \cdot \pi}$$



Коэффициент полезного действия крановых механизмов

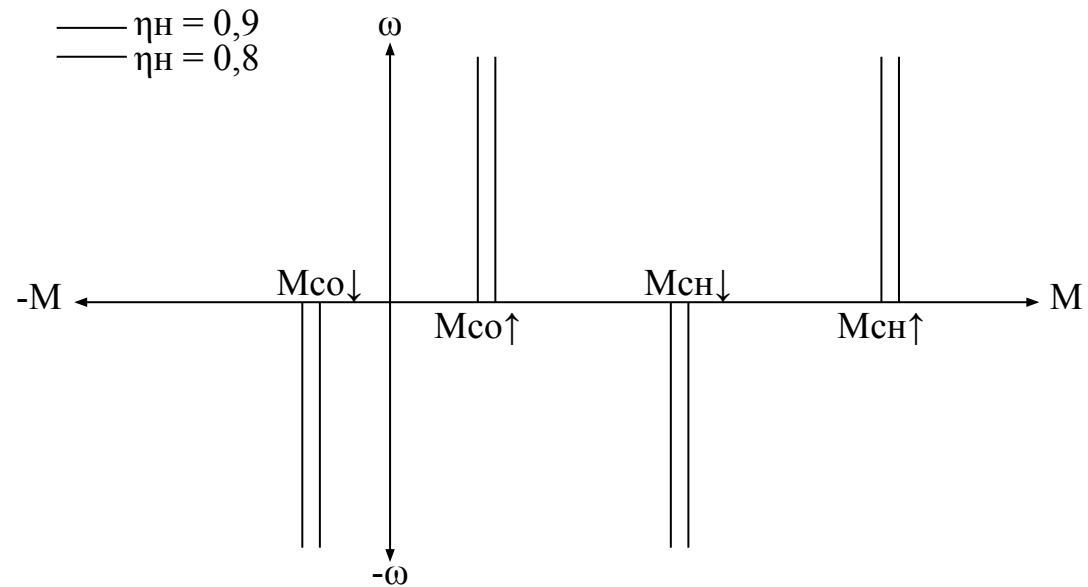
Механизм	Коэффициент полезного действия при опорах	
	качения	скольжения
Открытая зубчатая передача: с цилиндрическими колесами с коническими колесами	0.95-0.96	0.93-0.95
	0.93-0.95	0.92-0.94
Закрытая зубчатая передача с цилиндрическими колесами: при густой смазке при жидкой смазке (масляная ванна)	0.96-0.98	0.93-0.95
	0.97-0.98	0.95-0.97
Червячная передача: при однозаходном червяке при двухзаходном червяке	0.5-0.75	
	0.75-0.8	
Блок и барабан для стальных канатов	0.96-0.98	0.94-0.96
Зубчатая муфта	0.99	
Механизм подъема груза: с цилиндрическими колесами с червячной передачей	0.8-0.85	0.7-0.8
	0.65-0.7	
Механизм передвижения тележек и кранов: с цилиндрическими колесами с червячной передачей	0.8-0.9	0.75-0.85
	0.65-0.75	
Механизм поворота: с зубчатыми колесами с червячными передачами	0.75-0.85	0.70-0.80
	0.50-0.70	

Диапазон изменения статических моментов при подъёме-спуске грузов

Одним из основных требований к электроприводу механизма подъёма кранов является обеспечение определённого диапазона изменения момента двигателя, зависящего главным образом от возможного изменения статического момента.

Для механизмов подъёма характерна несимметрия нагрузки для обоих направлений движения.

Наибольший статический момент в режиме подъёма – спуска $M_{сн}$ определяется величиной груза Q_n с учётом веса грузозахватного приспособления Q_0 и номинальным КПД η_n , подсчитываемыми для данного механизма.



Пределы изменения статических моментов при подъёме и спуске грузов

- $M_{сн↑↓}$ - номинальный статический момент $↑↓$ (определяется Q_n);
- $M_{со↑}$ - минимальное значение статического момента при подъёме;
- $M_{со↓}$ - минимальное значение статического момента при спуске груза.

С достаточной для практики точностью можно считать, что при спуске груза, не превышающих с подвеской (8–10)% номинального момента, момент потерь, зависящий от нагрузки, отсутствует.

Диапазон регулирования скорости механизмов подъёма крана

Величины номинальной скорости подъёма-спуска зависят от производительности крана, его грузоподъёмности и высоты подъёма груза.

Высокие скорости могут быть использованы в том случае, когда перед посадкой груза есть возможность перейти на пониженную скорость. Применение такого режима перед посадкой груза увеличивает число включений ЭП в 3–4 раза.

Т.о., многие краны наряду с номинальной требуют и пониженной скорости для точной остановки груза и ограничения ударов при его посадке. Выбор величины пониженной скорости чрезвычайно важен, так как от него зависит диапазон регулирования скорости.

Для определения пониженной скорости, осуществляющих точные операции остановки условием работы должна быть величина точности остановки груза.

Полный путь S при данной посадочной скорости $v_{\text{пос}}$ определяется главным образом временем t_p (время реакции крановщика, переводом контроллера и срабатыванием аппаратуры - в среднем составляет $t_p = 0.8 \dots 1.3$ с).

Поэтому точность остановки практически не зависит от величины груза и момента инерции привода.

Наибольшая точность остановки требуется от судостроительных кранов. При грузоподъёмности 60...80 тонн она составляет 2...5 мм. Такую точность остановки должны иметь мостовые и козловые краны электрических станций (монтаж генераторов), металлургических заводов (монтаж прокатных двигателей, редукторов), установочные краны машиностроительных заводов, порталные краны. Поэтому для кранов большой грузоподъёмности величина пониженной скорости должна быть 0.25...0.45 м/мин.

Диапазон регулирования скорости механизмов подъёма крана

Для кранов меньшей грузоподъёмности с точностью остановки 3...10 мм (3...10 тонн для порталных, 5...25 тонн для мостовых кранов) рекомендуется пониженная скорость 0.6...1 м/мин. Отсутствие ползучей скорости в строительных и башенных кранах приводит к уменьшению производительности на 15%. Особенно остро этот вопрос поставлен в связи с укрупнением элементов зданий. Для строительных кранов грузоподъёмностью 10...25 тонн точность остановки должна быть 5...10 мм, поэтому для них посадочную скорость следует принимать от 1 до 1.5 м/мин. Для большинства башенных кранов (грузоподъёмность 5...8 тонн) точность остановки составляет 30...50 мм и рекомендуемая пониженная (посадочная) скорость 2...4 м/мин.

Опыт эксплуатации показывает наличие пониженной скорости и при подъёме груза. Скорость, выбранную по условиям точной остановки следует проверять по условию ограничения ударов при посадке.

Таким образом, диапазон регулирования скорости подъёмного механизма определяется номинальной скоростью подъёма-спуска груза и пониженной скоростью для установочных работ посадочных мест. В некоторых случаях диапазон регулирования скорости расширяется за счёт повышенной скорости, которая требуется для подъёма и спуска крюка или лёгких грузов.

Расчёт и опыт эксплуатации подъёмных механизмов показывают, что диапазон регулирования скорости колеблется в широких пределах, достигая величины $D=40:1 \dots 50:1$.

Жёсткость механических характеристик

Жёсткость механической характеристики и плавность регулирования скорости являются важными показателями для механизмов подъёма, у которых статический момент изменяется в широких пределах.

При работе с лёгким грузом кранов большой грузоподъёмности существенное повышение производительности можно получить при мягкой естественной характеристике.

В то же время регулировочные характеристики, если они необходимы, требуются по возможности жёсткие, чтобы низкие скорости почти не зависели от величины груза.

С точки зрения регулирования скорости для подавляющего большинства кранов, требующих этого регулирования, достаточным является наличие для каждого движения одной естественной и одной регулировочной характеристики.

Краны, осуществляющие операции с высотой подъёма груза более 100 м могут потребовать 2 или 3 промежуточные характеристики.

При диапазоне регулирования скорости более 20:1 требуется 4 промежуточные характеристики.

Переходные механические характеристики по условиям ограничения ударных нагрузок в механизме подъёма кранов

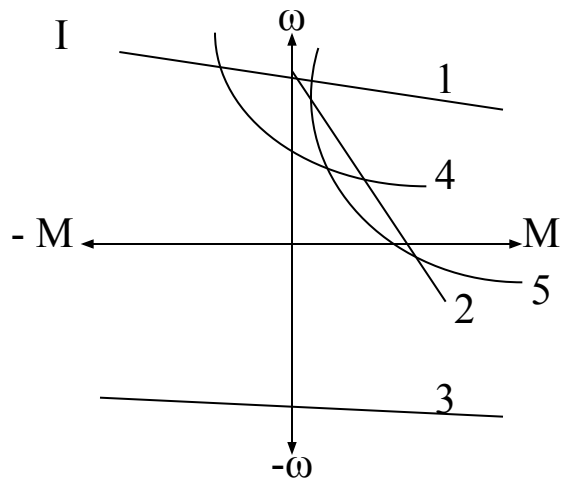
В процессе эксплуатации в подъёмных механизмах возникают дополнительные динамические усилия, которые приводят к недопустимым ударным нагрузкам в кинематической цепи. Дополнительными динамическими усилиями сопровождаются подъём с подхватом или торможение при спуске. Выбором соответствующих механических характеристик и системы ЭП можно добиться устранения динамических перегрузок.

Ударная нагрузка подъёмного механизма вызывается начальной разностью скоростей двигателя и груза. При большой длине свободного каната к моменту отрыва груза двигатель может достигнуть установившейся скорости, что соответствует максимальному удару (это и есть подъём с подхватом). У многих кранов, работающих с большими скоростями подъёма могут возникать недопустимые ударные нагрузки на механизм при торможении в конце спуска или подъёма. По этим причинам желательно сначала снижать скорость ограниченным по величине тормозным моментом, а затем окончательно затормаживать механическими тормозами.

Допустимым для большинства кранов следует считать тормозное усилие, не превышающее величину номинального груза на 10–20%.

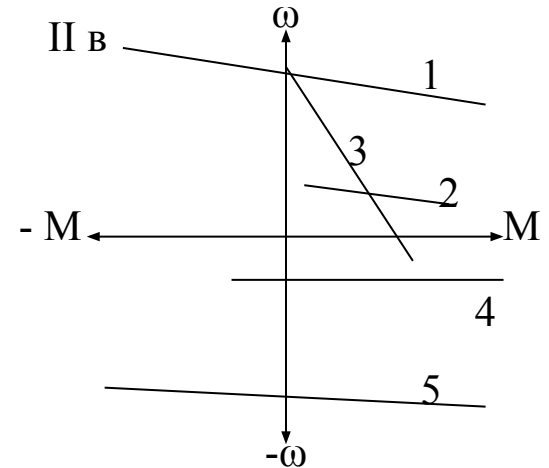
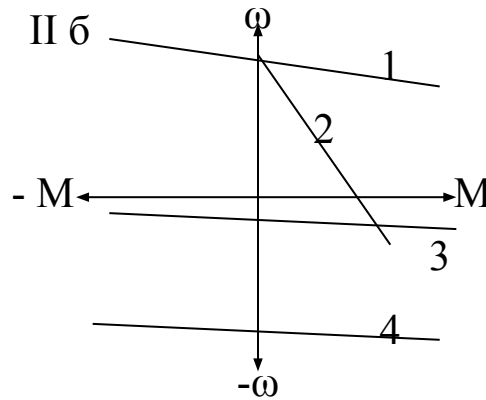
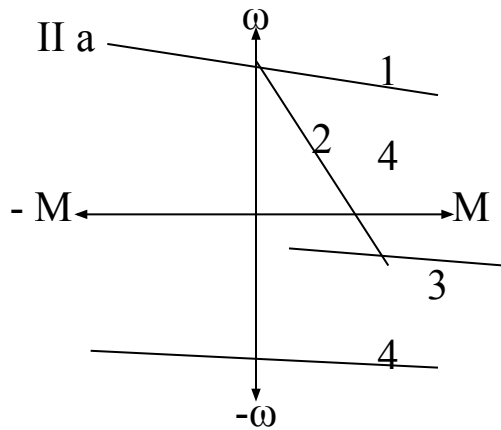
Классификация механизмов подъёма кранов и требования к механическим характеристикам их ЭП

В основу предлагаемой классификации положены вид и количество требуемых механических регулировочных характеристик, а также переходных механических характеристик, служащих для ограничения ударов. Все механизмы подъёма разделяются на 4 группы и приводятся в последовательности усложнения требований к их электроприводам



1. Механизмы подъёма, не требующие ни особых регулировочных характеристик при всех возможных грузах, ни специальных способов ограничения механических нагрузок. К этой группе относятся мостовые краны с номинальной скоростью 8–10 м/мин, участвующие в ремонте оборудования и в перегрузке деталей; козловые краны, с номинальной скоростью до 10 м/мин, участвующие в перегрузке неответственных грузов.

Классификация механизмов подъёма кранов и требования к механическим характеристикам их ЭП



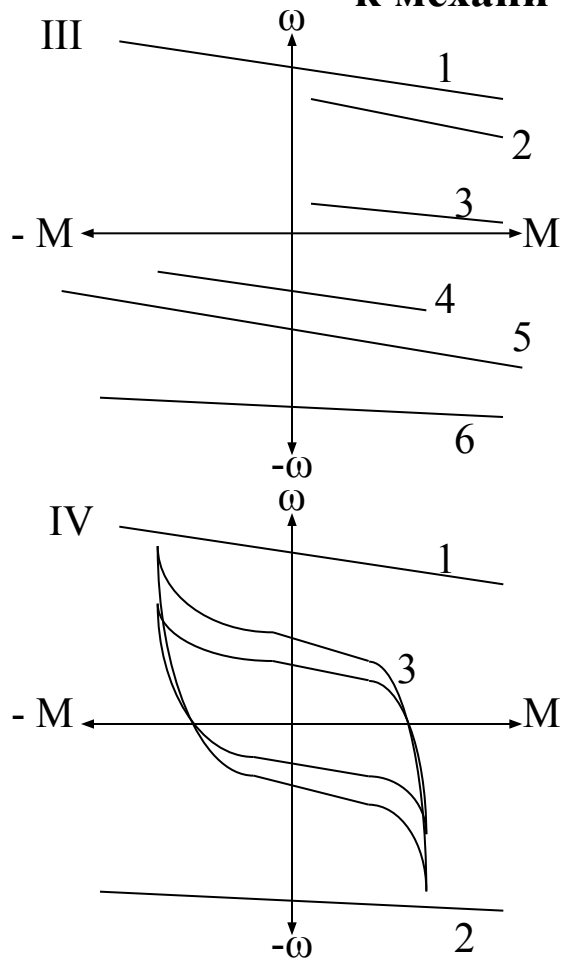
2. Механизмы, для которых требуется одна характеристика с устойчивой скоростью.

а) Только в режиме тормозного спуска. Сюда можно отнести механизмы с грузоподъёмностью выше 30 т с небольшой номинальной скоростью от 5 до 6 м/мин (мостовые краны литейных цехов, сборочных и других механических цехов, мостовые и башенные краны цехов, производящих некоторые монтажные операции, работающих с хрупкими грузами либо с хрупким металлом). Если нет необходимости в силовом спуске, а динамические перегрузки при подъёме с подхватом ограничиваются естественной или реостатной характеристикой.

б) в режимах силового и тормозного спуска (сюда относятся те же механизмы (2 а), если требуется силовой пуск груза с пониженной скоростью).

в) в режимах силового или тормозного спуска, а также в механизмах подъёма: мостовые краны механических цехов машинных залов, участвующих в точных монтажных работах; порталные и башенные краны, участвующие в сложных монтажных операциях и участвующих в перегрузке хрупких и взрывчатых предметов.

Классификация механизмов подъёма кранов и требования к механическим характеристикам их ЭП



3. Механизмы, требующие помимо ползучих скоростей ещё одну или две промежуточные скорости при подъёме и спуске во всём диапазоне регулирования скорости. Сюда относятся стапельные, доковые, шахтные и некоторые башенные краны, диапазон регулирования скорости которых превышает 20:1.

4. Механизмы подъёма, требующие ограничения тормозного момента при подъёме и спуске груза. У этих механизмов затормаживание механическим тормозом может привести к недопустимым ударным нагрузкам. К этой группе можно отнести порталные и башенные краны с высокой номинальной скоростью (свыше 20 м/мин), и как правило, с небольшим соотношением $m_1/m_2 < 10$.

ЭП постоянного тока снабжались специальные краны в цехах, где имела сеть постоянного тока, либо если краны эксплуатируются в чрезвычайно тяжёлых условиях (в напряжённых режимах).

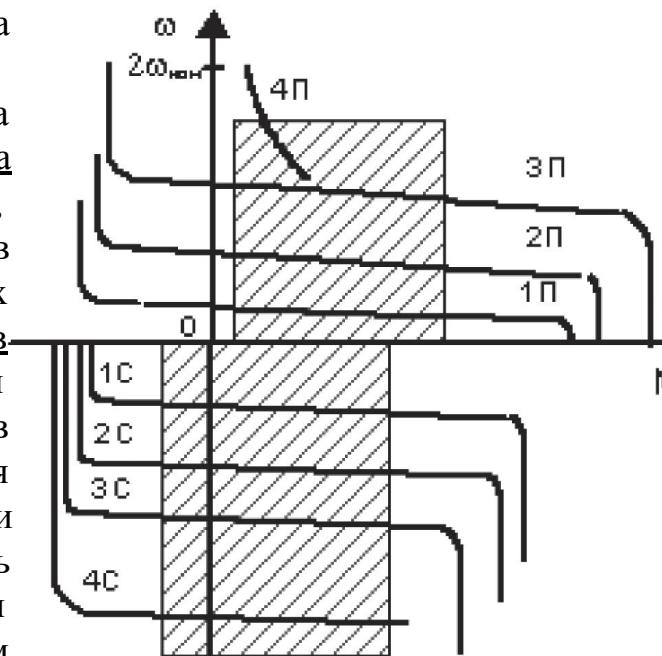
ЭП механизма подъема, реализуемый по системе ПЧ-АД

Механические характеристики идеального ЭП механизма подъема располагаются во всех четырех квадрантах.

Главной отличительной особенностью ЭП механизма подъема является наличие активного (потенциального) характера момента нагрузки. Активный момент нагрузки всегда имеет один знак, т.е. момент, создаваемый весом груза, всегда стремится раскрутить механизм в сторону спуска. Т.о., при подъеме груза (первый квадрант механических характеристик) ЭП должен преодолевать этот момент (работать в двигательном режиме), при работе в направлении спуска (четвертый квадрант механических характеристик) не давать грузу опускаться в режиме свободного падения (тормозной режим). Потенциальная энергия груза при опускании должна или возвращаться в питающую сеть или рассеиваться в виде тепла в специальном устройстве. Необходимость обеспечения установившейся скорости в тормозном режиме является главным требованием к ЭП механизма подъема и является определяющим при выборе структуры силовой цепи.

Кроме того, для большинства ЭП механизма подъема существует так называемый режим силового спуска – когда статический момент, создаваемый весом легкого груза или пустого крюка, не преодолевает момент от потерь в механической части (редукторе, канатно-блочной системе). В этом случае ЭП работает в двигательном режиме с весьма небольшим тормозным моментом – не более 10-15% от номинального. Характеристики силового спуска располагаются в третьем квадранте.

Во втором квадранте ЭП не имеет установившегося режима и работает только в режиме торможения с высших на низшие скорости.



Желаемые механические характеристики ЭП механизма подъема

ЭП механизма подъема, реализуемый по системе ПЧ-АД

Поскольку большинство ЭП механизма подъема требуют регулирования скорости, в каждом квадранте располагается несколько механических характеристик. Характеристика 1 в первом квадранте служит в основном 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 ЭП 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 ЭП механизма подъема.

При активном моменте нагрузки всегда возникает опасность падения груза с угрозой для жизни людей и разрушения механизмов. Поэтому, к конструкции как механической, так и электрической частей правилами “Устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов” предъявляются требования, направленные на обеспечение безопасности.

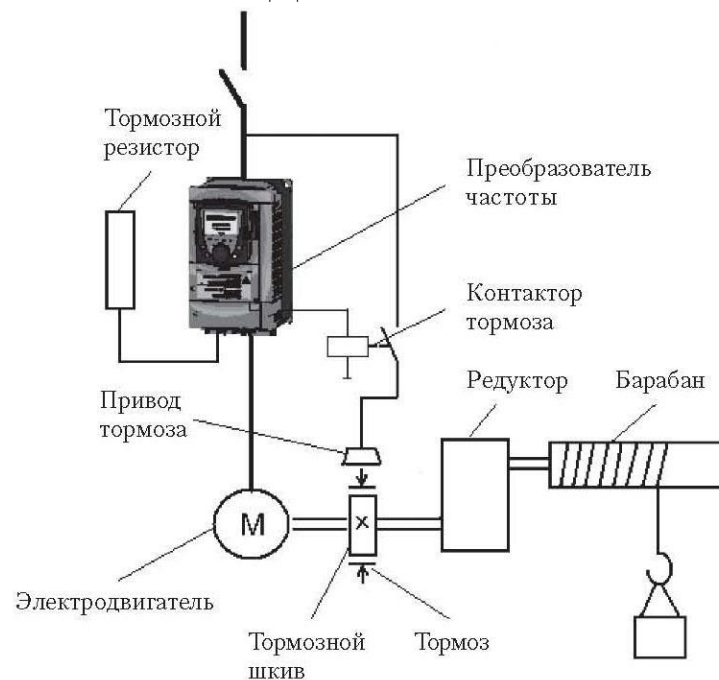
Первым из них является обязательное наличие в конструкции механической части тормоза так называемого “нормально замкнутого типа”, т.е. при отключенном приводе механизм должен быть всегда заторможен. Тормоз должен обладать достаточным запасом тормозного момента, называемым “коэффициентом запаса торможения”.

Вторым требованием является обязательное обеспечение опускания груза только работающим электродвигателем.

ЭП механизма подъема, реализуемый по системе ПЧ-АД

Указанные требования определяют схемные решения, и построение силового канала ЭП механизма подъема с ПЧ:

- 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;
- ПЧ 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 ЭП механизма подъема

Управление электромеханическим (электрогидравлическим) приводом тормоза производится контактором, включающимся встроенным релейным выходом ПЧ после того, как ЭД разовьет достаточный пусковой момент. Для рассеяния энергии торможения служит тормозной резистор, хотя может применяться и устройство рекуперации энергии.

Кроме того, некоторые ЭП могут содержать датчики скорости и перемещения.

Кроме представленной на рис. традиционной компоновки механической части привода существует также вариант, при котором механический тормоз с электромагнитным приводом составляет одно целое с двигателем. Некоторое распространение в крановом ЭП получили также двигатели с коническим подвижным ротором, растормаживание которых производится при осевом перемещении ротора под действием электромагнитных сил.

Расчёт мощности электропривода механизма передвижения тележки

1) Статический момент на валу двигателя

Реборда (от фр. *rebord*), **гребень** — выступающая часть обода колеса или шкива или шкива, служащая направляющей при движении колеса по рельсам или шкива, служащая направляющей при движении колеса по рельсам или каната, троса или шкива, **Цапфа** (нем. *Zapfen*) — цапфа, шейка или ступка, стержень (часовой стрелки) — часть вала — часть вала или оси — часть вала или оси, на которой находится опора — часть вала или оси, на которой находится опора (подшипник).

$Q_{гр}$ — грузоподъёмность на крюке, кг;
 $Q_{тел}$ — масса тележки с траверсой, кг;
 k_p — коэффициент трения реборды колеса;
 f — коэффициент трения в подшипнике;
 $d_ц$ — диаметр цапфы колеса, м
 μ — коэффициент трения качения колеса;
 i — передаточное число механизма;
 η_m — КПД механизма.

2) Динамический момент на валу двигателя

$$M_j = \frac{\delta \cdot (J_{дв} + J_{тш} + J_m) \cdot n_{дв} \cdot g}{375 \cdot t} + \frac{0.975 \cdot (Q_{гр} + Q_{тел}) \cdot v^2 \cdot g}{n_{дв} \cdot t \cdot \eta_m}$$

3) Максимальный момент на валу двигателя при пуске механизма

$$M_{\text{макс пер}} = \frac{M_c + M_j}{k_t \cdot k_h \cdot k_u \cdot k_\omega}$$

v — скорость подъема, м/с;
 J_m — маховый момент муфты;
 $J_{тш}$ — маховый момент тормозного шкива;
 $J_{дв}$ — маховый момент ротора двигателя;
 δ — коэффициент влияния масс механизма (1,1-1,25);
 $n_{дв}$ — скорость вращения двигателя, об/мин;

Расчёт мощности электропривода механизма передвижения тележки

4) Выбор двигателей

Двигатель выбирается по номинальному моменту по двум критериям.

Первый критерий – номинальный момент двигателя должен быть больше статического расчётного момента приведённого к валу двигателя:

$$M_{\text{ндв}} > \frac{M_c \cdot k_3}{\lambda}$$

Второй критерий – номинальный момент двигателя должен быть больше момента, полученного отношением максимального расчётного момента к кратности максимального момента двигателя к номинальному.

Тогда, номинальный момент двигателя должен быть не меньше момента:

$$M_{\text{ндв}} > \frac{M_{\text{макс пер}}}{M_{\text{max}} / M_{\text{ном}}}$$

Максимальный потребляемый ток двигателя:

Для двигателя существует уравнение равенства механической и электрической энергии:

$$M \cdot \frac{\pi}{30} \cdot n = \sqrt{3} \cdot I_{\text{max}} \cdot U \cdot \cos(\varphi) \cdot \eta$$

Максимальный потребляемый ток двигателя вычисляется по формуле:

$$I_{\text{max}} = \frac{\pi \cdot M_k \cdot n_n}{30 \cdot \sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos(\varphi) \cdot \pi}$$

n_n – номинальная частота вращения вала электродвигателя, об/мин;

U_n – номинальное напряжение сети, В;

$\cos(\varphi)$ – находим по таблицам технических характеристик двигателей.

Расчёт мощности электропривода механизма передвижения тележки

Поскольку $I_{\max} = 150\% \cdot I_n$, номинальный ток ПЧ должен быть не менее:

$$I = \frac{I_{\max}}{1,5}$$

По I_n выбираем преобразователь частоты мощностью и с номинальным током ПЧ.

Обычно по требованиям технического задания мощность ПЧ должна превышать мощность двигателя на 20 %.

Проверочный расчёт из условия, что преобразователи частоты обеспечивают перегрузочный пусковой момент 170 % от номинального. Максимальный момент на валу двигателя при этом равен:

$$M_{170} = 1.7 \cdot M_{\text{ном}} \cdot \left(\frac{I_{\text{ном ПЧ}}}{I_{\text{ном ДВ}}} \right) > M_{\text{мах}}$$

$I_{\text{ном ПЧ}}$ – номинальный ток преобразователя частоты;
 $I_{\text{ном ДВ}}$ – номинальный ток двигателя.

Для механизмов передвижения дополнительно осуществляют проверку запаса сцепления колёс.

Расчёт мощности электропривода механизма передвижения моста

Принимаем следующие условия:

- два ЭП, по одному на каждой торцевой балке;
- тележка с краю (т. е. нагрузка на ЭП от моста делится поровну, а нагрузка от тележки и груза полностью воздействует на один из приводов).

$$M_c = \frac{k_p \cdot \left(\frac{Q_{\text{мост}}}{2} + Q_{\text{тел}} + Q_{\text{гр}} \right) \cdot (f \cdot d_{\text{ц}} + 2 \cdot \mu) \cdot g}{2 \cdot i \cdot \eta_{\text{мех}}} \quad Q_{\text{мост}} \text{ – масса моста, кг}$$

Динамический момент на валу двигателя

$$M_j = \frac{\delta \cdot (J_{\text{дв}} + J_{\text{тш}} + J_{\text{м}}) \cdot n_{\text{дв}} \cdot g}{375 \cdot t} + \frac{0.975 \cdot \left(\frac{Q_{\text{мост}}}{2} + Q_{\text{гр}} + Q_{\text{тел}} \right) \cdot v^2 \cdot g}{n_{\text{дв}} \cdot t \cdot \eta_{\text{м}}}$$

Дальнейший расчет аналогичен расчету мощности ЭП тележки.

Для кранов, располагающихся под открытым небом необходимо учитывать при расчетах следующие особенности :

- трасса передвижения моста может иметь уклон;
- на движение моста может влиять встречный ветер.

Расчёт мощности электроприводов крана

(Расчет мощности двигателя для ЭП без ПЧ)

Предварительно выбор мощности двигателя производится по диаграмме статических нагрузок.

-определяется $P_{д}$ и $P_{д}$ (действительные);

-производится пересчёт мощности $P_{ном}$ на нормируемый ПВ ($PВ_{ном}$):

$$P_{ном} = P_{д} \cdot \sqrt{\frac{PВ_{д}}{PВ_{ном}}}$$

-берётся ближайший больший по каталогу двигатель;

- с учётом момента инерции строится диаграмма нагрузки с учётом динамических моментов;

- двигатель проверяется по нагреву и перегрузочной способности известными методами.

При окончательном выборе двигателя необходимо руководствоваться допустимыми ускорениями.

Требования к механическим характеристикам ЭП механизмов горизонтального перемещения кранов

К механизмам горизонтального перемещения кранов относятся механизмы поступательного движения (мосты и тележки мостовых и козловых кранов), а также механизмы поворота стрелы. Общими для них являются режимы работы, характер нагрузки в статике и, особенно в динамике, поэтому одинаковы и требования к ЭП. Вследствие того, что для большинства механизмов передвижения и поворота гораздо большую роль играют динамические режимы, то и требования к ЭП определяются этими режимами.

Вид и количество механических характеристик определяется с одной стороны требуемым диапазоном и плавностью регулирования скорости, с другой – возможным диапазоном изменения M_c .

Для механизмов передвижения и поворота статические моменты изменяются гораздо в меньших пределах, чем для подъёма. Номинальная скорость передвижения и поворота определяются назначением и конструкцией крана.

Диапазон регулирования скорости механизма при заданной номинальной скорости определяется заданной пониженной скоростью для обеспечения точной остановки. Наибольшая требуемая точность остановки составляет 5...10 мм. Такую точность остановки может обеспечить пониженная скорость (0.4...0.6 м/мин), что при скорости передвижения 30...40 м/мин требует диапазон регулирования скорости 60:1.

Для механизмов горизонтального перемещения часто не требуется плавного регулирования скорости. Однако, наличие промежуточных механических характеристик может оказаться необходимым во избежание недопустимых ускорений при переходе с одной скорости на другую.

Требования к механическим характеристикам ЭП механизмов горизонтального перемещения кранов

Механизмы передвижения кранов, работающих на открытом воздухе требуют жёсткие характеристики. Эти характеристики должны обеспечивать автоматический переход двигателя из двигательного режима в тормозной во избежание опасного увеличения скорости при случайных нагрузках (ветер-уклон).

Для механизмов передвижения кранов, работающих в закрытом помещении, ЭП по возможности должен обеспечивать мягкую характеристику, чтобы производительность крана увеличивалась при ненагруженном механизме.

Режим работы механизма передвижения – повторно-кратковременный и число включений в час составляет 300...500 и более. Поэтому большое значение для повышения производительности имеет сокращение длительности переходных процессов.

Величину допустимого ускорения ограничивает ряд факторов:

- возможность пробуксовки колёс механизмов передвижения тележки и моста;
- значительные перегрузки металлоконструкций и звеньев механизма вследствие чрезмерных ускорений и замедлений, собственных упругих колебаний системы;
- раскачивание груза при интенсивном разгоне и резком торможении.

Основным условием для разгона и торможения без пробуксовки механизмов передвижения является необходимость того, чтобы сила тяги не превышала силу сцепления колёс с рельсами.

Технологическое торможение необходимо производить электрическим способом. Величину тормозного момента при этом можно регулировать в необходимых пределах.

Требования к механическим характеристикам ЭП механизмов горизонтального перемещения кранов

Проверка запаса сцепления колёс

Запас сцепления колёс должен удовлетворять условию:

$$K_\varphi = \frac{Q_{пр\ к} \cdot \varphi}{W_{пер}^{без\ груза} + Q_{\kappa} \cdot \left(\frac{a}{g} - \frac{n_{пр}}{n} \cdot \mu \cdot \frac{d_{ц}}{D_{\kappa}} \right)} \geq 1,1, \quad a - \text{ускорение тележки (моста), м/с}^2 \quad a = \frac{V}{t}$$

φ – коэффициент сцепления с рельсом (на воздухе 0,12; в помещении 0,15; с песком 0,2);

$W_{пер}^{без\ груза}$ – сопротивление качения колёс без груза;

$$W_{пер}^{без\ груза} = k_p \cdot Q_{тел} \cdot \frac{\mu \cdot d_{ц}}{D_{\kappa}}$$

$$W_{пер}^{без\ груза} = k_p \cdot (Q_{тел} + Q_{мост}) \cdot \frac{\mu \cdot d_{ц}}{D_{\kappa}}$$

$Q_{пр\ к}$ – суммарное давление на приводные колёса:

1) для механизма перемещения тележки $Q_{пр\ к} = Q_{тел} \cdot \frac{n_{пр\ к}}{n_{\kappa}}$ $n_{пр\ к}$ – число приводных колёс;

Q_{κ} – суммарное давление на колёса, кг; $Q_{\kappa} = Q_{тел}$ n_{κ} – общее число колёс;

2) для механизма перемещения моста $Q_{пр\ к} = \frac{Q_{тел} + Q_{м}}{2} \cdot \frac{n_{пр\ к}}{n_{\kappa}}$

Q_{κ} – суммарное давление на колёса при условии, что тележка находится посередине моста и без груза, кг;

$$Q_{\kappa} = \frac{Q_{тел} + Q_{м}}{2}$$

ЭП механизмов горизонтального перемещения, реализуемый по системе ПЧ-АД

К механизмам горизонтального перемещения относят механизмы передвижения кранов и грузовых тележек, а также механизмы поворота. Все эти механизмы имеют реактивный (т.е. не зависящий от направления движения) момент нагрузки.

Идеальный ЭП механизма горизонтального перемещения должен обеспечивать жесткие механические характеристики в двигательном и тормозном режимах. В отличие от механизма подъема тормозной режим механизмов горизонтального перемещения занимает лишь небольшое время цикла и возникает, как правило, при переходе с высших скоростей на низшие.

В тормозном режиме ЭП механизмов горизонтального перемещения может работать также при движении под уклон (что бывает при неисправности рельсовых путей) или при движении по ветру.

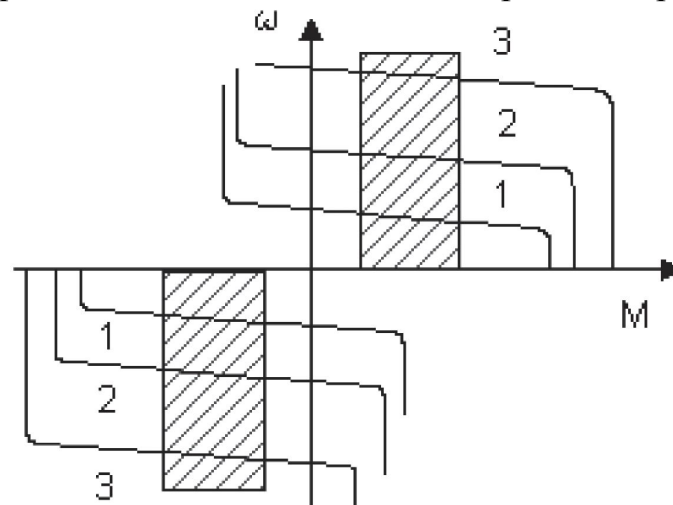
Многие механизмы горизонтального перемещения имеют большой приведенный момент инерции, поэтому, во избежание повышенных динамических нагрузок на металлоконструкции и механизмы ЭП должен ограничивать ускорения при пуске и торможении.

В связи с большим моментом инерции ЭД таких механизмов выбираются с учетом повышенных пусковых потерь, из-за этого статический момент на валу ЭД в установившемся режиме не превышает, как правило, 50% номинального момента.

Масса перемещаемого груза, как правило, оказывает небольшое влияние на статический момент ЭП механизма передвижения, т.к. масса металлоконструкции крана обычно больше массы груза.

Масса груза и масса грузовой тележки мостового крана уже соизмеримы, а масса грузовой тележки башенного крана намного меньше массы груза. Поэтому масса перемещаемого груза оказывает значительное влияние на загрузку механизмов.

Алгоритм управления тормозом в ЭП механизмов горизонтального перемещения проще, чем в электроприводах механизмов подъема. Из-за реактивного момента нагрузки снятие тормоза в большинстве случаев можно производить, не дожидаясь, пока момент электродвигателя возрастет до значения статического момента. Основным требованием является наложение тормоза при скорости, близкой к нулевой, для снижения динамических нагрузок и уменьшения износа тормозных накладок.



Желаемые механические характеристики ЭП механизма горизонтального перемещения

ЭП механизмов горизонтального перемещения, реализуемый по системе ПЧ-АД

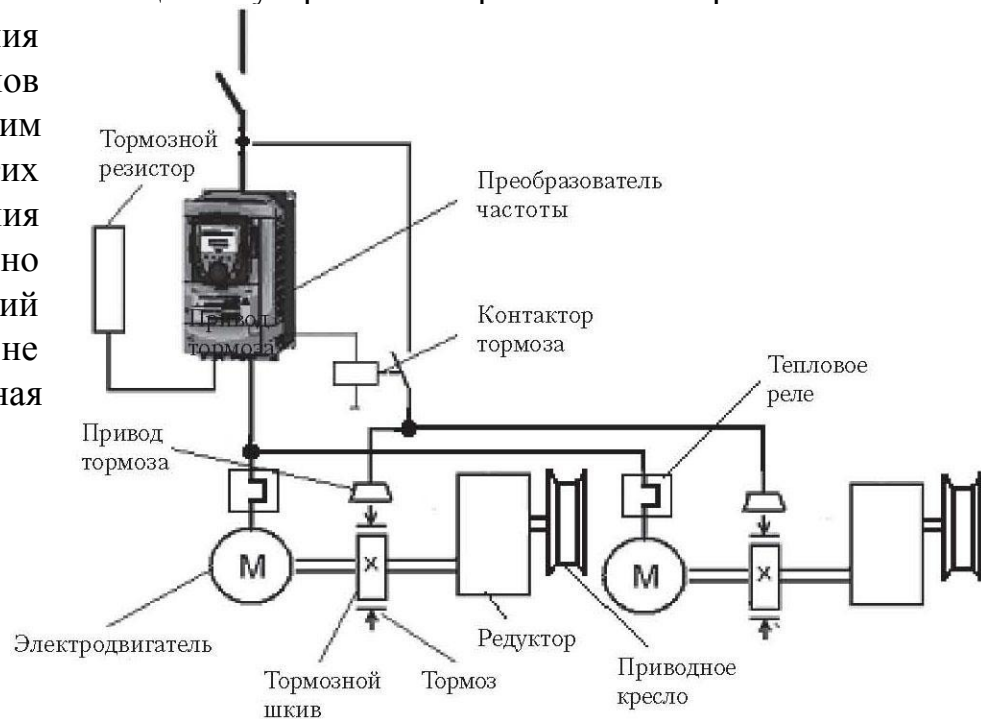
Особенностью ЭП горизонтального перемещения является то, что большинство из них реализуются как многодвигательные приводы, например, приводы механизмов передвижения кранов и механизмов поворота. В этом случае ЭД могут питаться как от одного ПЧ, что является наиболее экономичным вариантом, так и от индивидуальных преобразователей, обеспечивающих более гибкое управление крановыми механизмами. Можно предположить, что в многодвигательных приводах мостовых и козловых кранов общего назначения с небольшими пролетами достаточно одного преобразователя для питания группы двигателей. В этом случае, каждый двигатель должен быть оборудован индивидуальной защитой от перегрузки в виде теплового реле.

Питание двигателей от индивидуальных преобразователей представляется целесообразным для приводов механизмов передвижения мостовых и козловых кранов с большими пролетами.

В этом случае благодаря большей гибкости управления возможно обеспечение выравнивания нагрузки между ЭД по схеме «ведущий-ведомый», синхронизации движения ЭП с целью устранения перекоса моста крана.

Наиболее сложными с точки зрения организации управления являются ЭП механизмов поворота башенных кранов, особенно с верхним расположением поворотного строения. Наличие упругих металлоконструкций, широкий диапазон изменения статического момента и момента инерции существенно усложняют управление такими механизмами. Общий подход к построению таких электроприводов пока не выработан, и практически каждая краностроительная фирма имеет свой вариант реализации такого привода.

В крановых приводах, особенно для механизмов подъема, весьма важным является вопрос обеспечения тормозных режимов работы ЭП. При переходе двигателя в режим торможения, например, при спуске груза или интенсивном торможении крана или тележки, энергия торможения может гаситься на тормозных резисторах или рекуперироваться в сеть с помощью специальных модулей.



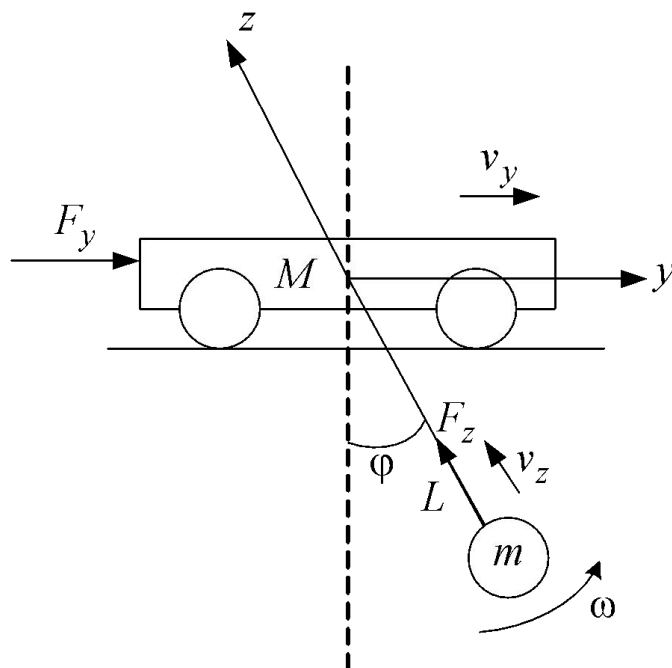
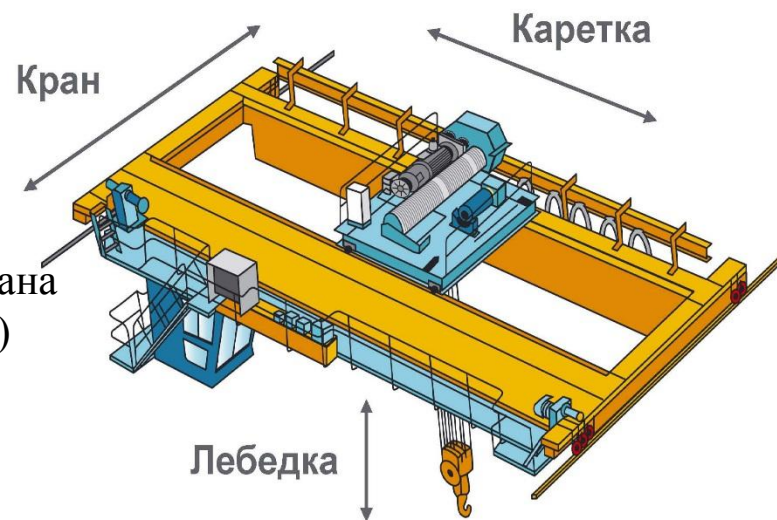
Структурная схема ЭП механизма передвижения

Демпфирование колебаний груза в переходных режимах механизмов передвижения кранов

Раскачивание груза возникает при ускорении/замедлении крана и/или каретки крана

ПОБОЧНЫЕ ЭФФЕКТЫ РАСКАЧИВАНИЯ ГРУЗА

- Потери времени на ожидание затухания колебаний
- Риск повреждения груза или оборудования при больших амплитудах раскачивания
- Потенциальная опасность для персонала
- Повышенный механический износ движущихся частей крана (использование толчкового режима – гашение раскачивания)



Демпфирование колебаний груза в переходных режимах механизмов передвижения кранов

Процесс поступательного перемещения тележки с массой M с подвешенным к ней на абсолютно жестком канате длиной L грузом с массой m под действием приложенной к тележке силы F описывается следующими нелинейными дифференциальными уравнениями:

$$(M + m) \frac{d^2 s(t)}{dt^2} - mL \frac{d^2 \varphi(t)}{dt^2} \cos \varphi + mL \frac{d\varphi^2(t)}{dt} \sin \varphi(t) = F(t),$$

$$- mL \frac{d^2 s(t)}{dt^2} \cos \varphi(t) + mL^2 \frac{d^2 \varphi(t)}{dt^2} + mgL \sin \varphi(t) = 0,$$

g – ускорение сил гравитации;

s – линейное перемещение тележки;

φ – угол отклонения каната от вертикали.

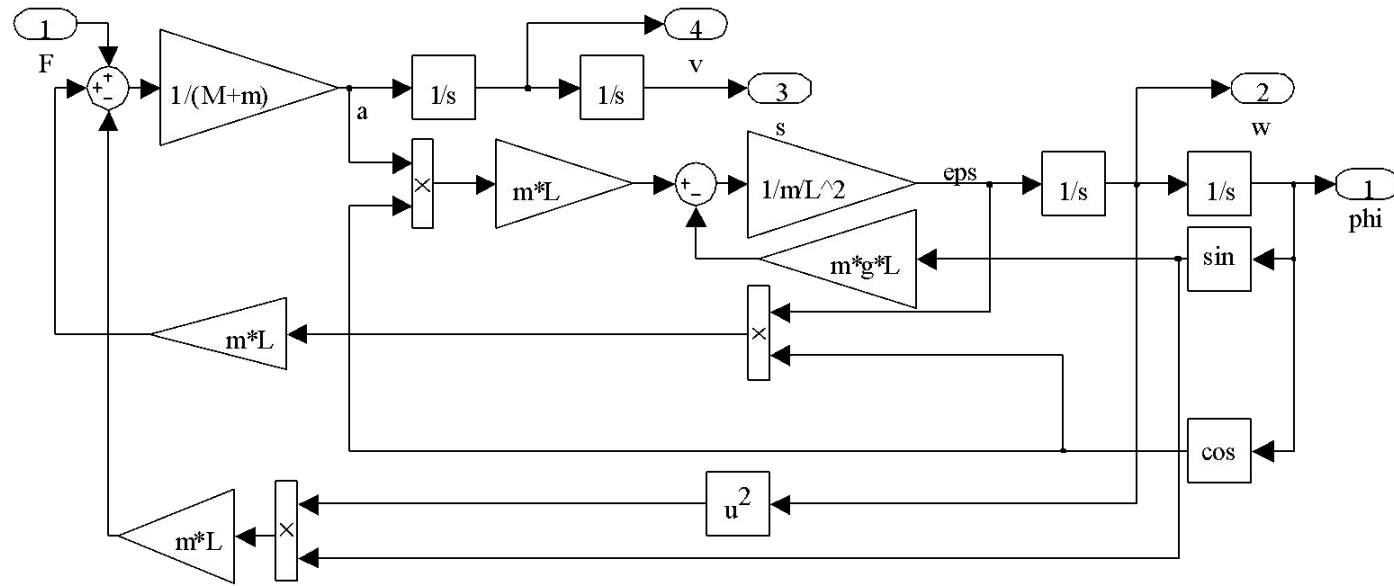
Введем следующие обозначения: $\frac{d^2 s(t)}{dt^2} = a(t)$, $\frac{ds(t)}{dt} = v(t)$, $\frac{d^2 \varphi(t)}{dt^2} = \varepsilon(t)$, $\frac{d\varphi(t)}{dt} = \omega(t)$.

Тогда: $(M + m)a(t) - mL\varepsilon(t) \cos \varphi(t) + mL\omega^2(t) \sin \varphi(t) = F(t),$

$$- mL a(t) \cos \varphi(t) + mL^2 \varepsilon(t) + mgL \sin \varphi(t) = 0.$$

Данному математическому описанию соответствует структурная математическая модель:

Демпфирование колебаний груза в переходных режимах механизмов передвижения кранов



Нелинейная модель крана

Эту модель легко линеаризовать, если принять допущения о том, что угол отклонения груза и скорость его изменения могут принимать только небольшие значения.

$$\varphi \approx 0, \quad \cos \varphi \approx 1, \quad \sin \varphi \approx \varphi, \quad \omega^2 \approx 0$$

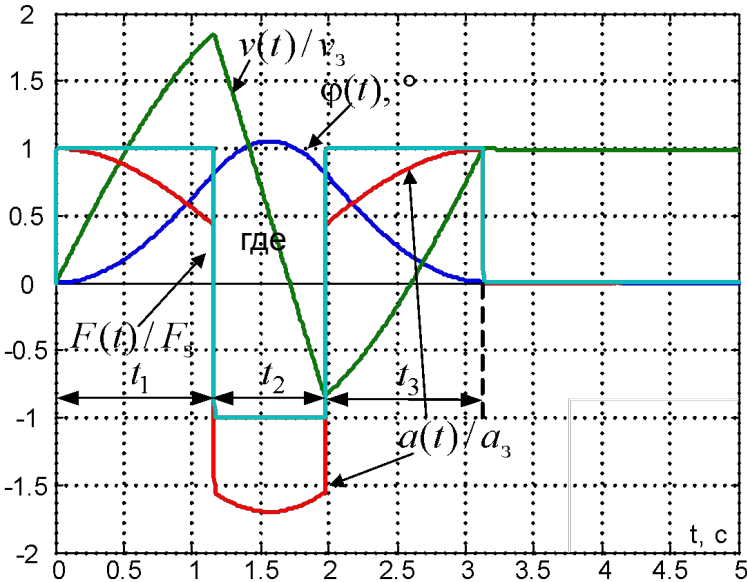
Что приводит к упрощению математического описания рассматриваемого объекта:

$$\begin{aligned} (M + m)a(t) - mL\varepsilon(t) &= F(t), \\ -mLa(t) + mL^2\varepsilon(t) + mLg\varphi(t) &= 0. \end{aligned}$$

Демпфирование колебаний груза в переходных режимах механизмов передвижения кранов

Проведем сравнительный анализ различных вариантов гашения колебаний подвешенного груза.

Закон управления с разгоном и торможением в 3 этапа с поддержанием постоянства усилия



Длительность интервалов с учетом влияния груза на перемещение тележки:

$$t_1 = t_3 = \frac{T_p + t_2}{2}, \quad \sin\left(\Omega\left(t_2 + \frac{T_p}{2}\right)\right) = 2 \sin\left(\frac{\Omega t_2}{2}\right), \quad (*)$$

$$T_p = \frac{v_3}{F_{\max}} (M + m) \quad \text{– фиктивное время разгона суммарной массы до установившейся скорости при постоянном усилии,}$$

$$\Omega = \sqrt{\frac{g(M + m)}{L \cdot M}} \quad \text{– круговая частота колебаний груза.}$$

Поддержание постоянства усилия на участках разгона и торможения возможно в том случае, если сигнал, пропорциональный желаемому изменению силы подается на вход контура регулирования электромагнитного момента двигателя или тока якоря (для дпт) или моментобразующей составляющей тока статора (для ад). Особенностью такого закона управления является непостоянство ускорения, с которым движется тележка, из-за чего диаграмма изменения скорости имеет нелинейный характер. Это объясняется влиянием груза на перемещение тележки при соотносимых значениях их масс. Причем, на участках подтормаживания тележки (этап 2) величина ускорения может превысить максимально допустимое значение этого сигнала, что иногда приводит к буксованию. Чтобы избежать этого явления, приходится снижать максимальное усилие.

Демпфирование колебаний груза в переходных режимах механизмов передвижения кранов

При использовании вместо системы управления моментом системы управления скоростью на вход регулятора скорости должен подаваться через интегратор не сигнал задания на момент, а аналогичный по форме сигнал задания на ускорение тележки. При этом сигнал задания на скорость состоит из нескольких линейных участков. Система регулирования скорости отрабатывает этот сигнал с некоторой инерционностью, компенсируя тем самым влияние подвешенного груза на движение тележки за счет изменения поведения электромагнитного момента. При замыкании системы управления по положению на вход регулятора положения подается все тот же сигнал задания на ускорение, проинтегрированный дважды. При этом характер переходных процессов не изменяется, а только увеличивается их инерционность, влияние которой на время отработки больших перемещений оказывается несущественным.

Поэтому формулы (*) в системах регулирования скорости и положения можно применять только при $M \gg m$, когда влияние груза на тележку несущественно.

Для таких систем применяют закон управления с разгоном и торможением в три этапа, но с поддержанием постоянного ускорения.

При этом влияние груза на скорость тележки незначительно. Поэтому для синтеза управляющего воздействия из уравнений (5) исключаются компоненты, отражающие это влияние:

$$a(t) = F(t)/(M + m),$$

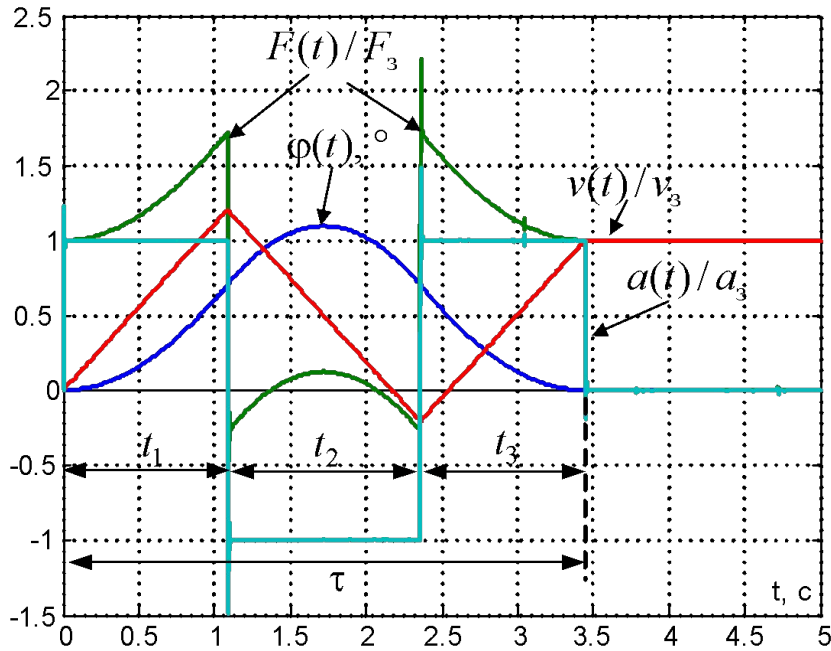
$$L\varepsilon(t) + g\varphi(t) = a(t).$$

Для разгона и торможения, осуществляемого в 3 этапа с поддержанием постоянства ускорения, в можно получить формулы для расчета времен соответствующих этапов, обеспечивающие гашение колебаний груза:

$$t_1 = \left(\frac{\tau}{2} - \beta\right) \frac{1}{\Omega_0}, \quad t_2 = \frac{2\beta}{\Omega_0}, \quad t_3 = \left(\frac{\tau}{2} - \beta\right) \frac{1}{\Omega_0};$$

где $\beta = \arcsin\left[\frac{1}{2} \sin\left(\frac{\tau}{2}\right)\right]$, $\Omega_0 = \sqrt{g/L}$
 Ω_0 - круговая частота собственных колебаний математического маятника длиной L .

Демпфирование колебаний груза в переходных режимах механизмов передвижения кранов



Закон управления с разгоном и торможением в
три этапа с поддержанием постоянства
ускорения

При этом общая длительность разгона и торможения τ определяется решением трансцендентного уравнения:

$$T = \tau - 4 \arcsin \left[\frac{1}{2} \sin \left(\frac{\tau}{2} \right) \right]$$

где $T = \frac{v_3}{a_3}$ – фиктивное время разгона тележки до установившейся скорости при постоянном ускорении.

Из графиков видно, что на участках подразгона (1 и 3) разгона момент двигателя (пропорциональный силе) может превышать максимально допустимое значение. Во избежание этого следует снижать ускорение, по крайней мере, на участках 1 и 3. На участке 2 напротив существует запас по моменту, что позволяет повысить ускорение на этом участке до максимально возможной величины.

К недостаткам рассмотренных выше законов управления относится также необходимость решения трансцендентных уравнений, численными методами в реальном времени, что нежелательно, и возможность превышения скоростью двигателя заданного значения, имеющего место при движении тележки с установившейся скоростью. Последнее наблюдается при снижении заданной скорости и при увеличении длины подвеса. Именно такие случаи представлены на графиках рис. 2 и рис. 3. Указанное явление приводит к необходимости выбора двигателя завышенной мощности, что неэкономично, либо к необходимости снижению усилий и ускорений на соответствующих участках разгона и торможения.

Демпфирование колебаний груза в переходных режимах механизмов передвижения кранов

Таким образом, в дальнейшем следует рассмотреть возможность использования несимметричных прямоугольных диаграмм изменения силы и ускорения, которые бы одновременно учитывали ограничения на момент, скорость и ускорение при рассматриваемых законах управления.

Недостатков, присущих этим способам гашения колебаний, лишен алгоритм управления, при котором на втором этапе разгона и торможения тележка движется с постоянной скоростью, равной половине от заданного значения [Altivar 71. Crane card. User's manual]. Этот алгоритм можно считать частным случаем трехэтапного разгона (торможения) с постоянным ускорением, когда на втором участке задание на ускорение равно нулю.

Время движения с половинной скоростью t_2 выбирается из условия гашения колебаний груза

$$t_1 = t_3 = \frac{v_3}{2a_3}, \quad t_2 + t_1 = \frac{1}{2\Omega_0}$$

Сравним время отработки одного и того же перемещения для трех вариантов управления приводом тележки.

Параметры системы:

Масса тележки – 1000 кг;

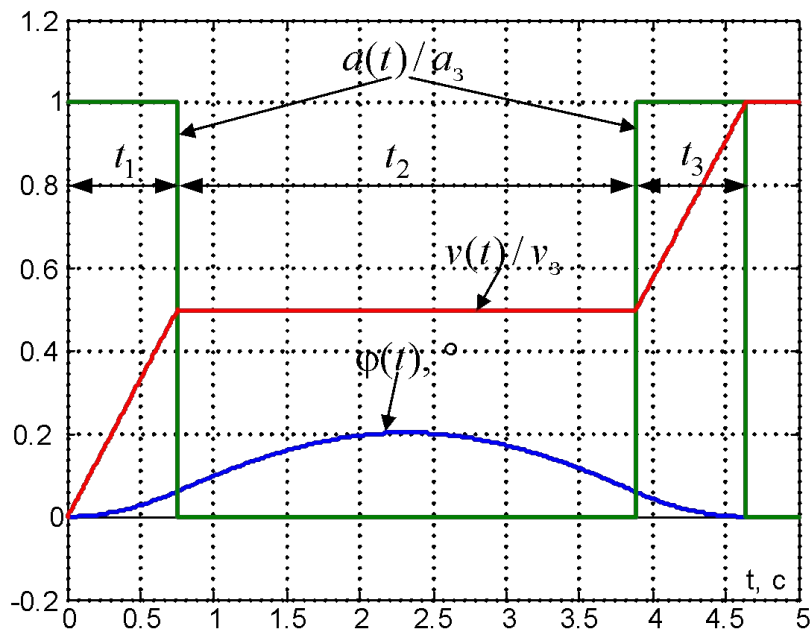
Масса груза – 500 кг;

Длина каната – 25 м;

Максимальная скорость – 1 м/с;

Максимальное ускорение – 0.33 м/с².

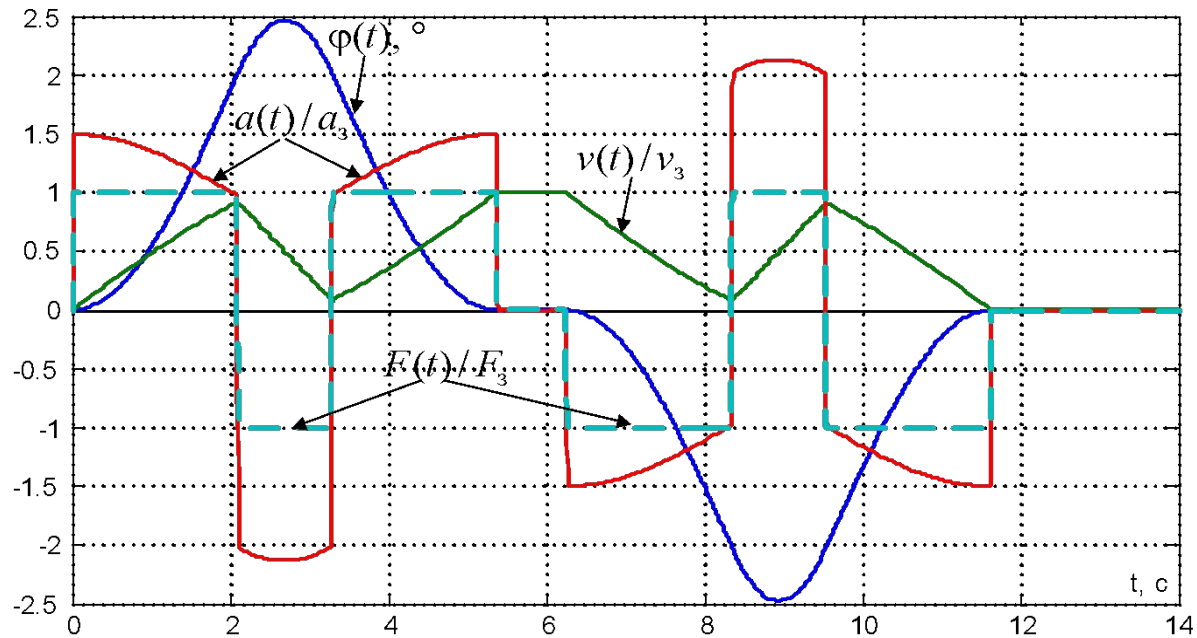
Заданное перемещение – 7 м.



Закон управления с разгоном
до половинной скорости

Демпфирование колебаний груза в переходных режимах механизмов передвижения кранов

Как видно из графиков, быстрее всех обрабатывает заданное перемещение система с поддержанием постоянства силы, затем с поддержанием постоянства ускорения и затем алгоритм с разгоном до половинной скорости. Однако разница во времени составляет порядка 1 с. При этом следует учитывать, что допустимые скорости перемещения груза в больших промышленных кранах достаточно невелики, а расстояния для перемещения составляют несколько десятков метров, а потому с увеличением протяженности участка движения на установившейся скорости относительная величина разности по времени перемещения при разных способах управления будет уменьшаться.

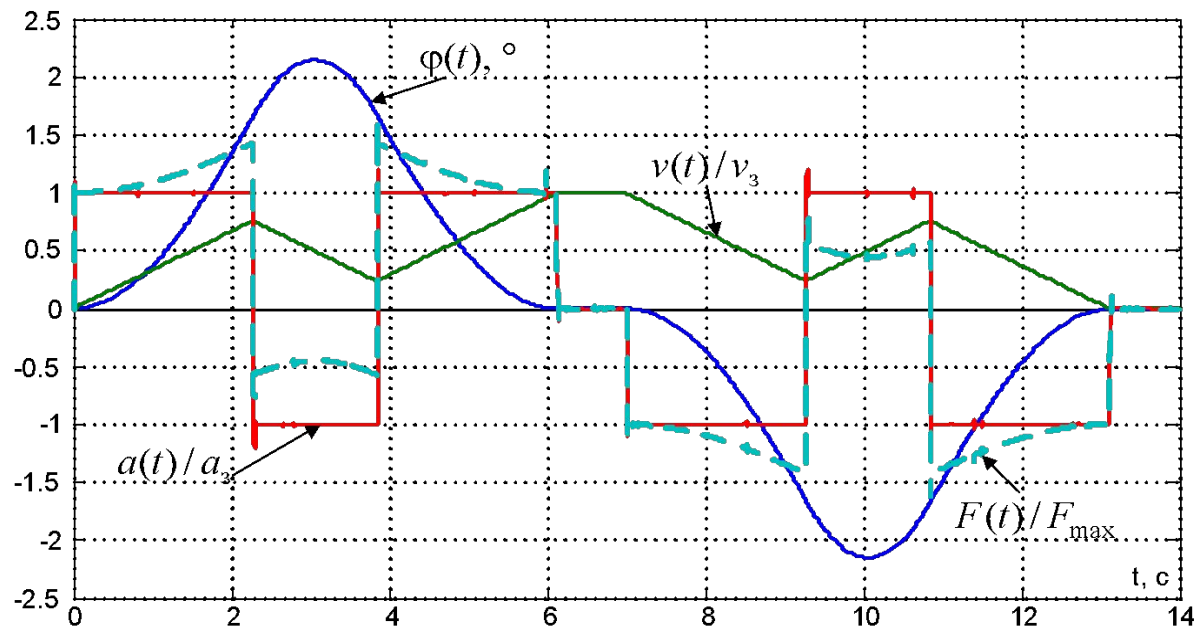


Рабочий цикл при управлении с разгоном в три этапа с постоянным усилием

Демпфирование колебаний груза в переходных режимах механизмов передвижения кранов

Выводы

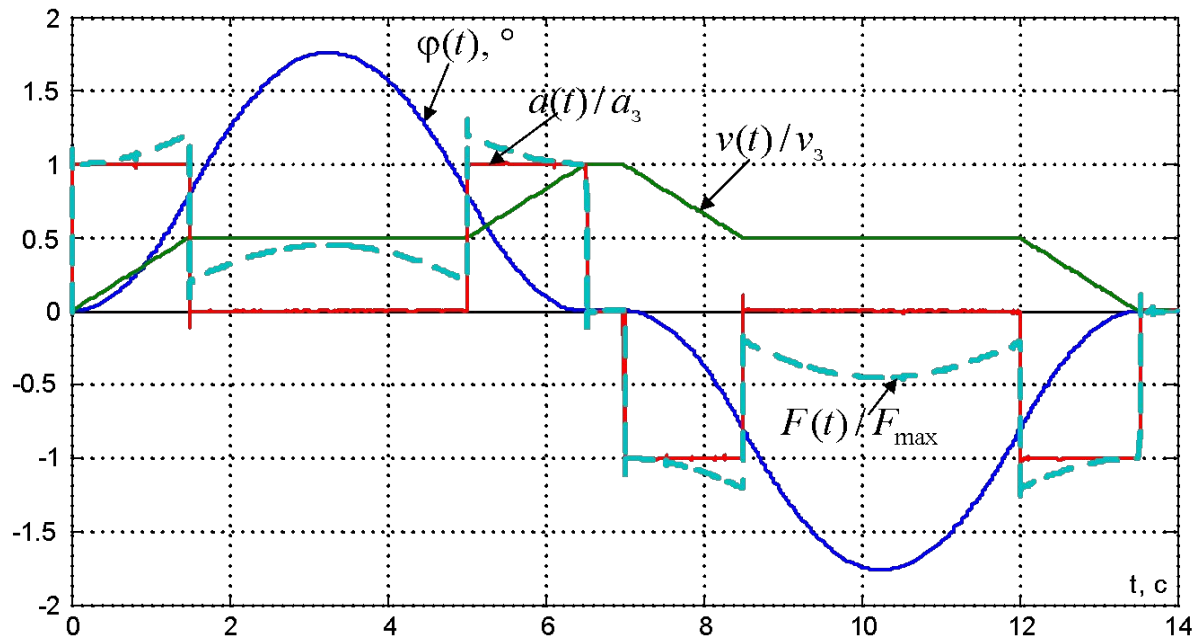
1. 3-этапный закон управления с постоянной силой применим только для систем с контуром силы (момента) и может быть использован в СРС и СРП только при $M \gg m$.
2. Алгоритмы с постоянным ускорением могут быть использованы в СРС и СРП.
3. При синтезе 3-этапных законов управления с поддержанием постоянства силы или ускорения необходимо учитывать ограничения на силу, скорость и ускорение, что может явиться объектом дальнейших исследований.
4. 3-х этапные законы управления обеспечивают наилучшее быстродействие, однако требуют решения трансцендентных уравнений итерационными методами в реальном времени.



Рабочий цикл при управлении с разгоном в три этапа с постоянным ускорением

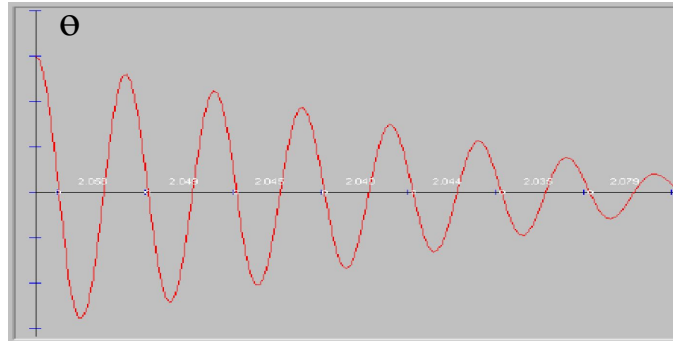
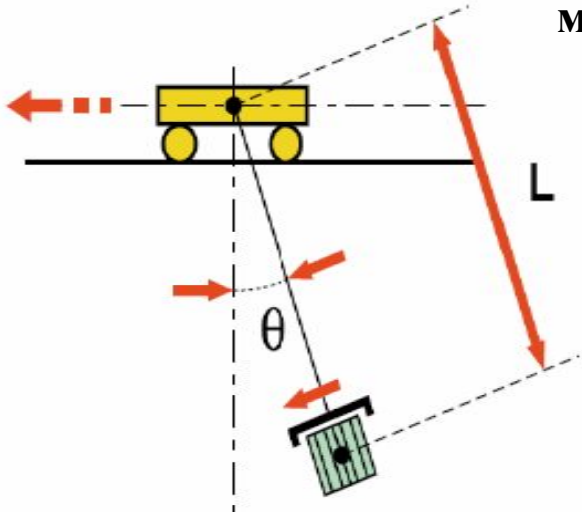
Демпфирование колебаний груза в переходных режимах механизмов передвижения кранов

5. Дополнительным преимуществом алгоритма с разгоном до половинной скорости является простота вычисления временных отрезков.
6. Одноэтапный закон управления в общем случае существенно проигрывает по быстродействию другим алгоритмам.
7. Разница во времени отработки заданного перемещения носит качественный характер, т.к. количественные оценки очень сильно зависят от параметров объекта регулирования, ограничений на координаты привода и обрабатываемого перемещения.
8. Разница во времени отработки перемещений не столь существенна, чтобы однозначно отдавать предпочтение тому или иному алгоритму управления.



Рабочий цикл при управлении с разгоном до половинной скорости

Демпфирование колебаний груза в переходных режимах механизмов передвижения кранов

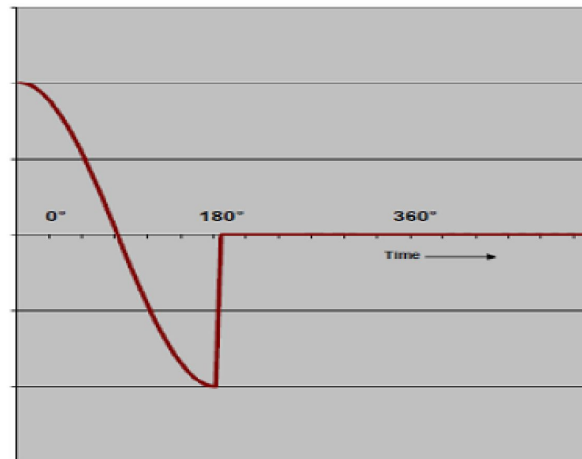
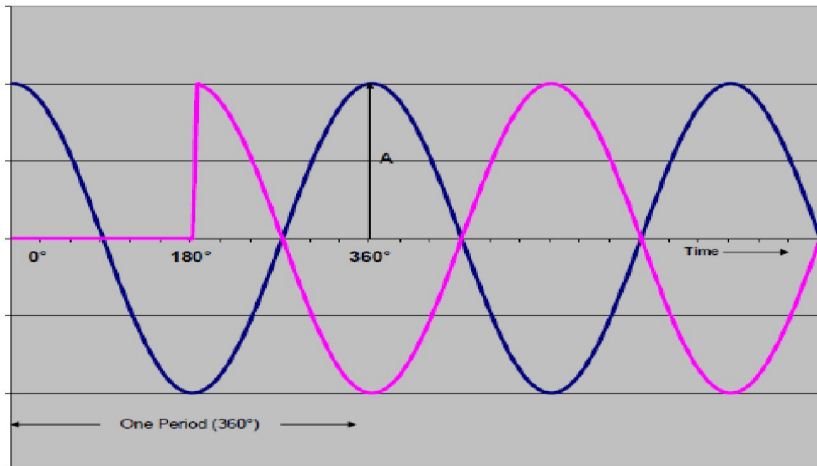


$$T = 2\pi \sqrt{L/g}$$

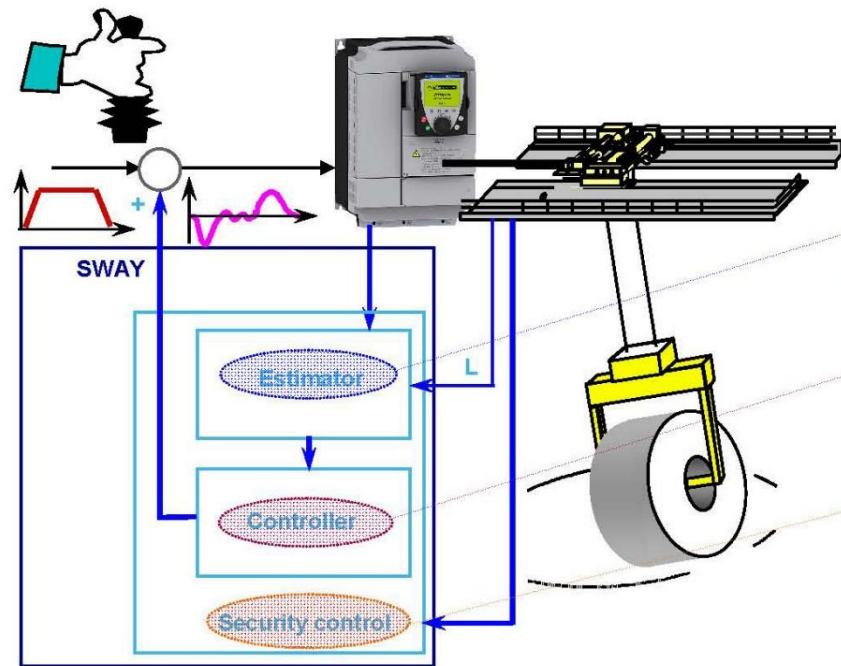
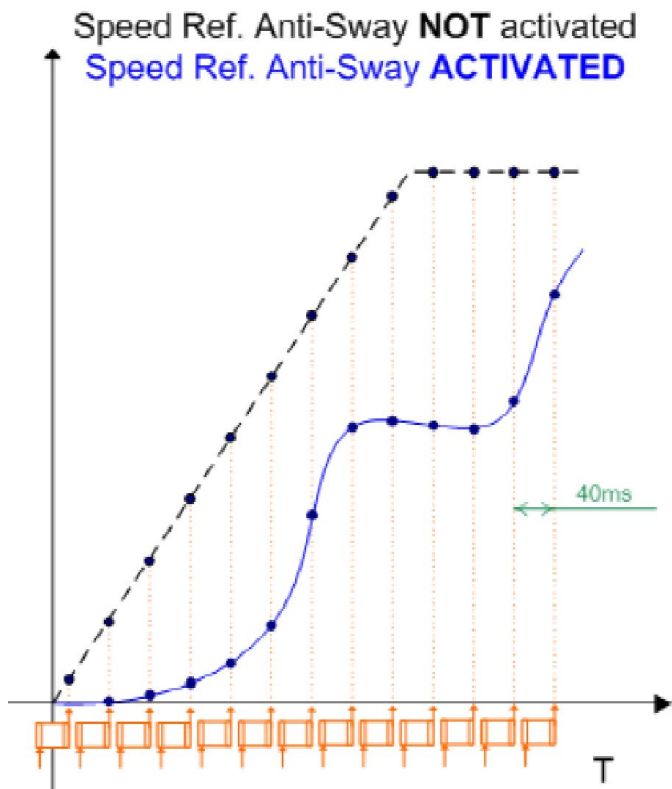
- 'T' период колебаний,
- 'L' длина маятника
- 'g' ускорение свободного падения
- 'Θ' угол отклонения от вертикальной оси

Период колебаний не зависит от веса груза

Если приложить ускорение, со смещением по фазе на 180° от начальной точки



Демпфирование колебаний груза в переходных режимах механизмов передвижения кранов

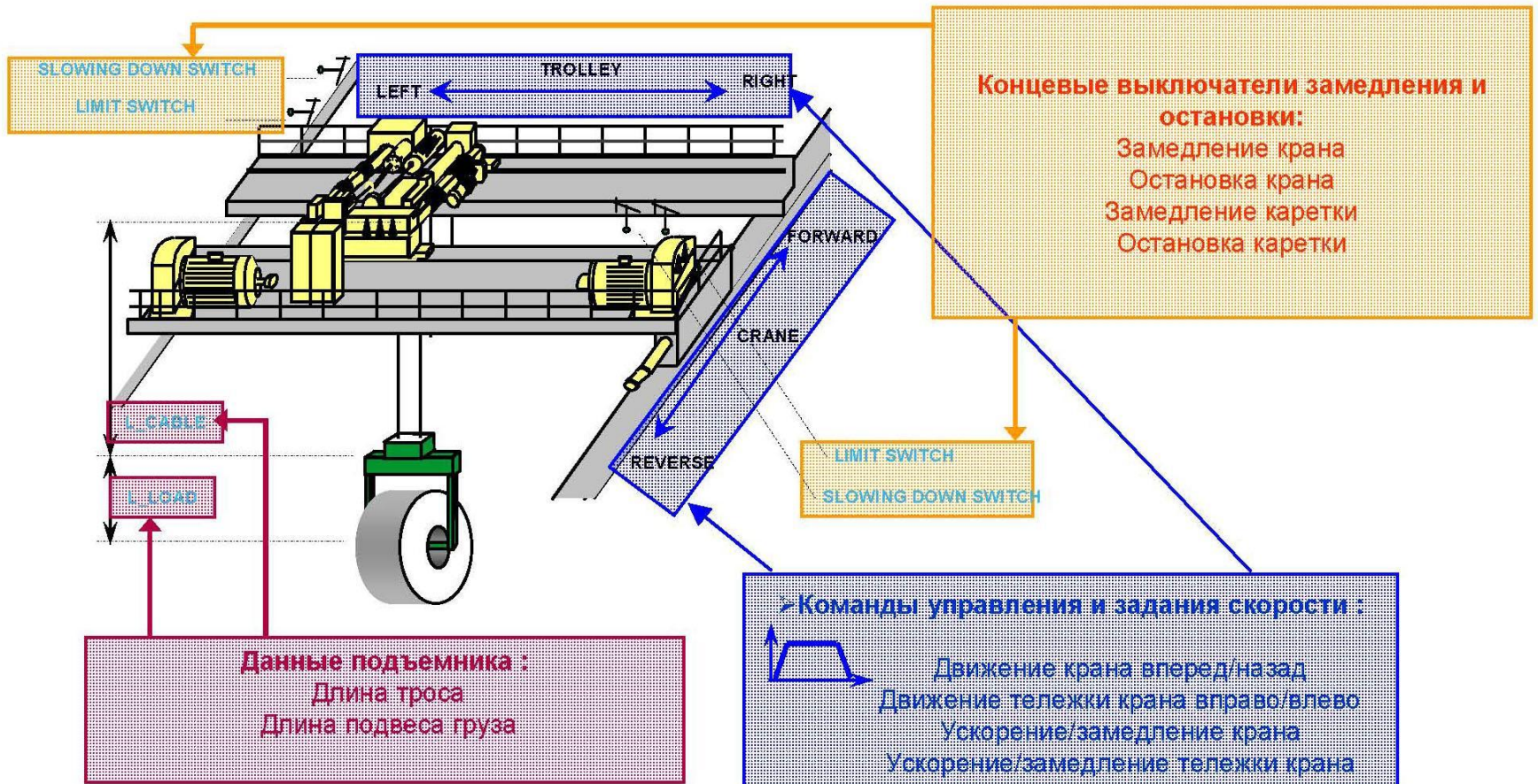


- Оценщик раскачивания груза:
 - Математическая модель использует внутренние переменные преобразователя и длину троса
- Контроллер управления:
 - Адаптирует команды оператора для устранения раскачивания груза
- Контроль безопасности:
 - Управление по конечным выключателям
 - Включение и отключение помощника антираскачивания.

Функция антираскачивания активна одновременно при движении крана, каретки крана и подъеме груза

Демпфирование колебаний груза в переходных режимах механизмов передвижения кранов

Необходимые входные данные



Демпфирование колебаний груза в переходных режимах механизмов передвижения кранов



Системы управления крановыми электроприводами

Под управлением здесь следует понимать организацию процесса преобразования энергии, обеспечивающую в статических и динамических условиях требуемые режимы работы механизмов крана. Если основные функции управления выполняются без непосредственного участия оператора (человека), то управление называется автоматическим, а ЭП – автоматизированным.

Роль оператора – подача первого командного сигнала на автоматическое выполнение того или иного режима работы ЭП и наблюдения за этим режимом.

Системы управления крановыми механизмами относятся к категории устройств, находящихся под непрерывным контролем оператора. В этих системах выбор момента начала операции, скоростных параметров и момента окончания операции осуществляется оператором.

Системы управления должны обеспечивать необходимую последовательность переключений для реализации выбранных скоростных параметров и соответствующую защиту.

По способу управления различают следующие системы:

1. Управляемые непосредственно с помощью силовых кулачковых контроллеров, весь процесс управления при этом выполняется машинистом (оператором).
2. Управляемые с помощью кнопочного поста, возможности управления здесь ограничены конструктивными особенностями поста.
3. Управляемые сложным комплектным устройством (магнитным контроллером с использованием преобразователя энергии или без него), оператор выбирает только необходимые скорости, а процессы разгона, торможения и промежуточные переключения осуществляются автоматически.

Системы управления крановыми электроприводами

По условиям регулирования системы крановых ЭП представлены в таблице.

Наиболее массовое распространение для крановых механизмов получил асинхронный ЭП с силовыми кулачковыми контроллерами, где используется регулирование по несимметричной или симметричной схеме в цепи ротора двигателя. Типовые механические характеристики такого ЭП значительно отличаются от требуемых. ЭП с кулачковыми контроллерами имеют следующие недостатки: невысокие регулировочные свойства из-за отсутствия посадочных скоростей; низкие энергетические показатели. Более высокие показатели имеют асинхронные ЭП с кулачковым контроллером при использовании схемы динамического торможения с самовозбуждением. Такие ЭП используются для механизмов подъема и обеспечивают при спуске диапазон регулирования до $D=8:1$.

ЭП постоянного тока с кулачковыми контроллерами используются в случае, когда электроснабжение крана осуществляется по постоянному току.

ЭП с магнитными контроллерами используются для систем постоянного и переменного тока.

На постоянном токе такие ЭП выполнены аналогично системам с кулачковыми контроллерами и базируются на использовании различных схем регулирования скорости двигателей постоянного тока последовательного возбуждения: реостатное регулирование, схема с шунтированием обмотки якоря, схема безопасного спуска.

На переменном токе используются системы управления с одно- и двухскоростными короткозамкнутыми двигателями и асинхронными двигателями с фазным ротором.

№ п'п	Электропривод	Диапазон		
		мощностей кВт	регулирование скорости	
			ниже номинально й	выше номинально й
1	Асинхронный с кулачковым контроллером, регулирование скорости реостатное	2-30	3:1	
2	То же при использовании схемы динамического торможения с самовозбуждением	5-30	7:1	
3	Постоянного тока с кулачковым контроллером, регулирования скорости реостатное с использованием потенциометрических схем	3-15	4:1	2:1
4	Асинхронный с магнитным контроллером, регулирования скорости реостатное	2-180	4:1	
5	То же при использовании схемы динамического торможения с самовозбуждением	20-180	8:1	
6	Постоянного тока с магнитным контроллером, регулирования скорости реостатное с использованием потенциометрических схем	3-180	6:1	2:1
7	Асинхронный с импульсно-ключевым управлением	2-30	10:1	-
8	Асинхронный с тиристорным преобразователем напряжения в статоре и резистором в роторе	2-180	10:1	
9	С многоскоростным АД и НПЧ	2-60	40:1	
10	Постоянного тока по системе ГД	20-180	10:1	2,5:1
11	Постоянного тока по системе ТП-Д	50-300	10:1	2,5:1
12	ПЧ-АД	2-300	100:1	2,5:1

Системы управления крановыми электроприводами

При использовании магнитных контроллеров для управления АДфр применяются следующие системы ЭП:

1. Система ЭП с реостатным регулированием в цепи ротора с использованием режима торможения противовключением. Система проста, но не обеспечивает устойчивых пониженных скоростей перемещения груза.

2. Система ЭП с реостатным регулированием при использовании схемы динамического торможения с самовозбуждением. Используется в ЭП механизма подъема крана.

3. Система ЭП с импульсно-ключевым способом регулирования скорости, предназначенная для механизмов передвижения.

В крановом ЭП переменного тока большее распространение находят ПЧ.

Основные критерии при выборе систем электропривода крановых механизмов

При выборе систем электропривода необходимо учитывать такие факторы, как устойчивость работы электропривода, стоимость электрооборудования, его вес и габариты, эксплуатационные расходы, удобство управления и надёжность.

Дополнительными критериями оценки характеристики для крановых механизмов являются:

- 1) Регулирование скорости в различных режимах. При этом выясняются возможные системы в отношении повышенных и пониженных скоростей в двигательном и тормозном режимах.
- 2) Плавность регулирования скорости рассматриваемой системы электропривода, характеризующаяся количеством механических характеристик, которые обеспечиваются в заданном диапазоне регулирования скорости.
- 3) Жёсткость механической характеристики при номинальной и пониженной скоростях.
- 4) Непрерывность механической характеристики в области малых нагрузок (режим прерывистых токов).
- 5) Плавность разгона и торможения электропривода. Плавность торможения определяется возможностью обеспечения электрического торможения с регулируемой величиной тормозного момента при переходе с высоких скоростей на низкие (без разрыва силовых цепей во избежание проседания груза или наложения механического тормоза). Она также характеризуется возможностью электрического торможения перед наложения тормоза по постановки контроллера в нулевое положение. Плавность разгона механизма передвижения определяется возможной степенью регулирования пускового момента.
- 6) Плавность подъёма груза. Сила рывка при подъёме с подхватом зависит от скорости, до которой может разогнаться привод на холостом ходу. Степень плавности подъёма груза в каждом конкретном случае определяется величиной этой скорости и параметрами механизма.
- 7) Стандартность применяемого оборудования.
- 8) Сложность системы. Этот критерий для крановых механизмов особо важен, так как любая неполадка должна устраняться в кратчайший срок.

Решающим фактором при выборе той или иной системы электропривода должно быть соответствие технических возможностей этой системы требованиям, предъявляемым к ней со стороны механизма, а также надёжность работы этой системы.

Серийные контакторные схемы управления крановыми ЭП

По способу управления крановые электроприводы могут быть разделены на 2 группы:
с силовыми и магнитными контроллерами.

Системы управления силовыми контроллерами применяются на кранах при мощности электропривода до 30 кВт при лёгких и средних режимах работы. Недостатком систем с силовыми контроллерами являются громоздкость конструкции, быстрый износ силовых контактов, а также невозможность автоматизации процесса управления. Темп разгона или торможения при этом зависит только от машиниста.

В крановом ЭП находят применение силовые кулачковые контроллеры типа ККТ-61А, 62А, 63А, 68А, 65А, 69А, для АД и контроллеры типа КВ1-01, 1-02 для ДПТ.

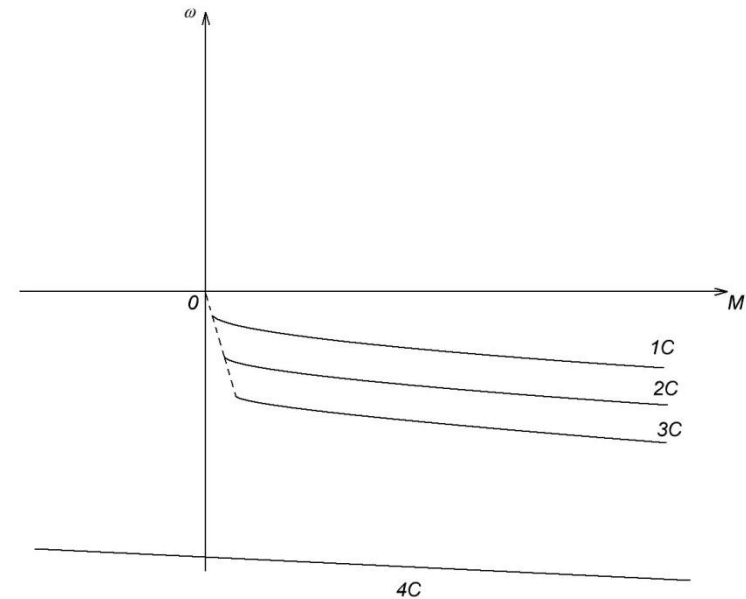
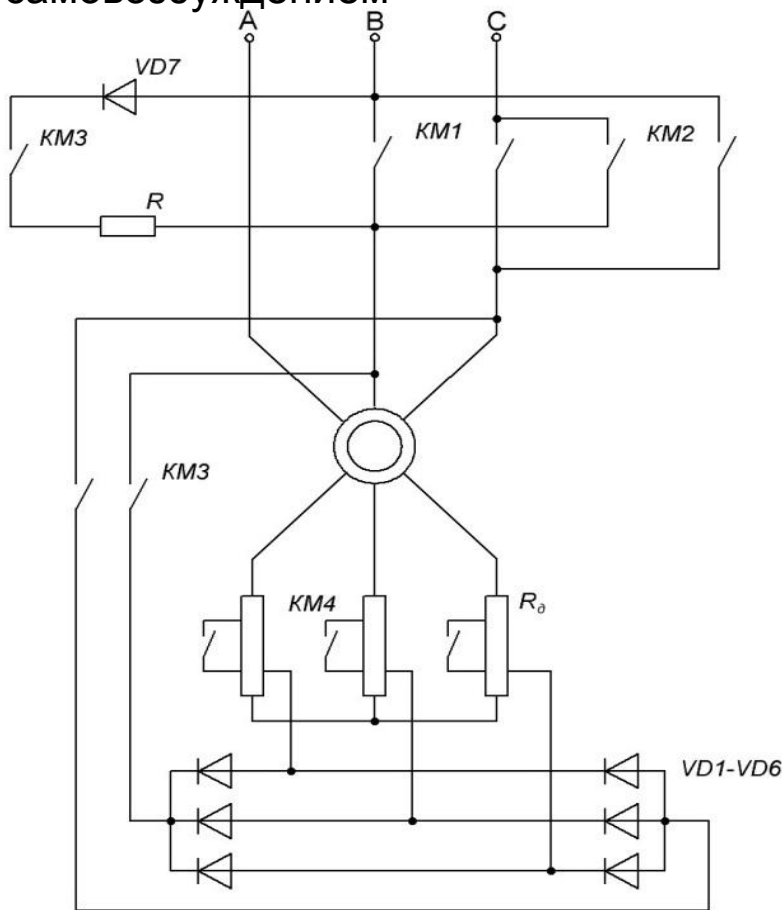
Мощность управляемых двигателей кулачковыми контроллерами типа ККТ-61, 62 в режиме Л мощностью до 30 кВт, а ККТ-68 до 45 кВт. Механические характеристики их подъема и перемещения идентичны, регулирование скорости в небольшом диапазоне $D=2,5:1$. Номинальной мощностью контроллера является мощность управляемого им двигателя при номинальных напряжении и токе, отнесенном к режиму ПВ=40% при общей продолжительности каждого цикла не более 10 мин. Понижение скорости может быть достигнуто путем переключения контроллера с одной позиции на другую и периодическим накладыванием механического тормоза при установке контроллера в нулевое положение. Спуск грузов в режиме рекуперативного торможения возможен на сверхсинхронных частотах вращения.

Схемы с использованием контроллеров ККТ-65А и ККТ-69А обладают улучшенными регулировочными и энергетическими характеристиками, выполняемые по принципу динамического торможения самовозбуждением (ДТС), обеспечивают устойчивый диапазон регулирования $D=8:1$. Система управления содержит помимо кулачкового контроллера еще и релейно-контактную панель управления ДТС типа ТРД-160 и защитную панель типа ПЗКБ.

Для управления АД с КР применяется кулачковый контроллер ККТ-63 А.

Для ЭП постоянного тока, в которых применяются кулачковые контроллеры типа КВ1 -02 предусмотрено ДТС.

Асинхронный электропривод, использующий динамическое торможение с самовозбуждением



В этом режиме торможения контакторы KM1 и KM2 отключены, а выпрямленный мостом с диодами VD1-VD6 ток ротора асинхронного двигателя, вращающегося «вниз» под действием висящего тяжёлого груза, подаётся контактами контактора KM3 в две фазы статора В и С.

Для большей надёжности в схеме создаётся некоторое начальное независимое возбуждение цепи статора: оно осуществляется подачей в фазы А и В статора контактом контактора KM3 небольшого тока (5-10 % номинального) через однополупериодный выпрямитель VD7, причём его направление в фазе В совпадает с направлением постоянного тока, выпрямленного мостом VD1-VD6. Если скорость двигателя растёт, увеличиваются ток ротора и ток подмагничивания, что приводит к росту магнитного потока двигателя и развиваемого им момента. Когда этот момент станет равным моменту от груза, последний будет опускаться с постоянной скоростью. При небольших скоростях ротора самовозбуждения не наступает (аналогично самовозбуждению генератора постоянного тока). Оно возникает лишь при определённой ЭДС, т.е. при некоторой минимальной скорости вращения.

Асинхронный электропривод, использующий динамическое торможение с самовозбуждением

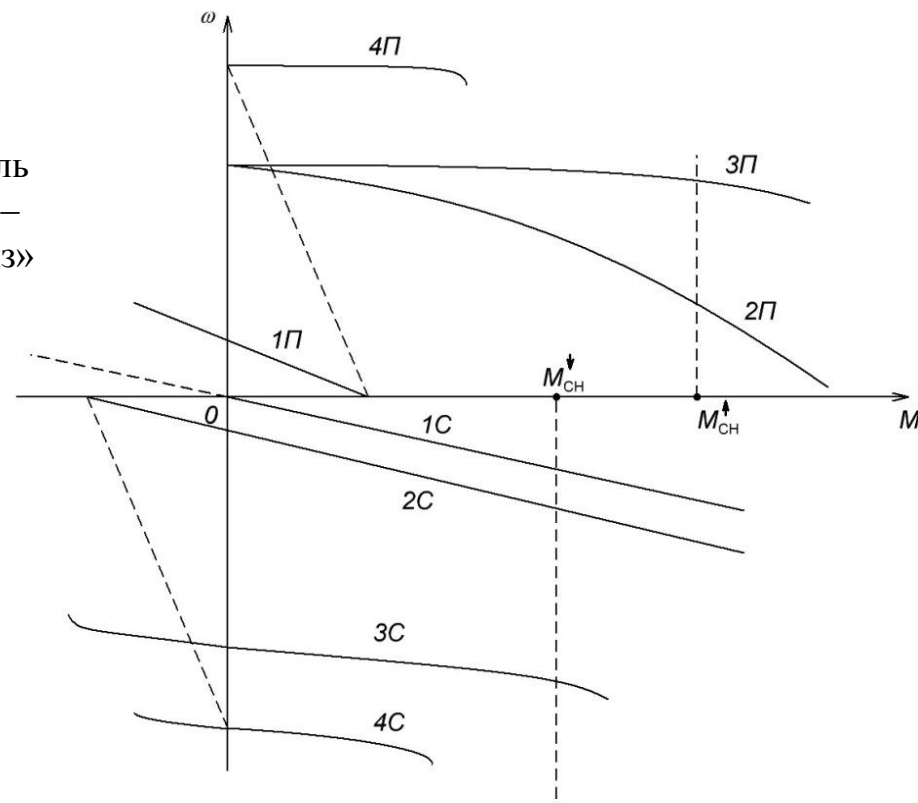
Механические характеристики ЭП в режиме динамического торможения с самовозбуждением более жёсткие по сравнению с режимом динамического торможения с независимым возбуждением, когда магнитный поток остаётся постоянным. При одинаковом увеличении скорости из-за возрастания активной статической нагрузки момент двигателя в процессе самовозбуждения растёт интенсивнее, чем при независимом возбуждении, так как в этом режиме он зависит от одновременно возрастающих тока ротора и магнитного потока статора.

Установившаяся скорость опускания груза пропорциональна значению добавочного сопротивления в цепи ротора. Поэтому для увеличения скорости, т.е. для перехода с характеристики 1С на характеристику 2С, необходимо в схеме отключить контактор КМ4. Аналогично осуществляется переход к характеристике 3С. Для перевода двигателя в режим опускания груза с максимальной скоростью следует отключить контактор динамического торможения КМ3 и подключить статор к сети контактором КМ2. После этого осуществляется автоматический разгон двигателя до естественной характеристики 4С включением контакторов ускорения, не показанных на схеме. На этой характеристике может осуществляться спуск с номинальной скоростью любых грузов: в третьем квадранте силовой спуск лёгких грузов и в четвёртом – спуск грузов, больших критического, в режиме рекуперативного торможения. Механические характеристики в режиме подъёма при включенном контакторе КМ1 (на рис. они не показаны) не отличаются от характеристик, которые обеспечивают в первом квадранте магнитные контроллеры ТСА и КС.

Двухдвигательный асинхронный электропривод

В тех случаях, когда лебёдка механизма подъёма приводится в движение двумя двигателями (при большой мощности привода, для удобства размещения двигателей на кране, с целью снижения результирующего момента инерции), каждый из них выбирается половинной мощности от требуемой для привода. Однако иногда разумно принимать двигатели неодинаковой мощности и включать их для работы в разных режимах с целью обеспечения специальных характеристик. Тогда они выбираются мощностью 80-85 % (большой) и 15-20 % (меньший) от суммарной потребной для привода. И если большой работает, например в режиме динамического торможения, а меньший в двигательном режиме «назад», то обеспечивается результирующая механическая характеристика безопасного спуска, на которой могут опускаться любые грузы с пониженной скоростью. Если же меньший двигатель, кроме того, использовать с повышенной синхронной скоростью (например, на 1500 об/мин, в то время как большой выбран на 1000 об/мин, соответствующую номинальной скорости подъёма груза), тогда привод может обеспечить также повышенные скорости подъёма и спуска крюка и лёгких грузов. Только в этом случае указанное выше процентное соотношение относится не к мощности, а к моменту. Соответствующие механические характеристики приведены на рис.

Здесь на положениях первом «подъёма» (характеристика 1П), когда выбирается слабина каната, и втором «спуска» (характеристика безопасного спуска 2С) большой двигатель работает в режиме динамического торможения, а меньший – в двигательном режиме соответственно «вверх» или «вниз» на реостатной характеристике. На первом же положении «спуска» (характеристика 1С) меньший двигатель отключён и создаются минимальные скорости спуска тяжёлых и средних грузов.

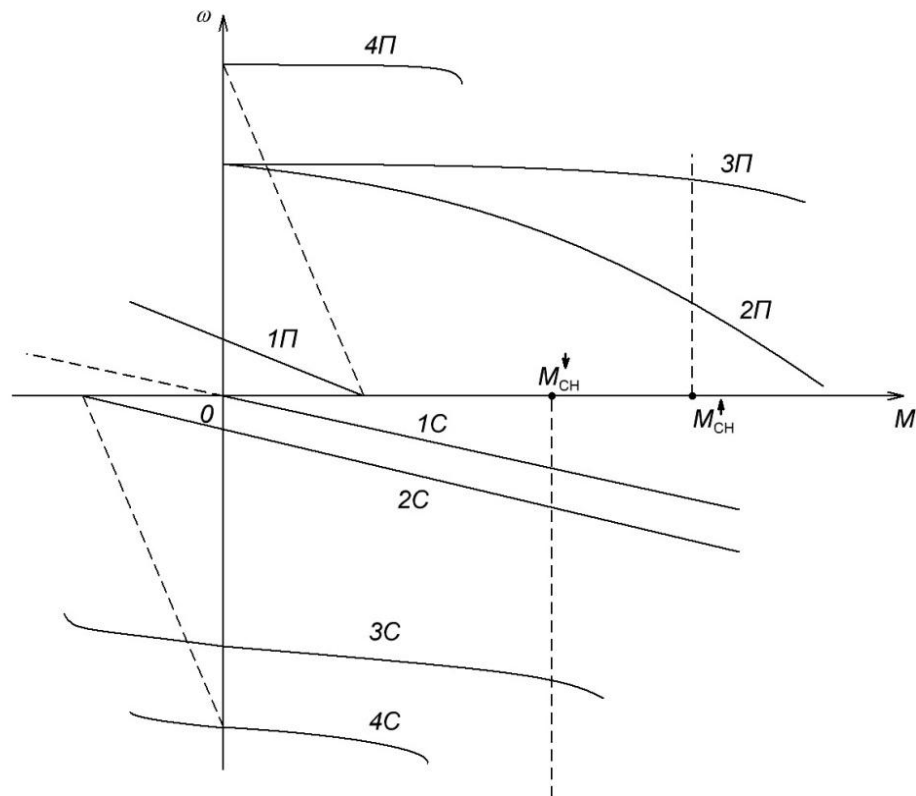


Двухдвигательный асинхронный электропривод

Номинальные скорости при подъёме и спуске (характеристики 3П и 3С) обеспечиваются, когда большой двигатель работает на естественных характеристиках, а малый – на реостатных: при этом на характеристике 3П моменты складываются, а на 3С – вычитаются, так как при спуске номинального груза требуется меньший момент, чем при подъёме. И наконец, четвёртые положения (характеристики 4П и 4С) обеспечиваются, когда большие двигатели отключены, а малые работают на естественных характеристиках. На этих положениях контроллера можно перемещать пустой крюк и очень лёгкие грузы (порядка 5-10 % номинального) с повышенной скоростью.

Конечно, при установке контроллера в положения 4П или 4С разгон ЭП до номинальной скорости осуществляется благодаря работе обоих двигателей. После этого специальным реле «груза» контролируется нагрузка двигателей, и если она не превышает определённого значения (то есть груз невелик), даётся команда на отключение большого двигателя.

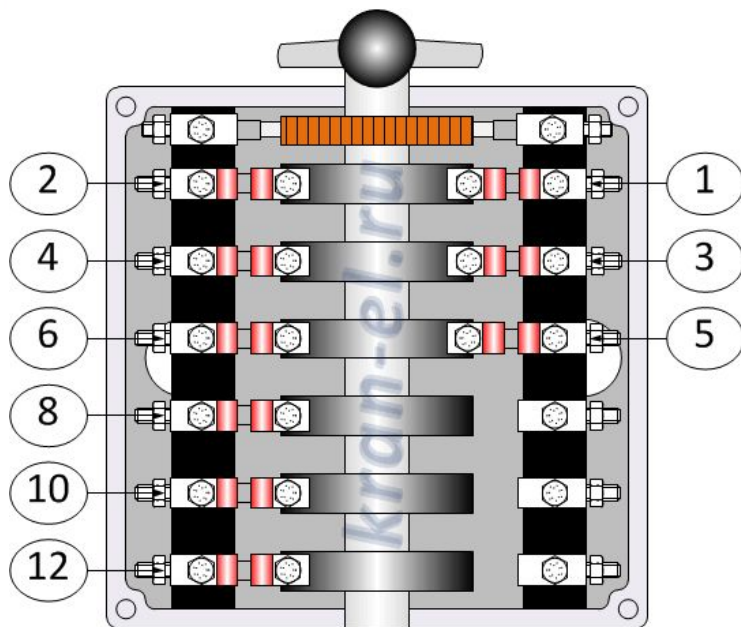
На всех механических характеристиках спуска, кроме 1С, имеется возможность опускать грузы с пониженной, номинальной и повышенной скоростями как в двигательном так и в тормозном режимах. Такой ЭП может применяться для монтажных кранов, а также кранов с очень большой высотой подъёма (например, шахтные краны).



Силовые контроллеры ручного управления. Назначение. Конструкция.

Принцип действия.

Силовые кулачковые контроллеры относятся к категории аппаратов непосредственного ручного управления. Они предназначены для управления крановыми электродвигателями постоянного и переменного тока механизмов режимных групп 1М — 4М. Силовые контроллеры являются комплектными устройствами, которые служат для обеспечения включения цепей обмоток электродвигателей по заранее заданной программе, заложенной в конструкции кулачкового барабана контроллера.



Расположение контактов в контроллере ККТ-63А.

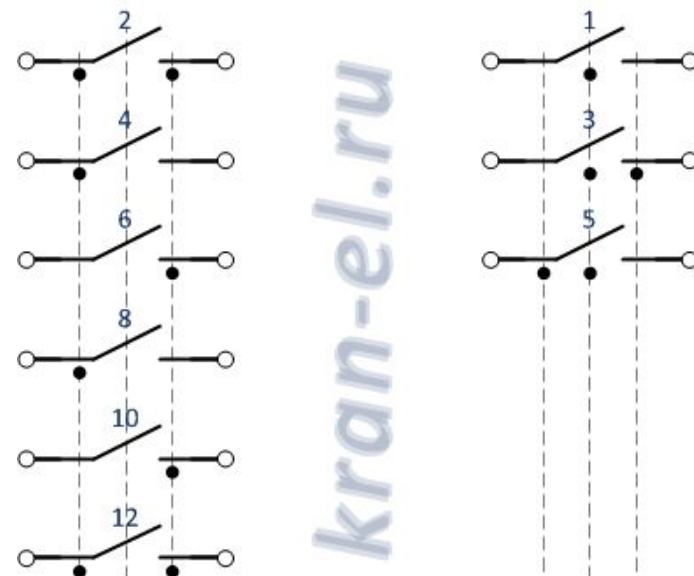
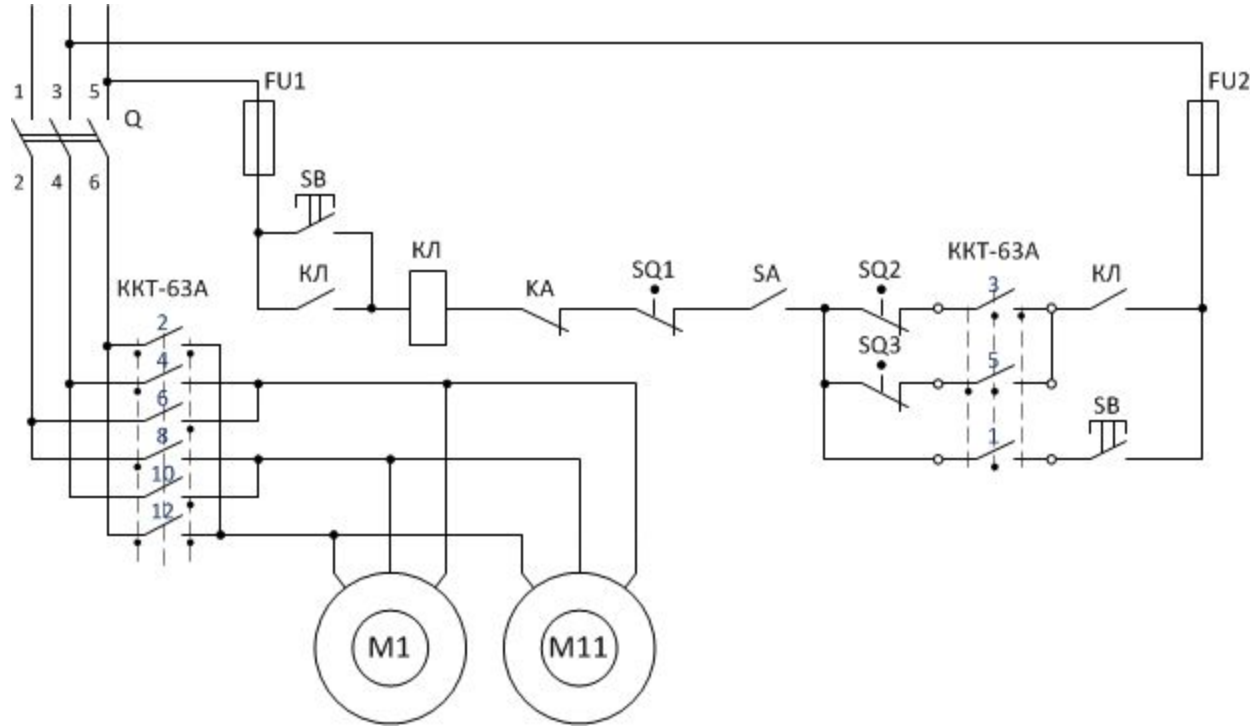


Схема контроллера ККТ-63А.

Силовые контроллеры ручного управления. Назначение. Конструкция. Принцип действия.

№ контактной группы	Положение рукоятки			Положение рукоятки	№ контактной группы
	← 1	0	→ 1		
		✗			1
2	✗		✗		
		✗	✗		3
4	✗				
	✗	✗			5
6			✗		
					7
8	✗				
					9
10			✗		
					11
12	✗		✗		

Диаграмма замыкания контактов контроллера ККТ-63А



Вариант схемы электропривода с силовым контроллером типа ККТ-63А

Силовые контроллеры ручного управления. Назначение. Конструкция.

Принцип действия.

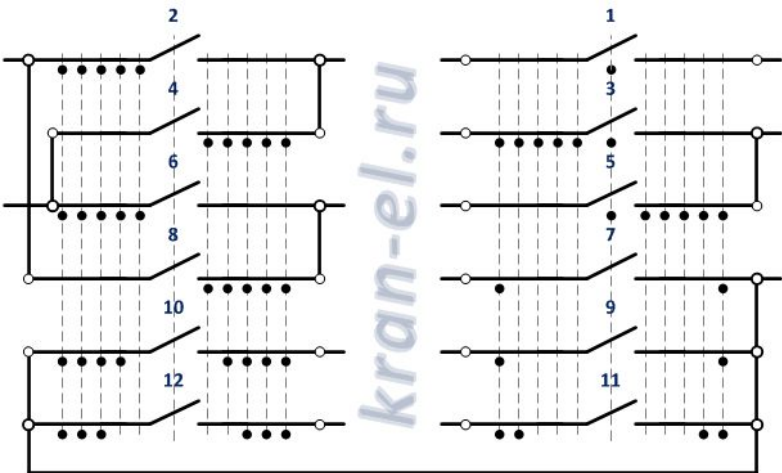
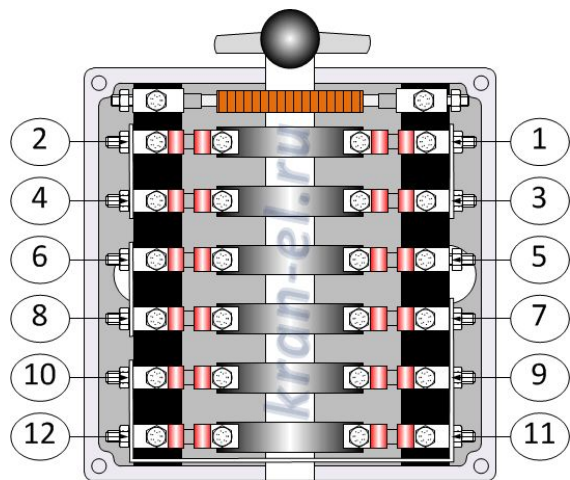


Схема контроллера
ККТ-61А.

№ контактной группы	← Положение рукоятки →											№ контактной группы
	5	4	3	2	1	0	1	2	3	4	5	
						X						1
2	X	X	X	X	X							3
4							X	X	X	X	X	5
6	X	X	X	X	X							7
8							X	X	X	X	X	9
10	X	X	X	X						X	X	11
12	X	X	X						X	X		

Диаграмма замыкания контактов контроллера ККТ-61А



Расположение контактов в контроллере
ККТ-61А

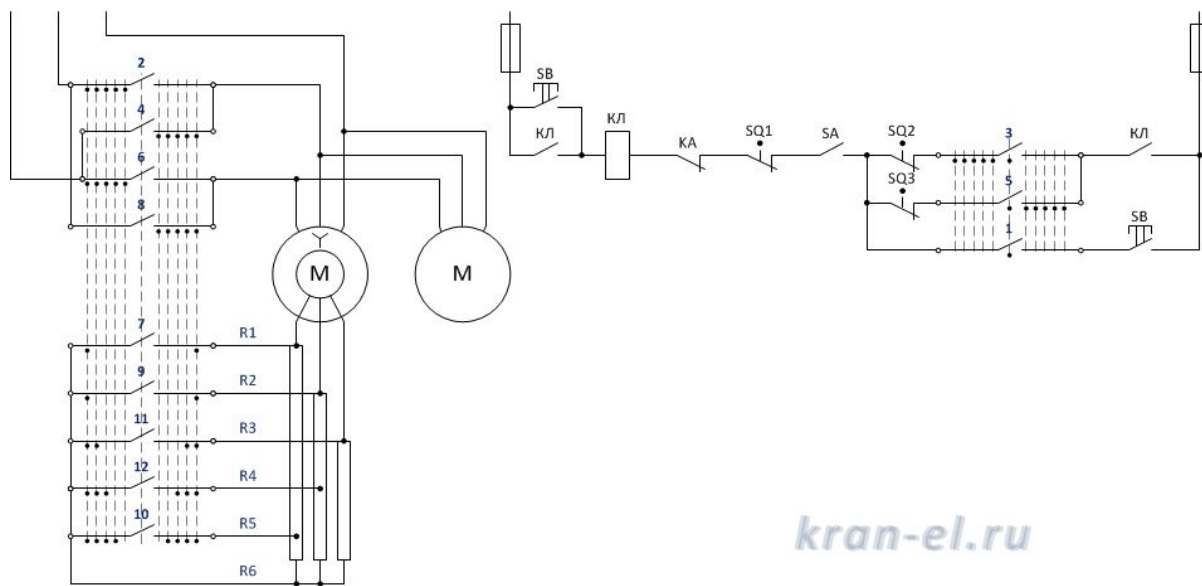


Схема электропривода с силовым контроллером
типа ККТ-61А (фрагмент)

kran-el.ru

Серийные контакторные схемы управления крановыми ЭП

Схемы управления кранового электропривода могут быть симметричными и несимметричными относительно нулевого положения командоконтроллера. Симметричная схема обеспечивает одинаковые характеристики в одних и тех же положениях контроллера при ходе вперёд и назад. Симметричные схемы обычно применяются обычно для привода передвижения тележки или моста. Несимметричная схема применяется на приводах подъёма, где на подъёме необходимо иметь одну характеристику, а на спуске – другую.

Магнитные контроллеры (магнитная контактная панель) применяются на всех современных кранах с тяжёлым режимом работы. При управлении магнитными контроллерами в кабине машиниста располагается только командоаппарат, остальная аппаратура выносится в отдельную кабину или на мост крана. Контактторы в силовых цепях работают гораздо надёжнее контактов силового контроллера. Магнитные контроллеры позволяют автоматизировать процесс разгона и торможения привода и существенно упрощают управление краном. При использовании магнитных контроллеров увеличивается производительность крана.

Магнитные контроллеры для управления механизмами передвижения бывают трёх типов:

П – для двигателей постоянного тока последовательного возбуждения;

Т – для асинхронных двигателей с контакторами переменного тока;

К – для асинхронных двигателей с контакторами постоянного тока (системы управления с контакторами постоянного тока имеют большее быстродействие);

МК – для управления приводами подъёма с несимметричными схемами управления;

ПС, ТС, КС позволяют при спуске груза обеспечить тормозной режим на низкой скорости.

Серийные контакторные схемы управления крановыми ЭП

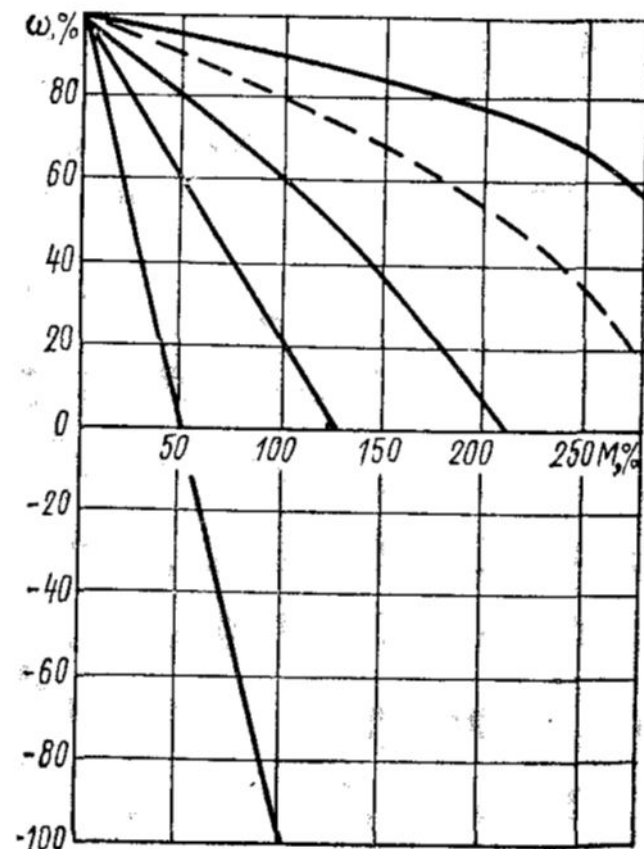
Применяются также панели ПСА, ТСА и КСА. Буква А в обозначении указывает на то, что управление двигателями автоматизировано в функции времени или ЭДС якоря. В режиме спуска груза тормозные характеристики для асинхронного двигателя обеспечиваются противовключением или однофазным включением статора.

Магнитные контроллеры для приводов подъёма, оснащённых двигателями постоянного тока последовательного возбуждения обеспечивают в режиме подъёма ступенчатое изменение сопротивления реостата в цепи якоря и обмотки возбуждения. Получаемые при этом мягкие характеристики благоприятны для этого режима (отсутствие рывка, выбор слабины канатов). При спуске груза необходимо, чтобы привод обеспечивал двигательный и тормозной режимы при низких скоростях.

Магнитные контроллеры реализуют для режимов спуска специальные схемы включения серийных двигателей, в которых используется шунтирование обмотки якоря, либо шунтирование обмотки возбуждения, либо комбинирование этих схем.

Магнитный контроллер в нулевом положении командоконтроллера обеспечивает динамическое торможение с самовозбуждением. Переключение со ступени на ступень происходит в функции времени и скорости. Для этого магнитные контроллеры снабжаются реле времени и реле напряжения, включёнными на ЭДС якоря.

Для очень мощных кранов технические возможности магнитного контроллера постоянного и переменного токов оказываются уже недостаточными. Примером таких кранов могут служить перегружательные козловые краны на шихтовых дворах доменных цехов и угольных складов электростанций. Мощность приводов подъёма и передвижения таких кранов превышают 100 кВт.



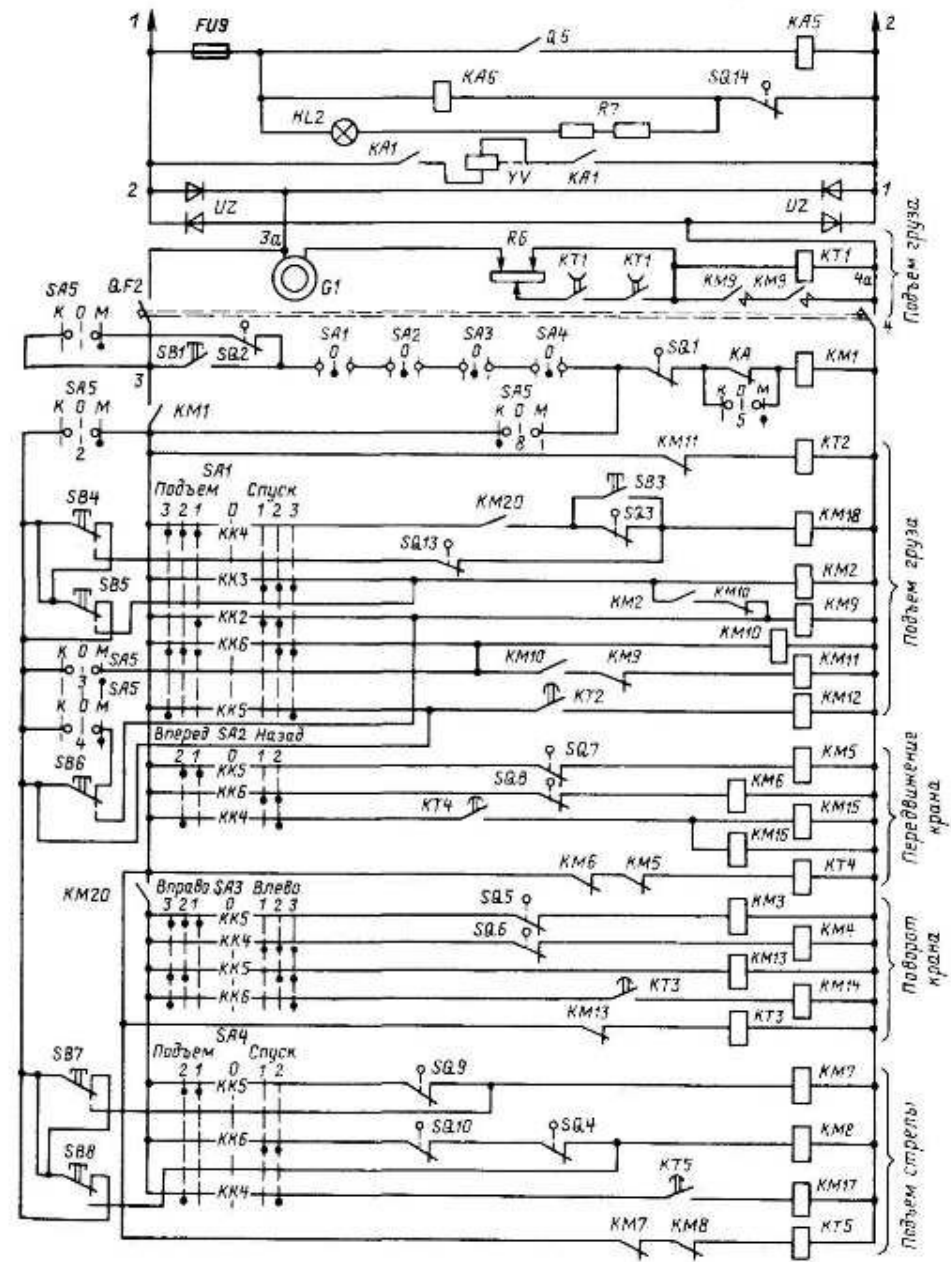
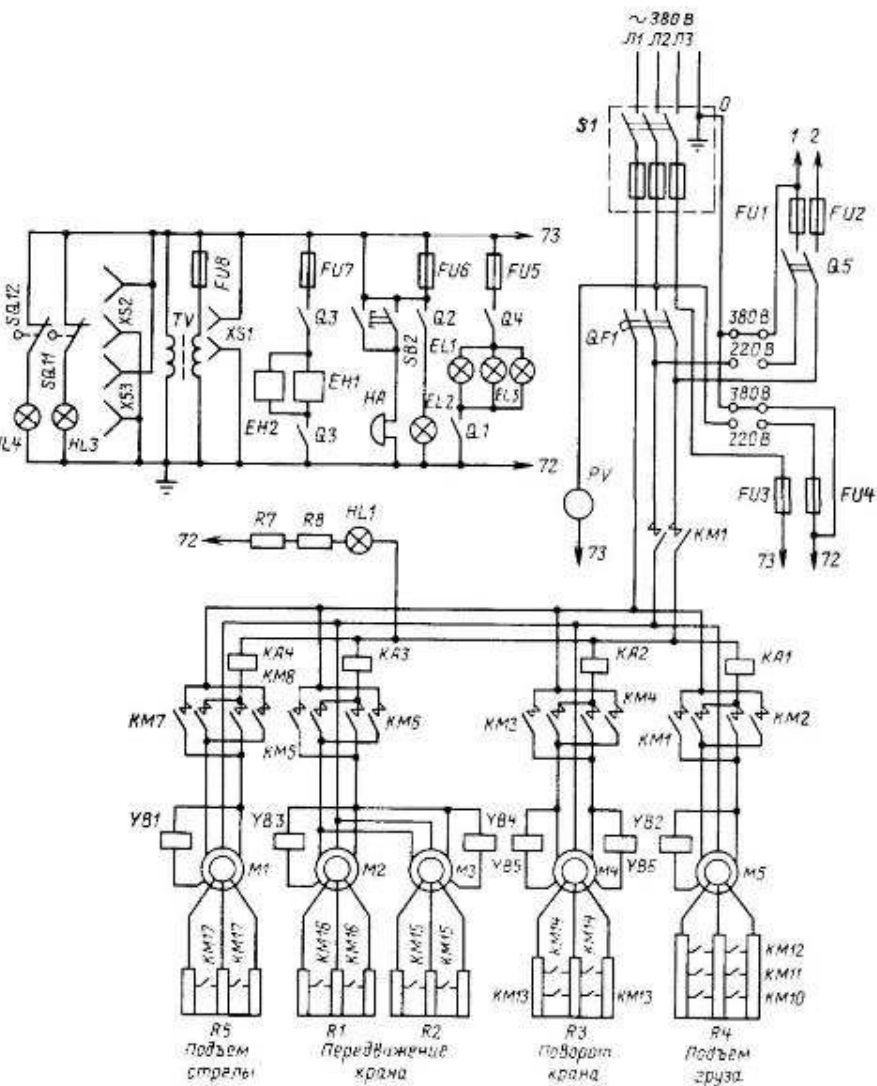
Серийные контакторные схемы управления крановыми ЭП

Другая проблема для мощных кранов – синхронизация движения тележек. Даже при полностью идентичных механических характеристиках двигателей из-за случайных причин тележки расходятся. Применение электрического вала не решает этих проблем, так как не может полностью учесть износ скатов или их пробуксовку.

Простым (более надёжным) решением этой проблемы является временное отключение привода опережающей тележки по команде от концевых выключателей перекоса или применение специальных схем на базе регулируемого привода.

Анализ технических требований и существующих решений в области ЭП кранов позволяет сделать вывод о том, что применяемые контакторные системы управления имеют ограниченную область применения и не всегда удовлетворяют поставленные требования. В наилучшей степени этим требованиям удовлетворяют современные регулируемые приводы. Для крановых ЭП находят применение системы ТП – ДПТ, ПЧ-АД. Применение таких систем позволяет без труда решить проблемы плавного безударного пуска при подъёме, обеспечить стабильно малую и большую скорости при тормозном и двигательном спуске груза, синхронизацию движения тележек.

Кран КБ-306 (С-981). Схема электрическая принципиальная



Спецификация электрооборудования.

G1 - тормозной вихревой генератор ТМ-4;

M1 - электродвигатель стреловой лебедки МТВ-311-8, 7,5 кВт, фланцевый на лапах с двумя концами вала; M2, M3-электродвигатели механизма передвижения МТ-111-6, 3,5 кВт;

M4 - электродвигатель механизма поворота МТ-112-6, 5 кВт, фланцевый на лапах;

M5 - электродвигатель грузовой лебедки МТВ-411-8С, 16 кВт, фланцевый на лапах с двумя концами вала; QF1, QF2 - автоматические выключатели АП50-3МТ на 50 А и 6,4 А соответственно;

KM2-KM8, KM18 - контакторы реверса; KM9 ~ контактор вихревого генератора;

KM10-KM17 ~ контакторы ускорения КПД-121А на 220 В, 25 А; KM1 - линейный контактор КПД-121А;

KA1-KA4 - блок реле максимального тока РЭО-401 на 60, 40 и 10 А;

KT1-KT5 - реле времени РЭВ-811 на 220 В;

KA5 - реле-пускатель управления магнитом защелки;

KA6 - реле РЭ-90 переключения характеристики ОГП-1;

SQL SQ2 - аварийные выключатели ВУ-222А на 20 А;

SQ3-SQ14 - выключатели конечные КУ-701 на 500 В, 10 А, ВУ-250А на 500 В, 20 А, ОГП-1, ВК-300 на 380 В, 6,3 А;

SA1-SA4 ~ командоконтроллеры КП-1222, КП-1222 (два), КП-1210 на 500 В, 10 А;

SA5 - универсальный переключатель УП5314/С256 на 500 В, 20 А;

Q1-Q5 - выключатели пакетные ПВМ2-10 на 220 В, 10 А;

Q6 - выключатель управления закрыванием защелки;

SA6 - переключатель ПП-45М;

YB1-YB6 - тормозные электромагниты МО-300Б, МО200Б, МО-100Б на 220 В;

R1-R5 - пускорегулирующие резисторы НФ-2, кат. № 2ТД.750.011.87, УФ-6, кат. № 2ТД.750.011.49;

R6 - резистор в цепи обмотки возбуждения генератора СР-200;

S1 - ящик вводной ЯВР-;6114 на 380 В, 220 А с рубильником и предохранителями, ток вставки 160 А;

R7, R8 - резисторы к лампе ЛС-53 на 2400 Ом (два по 1200 Ом);

UZ - селеновый выпрямитель СВ12-3 на 220 В, 10 А;

SB1—SB8 - кнопки управления КУ-1М на 380 В, 6 А;

HL1—HL4 - лампы световой сигнализации ЛС-53 с колпаком зеленого цвета;

EL1, EL2 - лампы освещения: светильник рудничный РН-100 на 220 В, 100 Вт, светильник освещения кабины ПСХ-75 на 220 В, 75 Вт;

EL3 - прожектор ПЗС-35 на 220 В, 500 Вт; НА - звонок электрический МЗ-1 на 220/127 В;

TV — трансформатор понижающий ОСО-0,25 на 220/12 В;

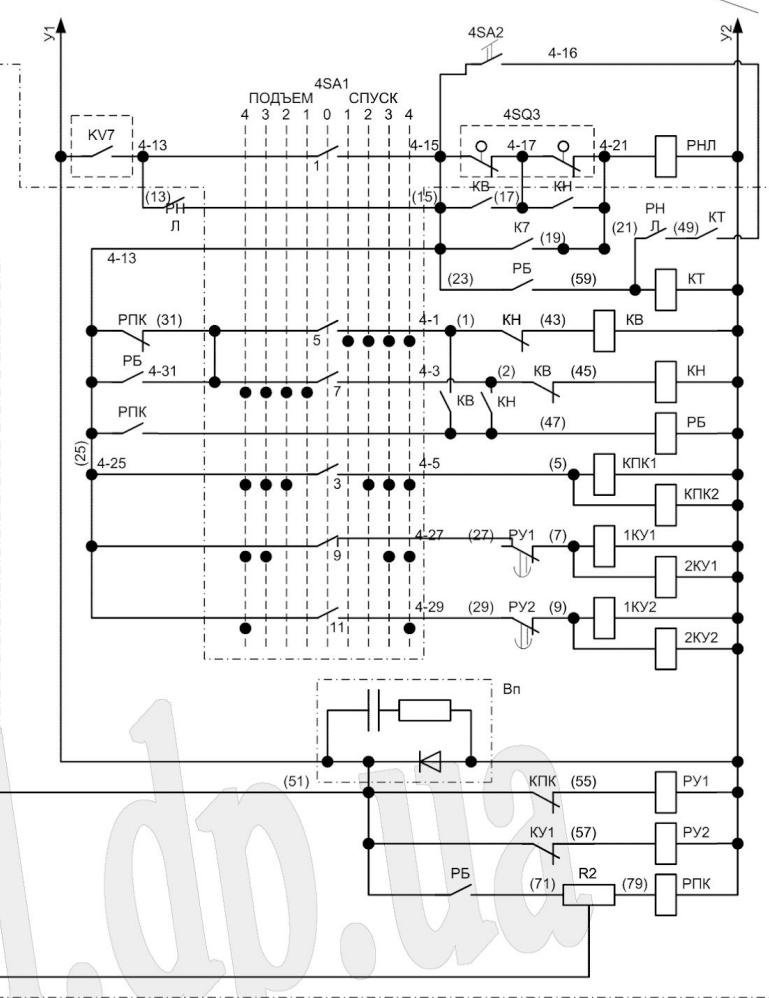
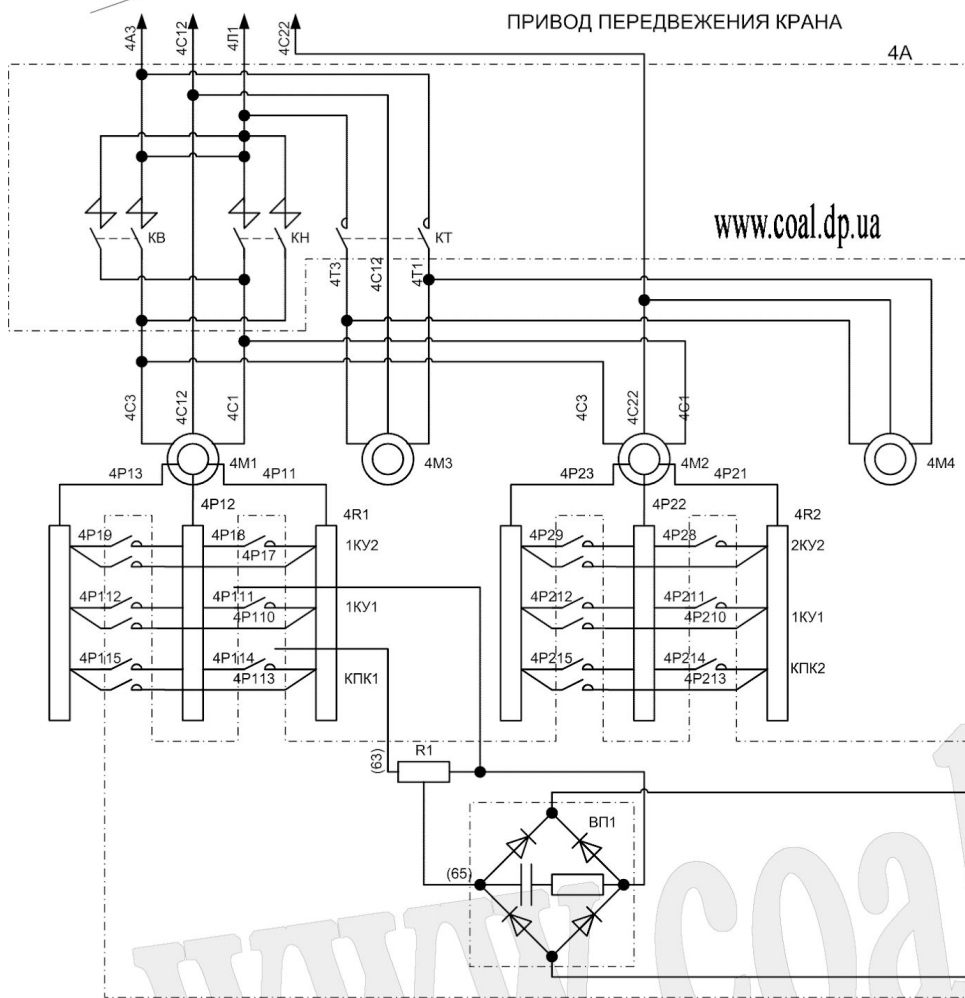
FU1, FU3-FU9 - предохранители плавкие ПР-2;

EH1, EH2 — электропечи ПТ-10-2 на 220 В, 1000 Вт;

YV — электромагнитная защелка переносного блока;

KM20 - контакты ограничителя грузоподъемности ОГП-1 (специальная модификация № 10 с двумя датчиками угла) ;

остальное - контакты



РАЗБИВКА ПО СТУПЕНЯМ РЕЗИСТОРОВ 4R1, 4R2, 5R

ОБОЗНАЧЕНИЕ ДВИГАТЕЛЯ	ОБОЗНАЧЕНИЕ СТУПЕНИ СОПРОТИВЛЕНИЕ, Ом			
4M1	4P11-4P17	4P14-4P110	4P110-4P113	4P113-4P116
	4P12-4P18	4P15-4P111	4P111-4P114	4P114-4P116
4M2	4P13-4P19	4P16-4P117	4P112-4P113	4P113-4P116
	0,25	0,44	0,8	3,18
5M	5P1-5P4			
	4,0			

ПАРАМЕТРЫ НАСТРОЙКИ РЕЛЕ ПАНЕЛИ 4А

ОБОЗНАЧЕНИЕ	НАИМЕНОВАНИЕ	ВЕЛИЧИНА	ПРИМЕЧАНИЕ
РУ1	ВЫДЕРЖКА ВРЕМЕНИ НА ОТПАДАНИЕ, С.	0,4..1,0	НАПРЯЖЕНИЕ ВТЯГИВАНИЯ ЯКОРЯ НЕ БОЛЕЕ 100 В.
РУ2		0,8..2,5	
РПК	а) ЯКОРЬ РЕЛЕ ВТЯГИВАЕТСЯ ПРИ НАПРЯЖЕНИИ 28+/-1В б) ЯКОРЬ РЕЛЕ ВТЯГИВАЕТСЯ ПРИ НАПРЯЖЕНИИ МЕЖДУ ПРОВОДАМИ 4P111-4P110 РАВНОМ $0,95E_p = 236 В$		РЕГУЛИРОВКА ВКЛЮЧЕНИЯ РЕЛЕ ПРОИЗВОДИТСЯ ИЗМЕНЕНИЕМ СОПРОТИВЛЕНИЯ R1

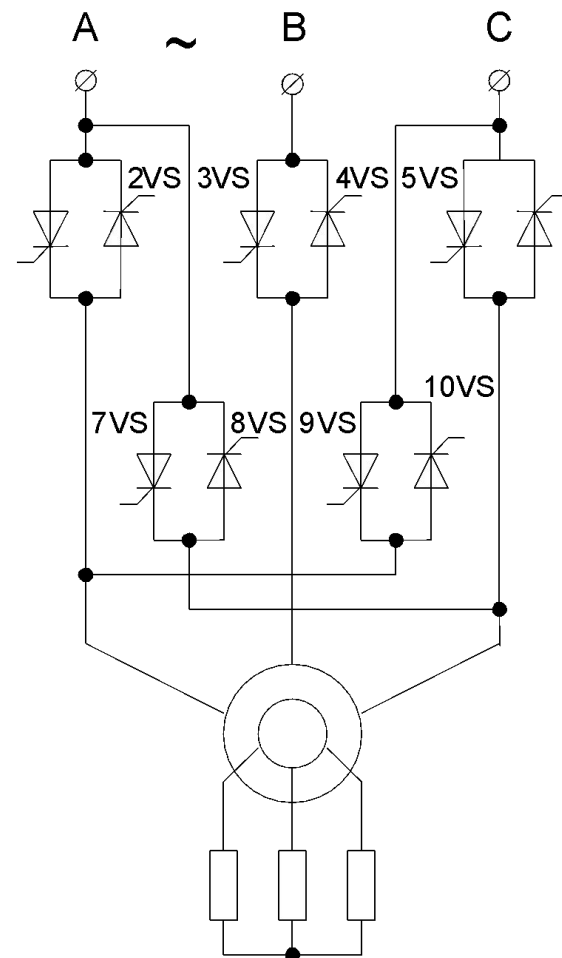
Электропривод «Преобразователь напряжения – асинхронный двигатель» (ТРН-АД)

Преимущества использования для крановых механизмов преобразователей напряжения по сравнению с реостатным электроприводом:

1. Плавное регулирование момента (изменением напряжения в разомкнутой системе, которое реализуется углом управления тиристоров 1VS-6VS).
2. Жесткие механические характеристики при использовании отрицательной обратной связи по скорости. Они обеспечивают диапазон регулирования скорости 10-20:1.
3. Плавное регулирование скорости изменением напряжения.
4. Работа во всех четырех квадрантах, т.е. обеспечиваются, кроме режима двигателя, также необходимые тормозные режимы.

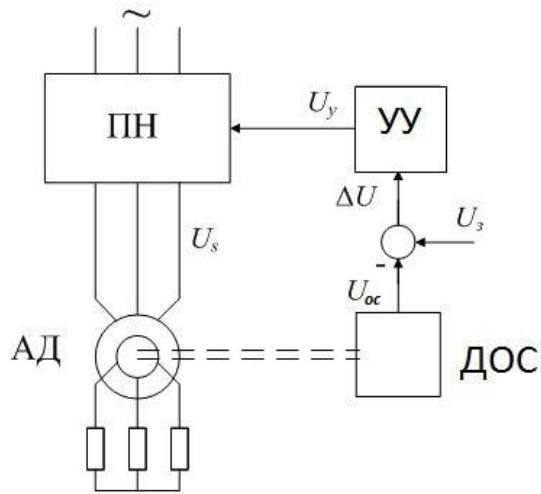
Недостатки:

1. Используется АДФР а обеспечение нужных статических и динамических характеристик часто связано с переключением резисторов в цепи ротора;
2. Необходимость работы в замкнутой системе управления;
3. Работа с пониженными скоростями характеризуется значительными потерями скольжения и низким КПД: потери энергии в цепях двигателя близки к потерям при реостатном регулировании
4. ТРН искажают напряжение сети, загружая ее высшими гармониками.
5. Электропривод ТРН-АД сложнее и дороже обычного реостатного, однако стоимость преобразователя напряжения составляет лишь 30-50 % стоимости частотного преобразователя соответствующей мощности.

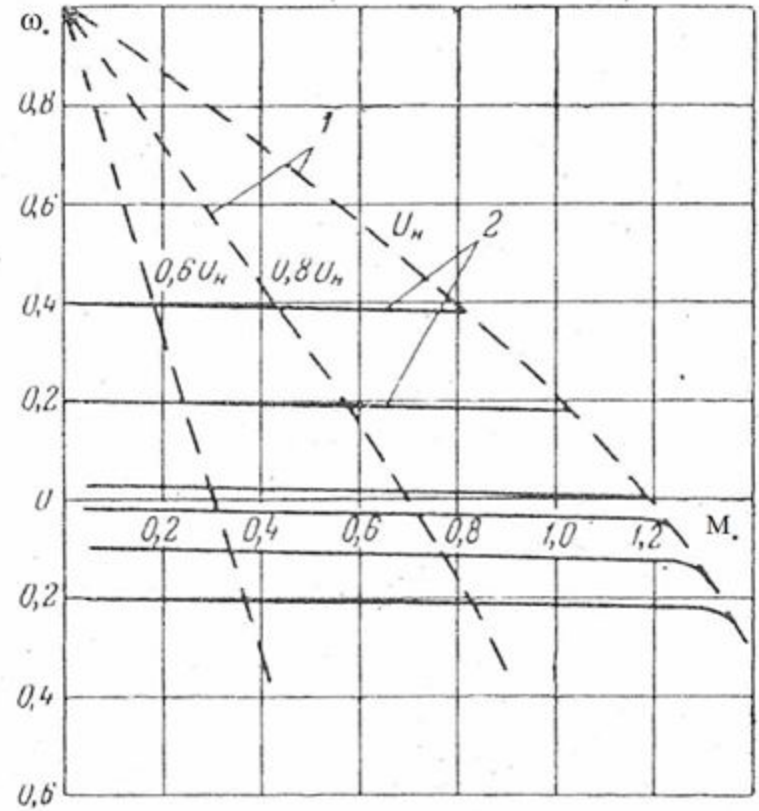


Принципиальная схема силовой части реверсивного электропривода ТРН-АД

Электропривод «Преобразователь напряжения – асинхронный двигатель» (ТРН-АД)

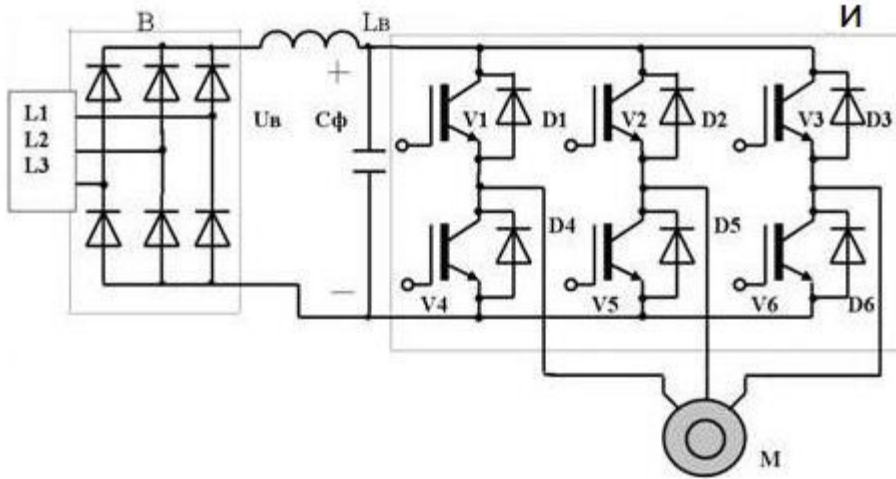


Функциональная схема управления электропривода ПН-АД

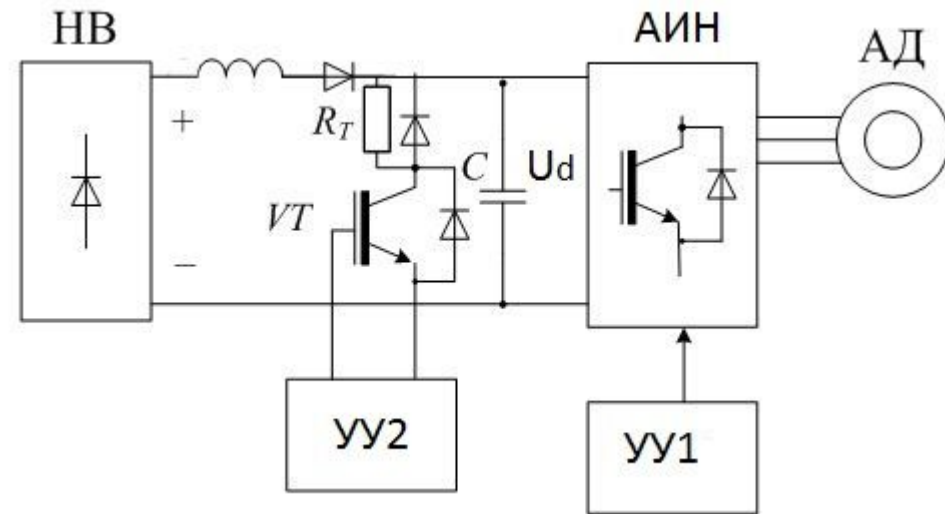


Механические характеристики электропривода ТРН-АД:
1 – в разомкнутой системе, 2 – в замкнутой системе

Электропривод «Преобразователь частоты – асинхронный двигатель» (ПЧ-АД)



Принципиальная схема преобразователя частоты



Электропривод ПЧ-АД с резисторным торможением

При использовании ПЧ для крановых механизмов реализуются такие технические возможности:

1. Используются самые надежные и дешевые АДкзр.
2. Обеспечивается плавное и экономичное регулирование скорости от нуля до номинальной и выше номинальной.
3. Реализуется плавный разгон и торможение.
4. При этом способе регулирования не увеличивается скольжение, как например, при реостатном регулировании или при использовании ТРН-АД, что обуславливает малые потери и высокий КПД во всем диапазоне регулирования скорости.
5. Ограничение тока на уровне номинального в пусковых, рабочих и аварийных режимах.
6. Увеличение срока службы электрической и механической частей оборудования.

Сравнительные данные альтернативных электроприводов

№ П/п	Показатели	Реостатное регулирование	ТРН–АД	ПЧ–АД
1	Механические характеристики электропривода механизмов подъёма	3	2	1
2	Характеристики переходных процессов крановых механизмов горизонтального перемещения	3	2	1
3	Ограничение колебаний крановых ЭМС	3	2	1
4	Количество потребляемой электроэнергии	2	3	1
5	Искажение питающей сети (высшие гармонические)	1	3	2
6	Надёжность электропривода	1	3	2
7	Стоимость электропривода	1	2	3

Модернизация крановых электроприводов

Большинство современных крановых ЭП выполнено на основе АДфр, которые управляются силовыми контроллерами или низковольтными комплектными устройствами (панелями управления). Основным достоинством таких ЭП является простота их использования, низкая стоимость и ремонтпригодность. Однако эти ЭП не лишены и весьма существенных недостатков:

- невозможность получения посадочной скорости в ЭП механизмов подъёма с силовыми контроллерами;
- отсутствие режима силового спуска пустого крюка и лёгких грузов в ЭП механизмов подъёма с панелями управления;
- отсутствие электрического торможения в ЭП механизмов передвижения;
- низкая износостойкость релейно-контакторной аппаратуры;
- большие потери энергии при пуске и торможении ЭП в интенсивном режиме работы.

Т.о. многие крановые ЭП не отвечают современным требованиям.

Зачастую промышленные предприятия, где установлены краны, изменяют технологию производства и номенклатуру выпускаемой продукции, делают перепланировку производственных и складских помещений. В результате этого мостовой кран, изначально предназначенный для обслуживания склада металла, может, например, использоваться для точных монтажных операций, а краны, управляемые из кабины, переводятся на управление с пола или по радиоканалу и пр.

Модернизация крановых ЭП зачастую обусловлена необходимостью выполнения требований, предъявляемых к современным кранам.

Основными целями модернизации являются:

- расширение диапазона регулирования скорости;
- повышение плавности переходных процессов;
- исключение быстроизнашивающейся релейно-контакторной аппаратуры;
- уменьшение потерь энергии;
- перевод крана на управление с пола с помощью подвесного пульта или по радиоканалу;
- необходимость сопряжения системы управления краном с СУ верхнего уровня.

Модернизация крановых электроприводов

Ретрофит, (применение уже установленного оборудования, пригодного для дальнейшего использования, но требующего обновления) позволяет существенно снизить затраты на модернизацию.

Уровни модернизации

Первый – наиболее простой вариант – предусматривает модернизацию одиночного ЭП, например, ЭП механизма подъёма, с целью расширения диапазона регулирования скорости. Остальные ЭП крана не модернизируются. В таких случаях, как правило, целиком используется уже установленное на кране оборудование. Дополнительно устанавливается комплектное устройство (шкаф, оснащённый системой вентиляции и отопления) с ПЧ, который управляется по логическим входам от существующего командоконтроллера.

Вторым – более сложным вариантом – является модернизация всех ЭП крана. В этом случае также желательно сохранение установленных ЭД, концевых выключателей и максимальное использование кабельных трасс. Существующие устройства управления и ввода полностью демонтируются, а взамен устанавливается комплектное устройство с ПЧ и необходимыми устройствами ввода и защиты. Для управления ПЧ используется ПЛК. Существующие командоаппараты в кабине машиниста демонтируются, а взамен устанавливается кресло"пульт с малогабаритными командоконтроллерами (джойстиком).

Иногда для управления ЭП, одновременная работа которых не предусматривается (например, главного и вспомогательного механизмов подъёма), используется один ПЧ с поочерёдным подключением ЭД. Если кран переводится на управление с пола, то один ПЧ может использоваться для управления всеми механизмами. Для размещения комплектного устройства с ПЧ и необходимой коммутационной аппаратурой часто используется кабина машиниста после демонтажа органов управления.

Необходимые переключения силовых и управляющих цепей преобразователя обеспечиваются ПЛК.

Модернизация крановых электроприводов

Третий вариант является наиболее дорогостоящим и предусматривает полную замену электрооборудования и кабельных трасс.

При этом устанавливаются новые ЭД, как правило, специально спроектированные для работы с ПЧ. Такие двигатели имеют усиленную изоляцию, изолированные подшипники, а также датчики скорости, встроенные тормоза, датчики температуры и т. д.

Управление ЭП и защита такого крана осуществляется от ПЛК, который связан со всеми устройствами (ПЧ, командоаппаратами, концевыми выключателями и датчиками) посредством коммуникационной шины. Зачастую такие краны являются составными элементами автоматизированного производства и управляются от системы верхнего уровня.

Такой модернизации целесообразно подвергать интенсивно работающие перегрузочные и технологические краны.

Экономический эффект достигается благодаря повышению производительности, увеличению ресурса механического оборудования и экономии электроэнергии.

Дополнительные функции, которые реализует ПЧ:

- **Функция подъёма с повышенной скоростью** необходима для кранов с большой высотой подъёма (башенные и некоторые мостовые краны). В этом случае максимальная скорость подъёма и опускания определяется автоматически в зависимости от массы груза. При этом лёгкие грузы и пустой крюк перемещаются с большей скоростью, чем грузы, близкие к номинальному.

- **Функция управления тормозом** предназначена для выдачи сигнала на открытие тормоза (по достижении двигателем необходимого момента) и сигнала на наложение тормоза (при снижении скорости до минимального уровня). Существуют разновидности функции для механизмов подъёма и горизонтального перемещения груза. Для корректировки тока снятия тормоза в зависимости от веса груза может использоваться функция весоизмерения, при этом задействуется внешний датчик массы груза (например из состава ограничителя грузоподъёмности).

Модернизация крановых электроприводов

- **Время пуска и торможения** для крановых механизмов обычно не превышает 6 с. В процессе разгона и/или торможения ЭП возможно изменение времени пуска и торможения внешним сигналом или по достижении определённой выходной частоты преобразователя. Профили кривых пуска и торможения позволяют выбрать наиболее подходящий для конкретного механизма закон изменения скорости.

- **Функция позиционирования по конечным выключателям** позволяет подключать контакты последних непосредственно к логическим входам преобразователя. Концевые выключатели могут использоваться для предварительного снижения скорости и остановки.

- **Ограничение момента ЭД** при векторном управлении позволяет формировать механическую характеристику «экскаваторного типа». Момент может находиться в пределах $\approx 0-220\%$ от номинального момента электродвигателя, причём для двигательного и генераторного режима работы ограничение момента может задаваться индивидуально.

- **Для торможения ЭП** может быть использован тормозной резистор или блок рекуперации. В ЭП механизмов подъёма и передвижения при низкой и средней интенсивности работы целесообразнее использовать тормозной резистор. Для ЭП средней и большой мощности интенсивного режима работы может быть экономически целесообразен возврат энергии торможения в питающую сеть при помощи устройства рекуперации. Если на кране имеются несколько частотно-регулируемых ЭП, они могут быть объединены по цепям постоянного тока и питаться от общего блока торможения/рекуперации.

- **Функция ограничения перенапряжения на зажимах ЭД** целесообразна при использовании установленных до модернизации ЭД, особенно в тех случаях, когда длина кабеля между ПЧ и двигателем достаточно велика.

- **Функция мультидвигателя** может применяться при поочерёдном питании двух или трёх ЭП крана с различными двигателями от одного ПЧ. При этом для каждого двигателя программируются свои уставки защиты и настройки регуляторов, а переключение осуществляется при остановленном двигателе.

Модернизация крановых электроприводов

Мультиконфигурация применяется в случае, когда для одного ЭП необходимо иметь две или три настроечные конфигурации, например для режима управления башенным краном из кабины или с монтажного пульта. Переключение также осуществляется при остановленном двигателе.

Сменный комплект параметров применяется для изменения режима работающего ЭП. Количество параметров может достигать трёх комплектов.

ЭП может управляться разными способами. Наиболее простым считается управление при помощи логических входов. Соединяя тот или иной логический вход с положительным или отрицательным потенциалом встроенного или внешнего источника питания, можно осуществлять пуск, реверсирование, переключение заданных уставок скорости, изменение времени пуска и торможения, переключение комплектов параметров и т. д. При необходимости бесступенчатого регулирования скорости задавать последнюю можно с помощью аналогового входа.

Управление ЭП от системы управления верхнего уровня (программируемого контроллера) осуществляется по протоколу стандартному промышленному протоколу (Profibus, Modbus, CANopen и т.д.) встроенные порты.

Преобразователь имеет развитую систему диагностики с выдачей сообщений об ошибках и сбоях на графический терминал.

Электроснабжение кранов

1. ЭП кранов в соответствии с ПУЭ относятся к категории потребителей не ниже второй, для которой допускается перерыв в электроснабжении только на время переключения питания с основной сети на резервную. Ряд кранов: литейные, для перегрузки взрывоопасных, ядовитых, радиоактивных грузов и некоторые другие, относятся к приемникам первой категории и должны обеспечиваться питанием от двух независимых источников, и перерыв электроснабжения может быть только на время автоматического переключения на резервное питание.

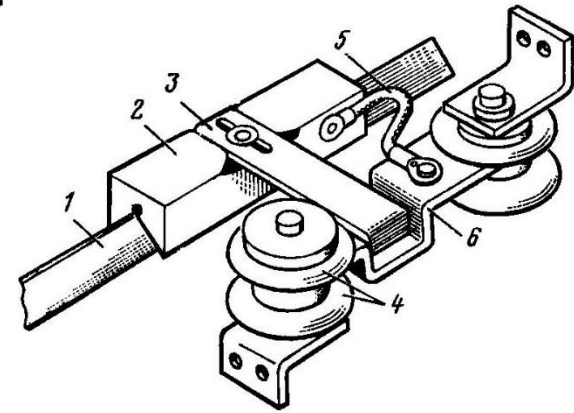
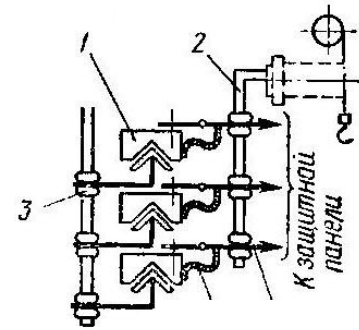
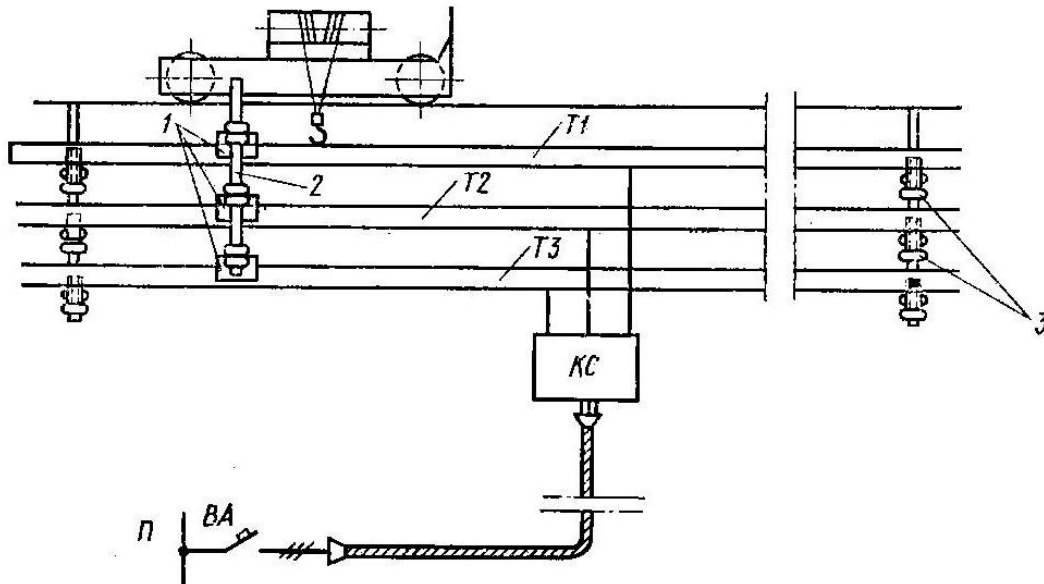
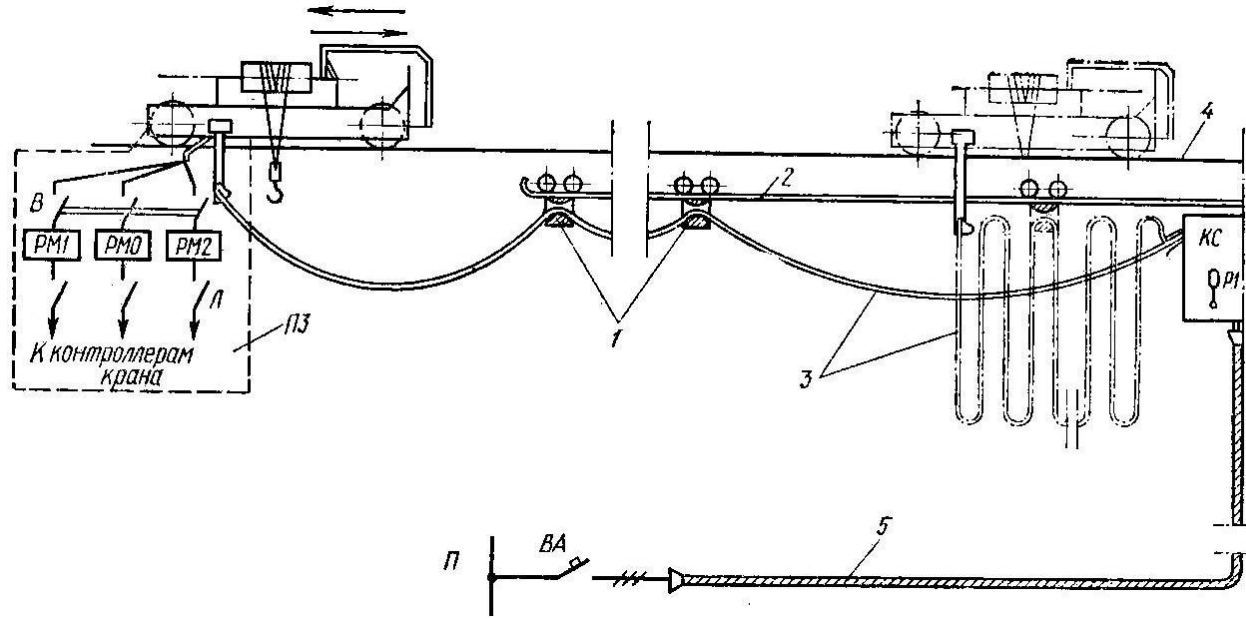
2. Крановые ЭП получают питание от трехфазных сетей переменного тока завода либо от специальных единых общезаводских сетей постоянного тока. Основным является напряжение 380 В и в перспективе для крупных кранов 660 В переменного тока частотой 60 Гц и 220 В постоянного тока.

3. Электроснабжение подъемных механизмов осуществляется с помощью троллеев или посредством гибкого кабеля. Гибкий кабель используется только в особых случаях, когда недопустима установка троллеев (например взрывоопасные помещения и др.), когда троллеи не могут быть размещены когда подъемные механизмы используются крайне редко. В остальных случаях используются троллеи, которые выполняются обычно из стальных профилей (уголка, двутавра, швеллера, квадрата) и помещаются на спецконструкциях с помощью изоляторов и держателей.

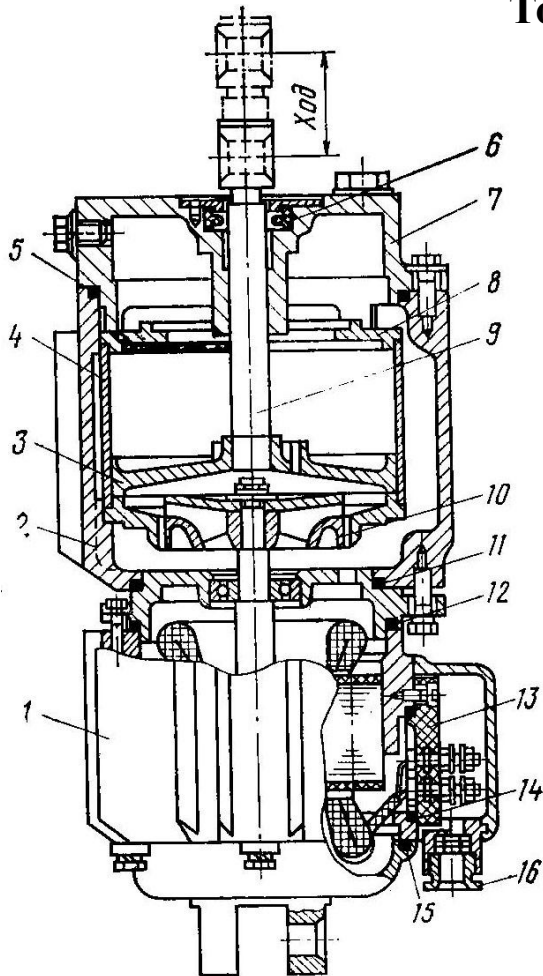
4. Расстояние от главных троллеев до уровня земли 3,5 м и при $U_{ф}=660В$, а в проезжей части не менее 6 м. Уменьшение указанных расстояний допускается при условии ограждения троллеев. Главные троллеи жесткого типа должны быть окрашены в красный цвет за исключением контактных поверхностей. В местах подвода питания участки троллеев длиной 100 мм. окрашиваются в следующие цвета при переменном токе: фаза А - в желтый; фаза В - в зеленый; фаза С - в красный; при постоянном токе: положительная шина - в красный; отрицательная шина - в синий; нейтральная - в белый цвет. Главные троллеи должны быть снабжены световой сигнализацией о наличии напряжения. Для съема тока с троллеев служат токосъемники, устанавливаемые на мосту.

5. Расчет и выбор контактных проводов, питающих ЭД крановых установок сводится к выбору площади сечения уголковой стали троллеев. Осуществляется по допустимому току нагрузки с последующей проверкой на допустимую потерю напряжения.

Электроснабжение кранов



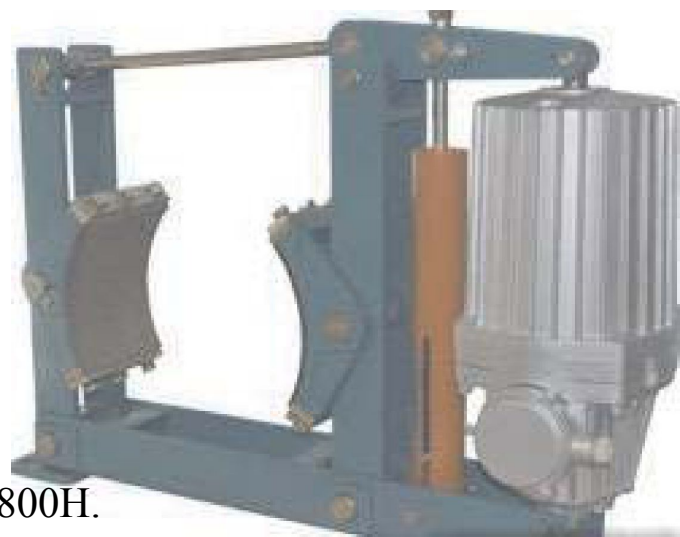
Тормозные гидротолкатели и электромагниты



В качестве привода тормозов применяют электрогидротолкатели и тормозные клапанные электромагниты однофазного тока. Электрогидравлический толкатель состоит из ЭД 1, погруженного в рабочую жидкость, корпуса 2 толкателя, центробежного насоса 10, закрепленного на валу ЭД, поршня 3 со штоком 9, цилиндра 4, промежуточной крышки 8 и верхней крышки 7 с резиновым армированным уплотнением штока 6. Для уплотнения корпусных деталей служат маслостойкие резиновые кольца 5, 11, 12, 14, 15. Концы обмоток ЭД выведены на панель зажимов 13. Кабель крепится при помощи штуцера 16. Колесо насоса 10 имеет прямые радиальные лопатки, которые независимо от направления вращения колеса обеспечивают нормальную работу толкателя. При включении ЭД центробежное колесо нагнетает масло под поршень. Создается избыточное давление, которое поднимает поршень со штоком до верхнего положения. Рабочая жидкость, находящаяся над поршнем, выталкивается через каналы в корпусе к нижней части центробежного колеса. Поршень остается в верхнем положении все время пока работает насос.

При выключении ЭД центробежное колесо останавливается, поршень со штоком опускается в нижнее положение, выжимая рабочую жидкость в полость над поршнем. Электрогидротолкатель допускает до 720 включений в час.

Мощность двигателя – 0,15 - 0,2 кВт, частота вращения – 2850 об/мин, ПВ-100%, ход штока 25-50 мм, рабочее усилие – 160-800Н.

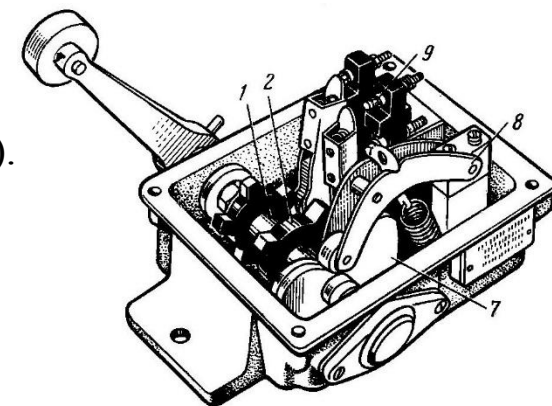


Тормозные гидротолкатели и электромагниты

Однофазные электромагниты состоят из ярма с катушкой и якоря, закрепленного в щеках, которые имеют возможность поворачиваться вокруг неподвижной оси. На якоре во избежание гудения установлен короткозамкнутый виток. Рабочий ход этих магнитов составляет 2-3 мм. Электромагниты рассчитаны на 200-300 включений в час, нормальная их работа обеспечивается при колебании напряжения в пределах 85- 110%. Недостатком тормозных магнитов переменного тока является то, что их катушки не могут выдерживать большой ток включения в течение длительного времени. В результате этого при заклинивании или плохой регулировке хода якоря катушки перегорают. Поэтому в основном применяются электрогидравлические тормоза.

Конечные выключатели

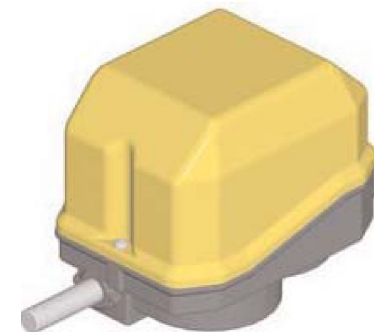
На кранах широко применяются конечные выключатели (концевые). Контактный конечный выключатель обеспечивает различные схемы замыкания контакторов (размыкающие и замыкающие). Механизм рычажного выключателя имеет снаружи один рычаг, на который и воздействуют опоры, установленные в крайних положениях на пути следования перемещающегося механизма.



Рычажный выключатель



Бесконтактные (оптические, ультразвуковые и индуктивные) датчики расстояния



Контактный датчик расстояния

Пускорегулирующие резисторы. Конструкция

Пускорегулирующие резисторы (блоки резисторов) включаются в цепь ротора электродвигателя. Они предназначены для плавного пуска, регулирования скорости и торможения электродвигателей постоянного и переменного тока, работающих в электроприводах грузоподъемных кранов.



Для кранового электропривода выпускаются следующие типы блоков резисторов:

Б6 - элемент (резистор) фехральный (лента Х15Ю5), количество - до 6 шт;

БК12 - элемент (резистор) константовый (проволока МНМц 40-1,5), количество - до 12 шт;

БФК - элемент (резистор) фехралево-константовый.

БРФ - элемент (резистор) фехральный (лента) - аналог блока резисторов Б6;

БРП - элемент (резистор) фехральный (проволока) - аналог блока резисторов БК12;

БРПФ - элемент (резистор) фехральный - аналог блока резисторов БФК.

ЯС-3 - элемент (резистор) константовый (проволока). Резисторы соединяются попарно;

ЯС-4 - элемент (резистор) константовый (проволока). Схема соединения резисторов - различна.

Пускорегулирующие резисторы изготавливают в виде блоков (иногда их называют: ящики сопротивлений), собранных из отдельных элементов.

Блок представляет собой конструкцию открытого исполнения, состоящую из двух стальных пластин-боковин, соединенных двумя шпильками (БРФ, БРП, БРПФ, ЯС-3, ЯС-4).



Литература:

1. Проектирование электроприводов крановых механизмов. Техническая тетрадь №7/ Schneider Electric.
2. Методика по силовому расчету частотно-регулируемых электроприводов крановых механизмов: Техническая тетрадь №7/ Schneider Electric, 2007.
3. Яуре А.Г., Певзнер Е.М. Крановый электропривод: Справочник. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 344с.
4. Рапутов Б.М. Электрооборудование кранов металлургических предприятий М.: Металлургия, 1990 - 272с.
5. Дубовский К.Н. Электрооборудование мостовых кранов. – М.: Энергия, 1980. 112с.
6. Толочко О.И., Бажутин Д.В. Сравнительный анализ методов гашения колебаний груза, подвешенного к механизму поступательного движения мостового крана / Міжвідомчий науково-технічний журнал «Електромашинобудування та електрообладнання» №75 – Київ: «Техніка», 2010. – С.22-28.
7. Смиритинский Б.В. Автоматизированный электропривод типовых промышленных механизмов, Харьков, ХГПУ. 1998, - 380с.
8. Герасимьяк Р.П. Электроприводы и системы управления крановых механизмов / Р.П. Герасимьяк, В.В. Бушер, А.Г. Калинин. – Одесса. Издательство ОНПУ, 2013. 194 с.