С С С Р

РУКОВОДЯЩИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ

КРАНЫ ГРУЗОПОДЪЁМНЫЕ

МЕТОДИКА РАСЧЕТА И ВЫБОРА

ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

РТМ 24.090.81-85

Издание официальное

gost.e-ecolog.ru

С С С Р

РУКОВОДЯЩИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ



КРАНЫ ГРУЗОПОДЪЕМНЫЕ

Методика расчета и выбора электрооборудования

РТМ 24.090.81-85

Издание официальное

УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ указанием
Министерства тяжелого и транспортного
машиностроения

от 26 сентября 1985г № ВА-002/10772

ИСПОЛНИТЕЛИ А.Г. Яуре (руководитель темы),
З.Е. Шафиров, канд.техн.наук,
И.Г. Быкова, В.В. Бирюков

СОГЛАСОВАН
Письмом 35-56М-80
от II.03.85г.

Всесоюзным научно-исследовательским институтом автоматизированного электропривода Минэлектротехпрома

Главный инженер
Скиба Л.И.

УДК

Группа Г 86

РУКОВОДЯЩИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ

КРАНЫ ГРУЗОПОДЪЕМНЫЕ.

Методика расчета и выбора электрооборудования

РТМ 24.090.81-85

Взамен РТМ 24.090.47-79

Указанием Министерства тяжелого и транспортного машиностроения от 26.09.85 № ВА-002/10772

Срок действия установлен
с 01.07.86
до 01.07.91

Настоящий руководящий технический материал устанавливает основные положения расчета и выбора параметров электрооборудования кранов всех типов.

РТМ распространяется на электрооборудование кранов, предназначенных для эксплуатации в климатическом исполнении У, ХЛ, Т категорий размещения 1, 2 и 3 по ГОСТ 15150-69 и высоты над уровнем моря не более 1000м.

Для электрооборудования, предназначенного для эксплуатации в условиях, отличительных от вышеуказанных, дополнительные рекомендации приведены в справочном приложении.

Настоящий руководящий технический материал не распространяется на электрооборудование грузоподъемных машин специального назначения, например, судовые краны, башенные строительные и самоходные стреловые краны, краны-штабелеры.

Руководящий технический материал обязателен для предприятий и организаций Минтяжмаша.

Издание официальное

Перепечатка воспрещена

I. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

I.I. Условия эксплуатации электрооборудования на кранах характеризуются следующими параметрами: циклом работы, продолжительностью включения, коэффициентом использования, числом включений.

I.I.I. Цикл работы крана.

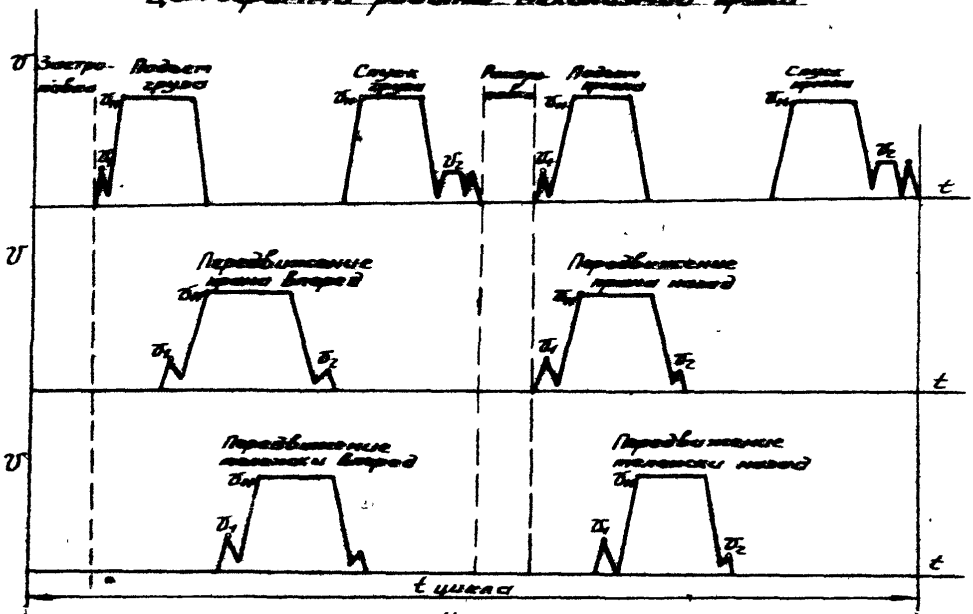
Режим работы крана циклический согласно ГОСТ 25546-82. Цикл работы крана состоит из перемещения груза по заданной траектории и возврат к исходному положению для нового цикла. Число циклов работы крана в час входит в понятие производительности крана. В цикле работы крана время работы механизма $t_р$ чередуется с временем пауз $t_{пауз}$ этого механизма, когда включен другой механизм или происходит застроповка (расстроповка) груза.

Максимальная продолжительность цикла работы механизма $t_р + t_{пауз}$, нормированная ГОСТ 183-74, составляет 600с. При продолжительности цикла работы более 600с он условно разделяется на законченные составные части, например, движение в одном направлении и паузу после него общей продолжительностью не более 600с. Условная тахограмма цикла работы крана приведена на черт. I

Краны могут иметь четко выраженную циклическую работу, например, перегрузочные краны штучных грузов, грейферные краны навалочных грузов, технологические краны в металлургии, у которых повторяющиеся циклы работы идентичны. Значительное число кранов универсального назначения не имеют многократно повторяемых однотипных циклов. Краны машиностроительных производств, монтажные краны и т.п., у которых циклы работы постоянно меняются как по продолжительности, так и по составу последовательно используемых механизмов, относятся к машинам с условно циклической работой.

I.I.2. Режим работы приводного электродвигателя любого механизма крана характеризуется относительной продолжительностью вклю-

Циклограмма работы механизмов крана



Черт. 1

чения ПВ% (ГОСТ 183-74).

Для кранов с четко выраженной цикличностью расчетная относительная продолжительность включения механизма ε_p определяется по формуле:

$$\varepsilon_p = ПВ = \left(1 - \xi\, t_{пауз}/3600\right) 100\% \qquad (I.1.)$$

где: ξ - число циклов работы крана в час.

Для кранов с условно циклической работой расчетная относительная продолжительность включения механизма ε_p определяется по формуле:

$$\varepsilon_p = ПВ = \frac{\sum t_p}{\sum t_p + \sum t_{пауз}} 100\% \qquad (I.2.)$$

где: $\sum t_p$ - суммарное время работы механизма (с) за период времени 600с;

$\sum t_{пауз}$ суммарное время пауз (с) за период времени 600с.

I.I.3. Правилами Госгортехнадзора установлено понятие коэффициента использования крана по грузоподъемности:

$$K_{гр} = \frac{Q_{ср}}{Q_{ном}} \qquad (I.3.)$$

где: $Q_{ср}$ - среднее значение величины поднимаемого груза за смену;

$Q_{ном}$ номинальная грузоподъемность.

Производительность крана определяется по формуле:

$$\Omega = \frac{K_{гр}\, \xi\, Q_{ном}}{1000}, \qquad (I.4.)$$

В свою очередь число циклов работы крана в час ξ имеет сложную зависимость от пути траектории движения груза, средней скорости перемещения груза и времени паузы за цикл.

I.I.4. За цикл работы крана происходит определенное количество включений механизмов, в число которых входят как минимально необходимое число пусков до наибольшей скорости движения и такое же количество торможений, так и некоторое дополнительное количество включений (толчков). Согласно типовой тахограмме цикла крана, представленной на черт. I, в число включений передвижения входят в среднем 2 разгона до наибольшей скорости $\mathcal{V}_н$ = I; 2 разгона до промежуточной скорости $\mathcal{V}_{п1}$ = 0,3 и 2 разгона до малой скорости $\mathcal{V}_{п2}$ = 0,I5, что соответствует двум рабочим направлениям движения, двум включениям для гашения раскачки груза и двум включениям для корректировки точности остановки, итого 6 включений за цикл работы механизма. В число включений подъема входят в среднем 4 разгона до наибольшей скорости $\mathcal{V}_н$ = I; 2 разгона до промежуточной скорости $\mathcal{V}_{п1}$ = 0,3 для выбирания слабины каната, 4 разгона до малой скорости $\mathcal{V}_{п2}$ = 0,I5 для обеспечения точной остановки груза или захвата, итого I0 включений за цикл. Приведение количества включений за цикл к числу пусков в час до наибольшей скорости производится по формуле:

$$K_{вкл} = \frac{\mathcal{Z}_1 + \mathcal{Z}_2\left[\mathcal{V}_н^2 - (1-\mathcal{V}_{п1})^2\right] + \mathcal{Z}_3\left[\mathcal{V}_н^2 - (1-\mathcal{V}_{п2})^2\right]}{\mathcal{Z}_1 + \mathcal{Z}_2 + \mathcal{Z}_3} \qquad (I.5.)$$

где: $\mathcal{Z}_1$, $\mathcal{Z}_2$, $\mathcal{Z}_3$ – число включений за цикл соответственно для наибольшей промежуточной и малой скоростей.

Для всех механизмов крана при усредненной типовой тахограмме Квкл $\simeq$ 0,6, при других тахограммах Квкл рассчитывается по формуле (I.5.).

Правилами Госгортехнадзора установлено число включений в час N механизмов кранов с различной интенсивностью использования (среднее за смену).

Расчетное число пусков в час до наибольшей скорости будет равно:

$$N_p = N\,K_{вкл} \qquad (I.6.)$$

Для кранов с усредненной тахограммой движения согласно черт. I

$$N_p \simeq 0{,}6\,N$$

I.2. Классификация кранов, механизмов и электрооборудования по режимам работы.

I.2.I. Группа режима работы крана в зависимости от класса использования и класса нагружения определяется по ГОСТ 25546-82.

По группе режима работы крана устанавливается группа режима работы механизма.

I.2.2. Группа режима работы механизмов кранов устанавливается по ГОСТ 25835-83. В приложении 3 табл. 5 приведены сравнительные сопоставимые данные групп режимов работы механизмов по ГОСТ 25835-83 с Европейской классификацией режимов FEM 9.681 и FEM 9.682 (секция I Европейской федерации по подъемно-транспортному оборудованию).

I.2.3. Классификация электрооборудования по условиям использования в составе механизмов на кранах приведена в Правилах устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов, утвержденных Госгортехнадзором СССР.

Классификационные данные электрооборудования приведены в табл. I и являются исходными условиями расчета и выбора электрооборудования.

I.2.4. Среднесуточное время работы (движения) электропривода определяют по табл. 2

W_g – сопротивление передвижению от ветровой нагрузки в рабочем состоянии по ГОСТ 1451-77 – Н;

$D_к$ – диаметр ходового колеса, м;

U – передаточное число механизма;

η – КПД механизма;

$\sum J_{общ}$ – суммарный момент инерции поступательно движущихся и вращающихся частей, приведенный к валу электродвигателя, кг м^2;

$J_{дв}$ – момент инерции ротора электродвигателя, кг м^2;

α – отношение числа приводных колес к общему числу колес;

$m_к$ – число приводных колес (механизмов);

$a_р$ – расчетное ускорение механизма (для выбора электродвигателя) м/с^2;

$a_э$ – эксплуатационное ускорение механизма (для выбора пусковых моментов), м/с^2;

$a_{дсп}$ – максимальное ускорение механизма, допускаемое по условиям сцепления, м/с^2;

$v_г$ – скорость горизонтального передвижения моста (тележки), м/с

$P_р$ – расчетное значение мощности выбираемого электродвигателя, квт;

$t_{раз.}$ – время разгона от скорости, равной нулю до номинальной скорости, с;

φ – коэффициент трения.

$\varphi = 0{,}2$ – в помещении; колеса по сухим рельсам;

$\varphi = 0{,}12$ – на открытом воздухе; колеса по мокрым рельсам;

Кзс – коэффициент запаса сцепления принимается равным:

для кранов взрывобезопасного исполнения Кзс = 0,7

для остальных кранов Кзс = 1;

Рст – мощность установившегося движения, квт передвижения, подъема;

Рн – номинальная мощность электродвигателя по каталогу, квт, при номинальной относительной продолжительности включения Ео = 40% ПВ;

Рсц – Мощность на валу электродвигателя, на границе нарушения сцепления при скорости $v_г$;

$M_{ст}$ – момент статических сопротивлений, приведенный к валу электродвигателя, Нм;

$M_р$ – момент на валу электродвигателя, соответствующий Рр, Нм;

$M_н$ – номинальный момент на валу электродвигателя, соответствующий Рн, Нм;

$M_п$ – пусковой момент электродвигателя, Нм;

$M_{рп}$ – расчетное значение пускового момента электродвигателя, Нм;

$n_р$ – частота вращения электродвигателя, соответствующая мощности Рр, об/мин;

$S_н$ – скольжение ротора электродвигателя, соответствующее номинальной мощности Рн, в относительных единицах;

$D_ш$ – диаметр тормозного шкива, м;

$N_{тр}$ – заданное число торможений в час;

ΔS – заданный выбег при торможении, м;

$M_{тр}$ – Расчетный тормозной момент тормоза Нм;

$F_{ст}$ – тяговое усилие на барабане механизма подъема (стрелы) Н;

$m_п$ – число механизмов, поднимающих груз;

$v_п$ – номинальная скорость подъема груза, м/с;

$D_б$ – диаметр грузового барабана, м;

$U_п$ – передаточное число полиспаста подвески;

$F_{ср}$ – среднее за цикл тяговое усилие в канате механизма изменения вылета стрелы, Н;

H – средняя высота подъема, м;

$P_т$ – мощность питающего трансформатора, кВА;

$D_р$ – заданный диапазон регулирования скорости;

δ – точность остановки механизма, мм;

$I_{кз}$ – ток короткого замыкания на вводе крана, А;

$U_н$ – номинальное напряжение сети, В;

$v_{пос}$ – наибольшая допустимая скорость посадки груза, м/с;

$I_у$ – ток статора электродвигателя, соответствующий расчетной мощности Рр, А;

$\cos\varphi$ – коэффициент мощности, соответствующий Рр.

ε_0 – номинальная относительная продолжительность включения (по ТУ) % ПВ

2. РАСЧЕТ И ВЫБОР ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ И ТОРМОЗОВ К МЕХАНИЗМУ ПЕРЕДВИЖЕНИЯ КРАНА (ТЕЛЕЖКИ)

2.I. Общие положения.

2.I.I. Условиями правильного выбора электродвигателя для механизмов передвижения являются:

достаточный пусковой момент для начала движения и ускорения заданной величины при наиболее неблагоприятных противодействующих факторах;

обеспечение работы по заданной циклограмме в соответствующем классификационном режиме, без недопустимых превышений температуры;

исключение нарушения сцепления колес с рельсами при любой нагрузке на крюке, как и в условиях пуска, так и при электрическом торможении, а также плавный разгон и торможение

2.I.2. Для механизмов передвижения кранов, эксплуатирующихся в помещении, рекомендуется применение электроприводов с сочетанием скоростных параметров, согласно данным табл. 3.

Таблица 3

Рекомендуемый скорости для помещения

Характеристика электропривода	Наименование механизма	Скорость м/с. Условия эксплуатации: Взрывобезопасные всех грузоподъемностей режимных групп IM-3M	Управляемые с пола всех грузоподъемностей IM-3M	Управляемые из кабины, групп режимов 3M: до 20т	3M: свыше 20т	4M: до 20т	4M: свыше 20т до 50т	5M: всех грузоподъемностей	6M: всех грузоподъемностей
I	2	3	4	5	6	7	8	9	IO
Короткозамкнутые электродвигатели односкоростные без регулирования пускового момента	Крана	до 0,7	до 0,6	–	–	–	–	–	–
	тележки	до 0,2	до 0,3	–	–	–	–	–	–

I		2	3	4	5	6	7	8	9	I0
Короткозамкнутые электродвигатели с регулированием пускового момента	односкоростные	крана	-	до 0,8	доI,0	до0,8	до0,7	до0,5	-	-
		тележки	-	до 0,5	до0,8	до0,8	до0,7	до0,5	-	-
	двухскоростные	крана	-	до 0,8	доI,I	доI,0	до0,9	до0,6	-	-
		тележки	-	до 0,5	до0,8	до0,8	до0,8	до0,7	до0,6	-
Электродвигатель с фазным ротором или постоянного тока с регулированием пускового момента		крана	-	-	-	-	св. 0,9	св. 0,6	Для всех скоростей	
		тележки	-	-	-	-	св. 0,8	св. 0,7	св. 0,6	Для всех скоростей

Для механизмов передвижения кранов, эксплуатирующихся на открытом воздухе, рекомендуется применение электроприводов с сочетанием скоростных параметров, согласно данным табл. 4.

Таблица 4

Рекомендуемые скорости для открытого воздуха

Характеристика электропривода	Наименование механизма	Скорость м/с. Условия эксплуатации: Вспомогательных всех групп режимов	Управляемые с пола всех грузоподъемностей групп режимов	Управляемые из кабины всех грузоподъемностей групп режимов		
		грузоподъемностей групп режимов ПМ-3М	грузоподъемностей групп режимов ПМ-3М	3М	4М	5М
I	2	3	4	5	6	7
Короткозамкнутые односкоростные электродвигатели без регулирования пускового момента	крана	до 0,3	до 0,5	-	-	-
	тележки	-	до 0,2	-	-	-

1		2	3	4	5	6	7
Короткозамкнутые электродвигатели с регулированием пускового момента	односкоростные	крана	-	до 0,8	до 0,8	до 0,6	-
		тележки	-	до 0,5	до 0,7	до 0,5	-
	двухскоростные	крана	-	до 0,8	до 1,0	до 0,8	-
		тележки	-	до 0,5	до 0,7	до 0,5	-
Электродвигатель с фазным ротором или постоянного тока с регулированием пускового момента		крана	-	-	св.0,8	св.0,7	Для всех скоростей
		тележки	-	-	св.0,7	св.0,5	Для всех скоростей

2.1.3. Номинальная частота вращения приводных электродвигателей выбирается с учетом следующих рекомендаций:

для односкоростных короткозамкнутых электродвигателей, синхронная частота вращения должна приниматься 1000 об/мин;

для двухскоростных короткозамкнутых электродвигателей синхронная частота вращения наибольшей скорости должна приниматься 1500 об/мин;

для асинхронных электродвигателей с фазным ротором мощностью до 40 квт синхронная частота вращения должна быть 1000 об/мин, при мощности свыше 40 квт синхронная частота вращения 600-1000 об/мин - в зависимости от возможности выбора нужного передаточного числа редуктора;

для электродвигателей постоянного тока быстроходные исполнения.

2.1.4. Величина расчетного ускорения механизмов при применении электродвигателей с фазным ротором или электродвигателей постоянного тока кранов, работающих в помещении, определяется

$$a_p = \frac{v_г}{4 \div 6}$$

Исходя из того, что максимально допустимое для электродвигателя с фазным ротором время разгона не должно быть больше 6с (предпочтительное время разгона 4с).

Оптимальное значение расчетного ускорения механизма $a_p = 0,3 м/с^2$. Расчетная величина ускорения ниже $0,2 м/с^2$ не рекомендуется. Величина расчетного ускорения механизма при применении электродвигателей с фазным ротором кранов, работающих на открытом воздухе, должна составлять при $\alpha = 0,5$ $a_p = 0,2 м/с^2$, при $\alpha = 1$ $a_p = 0,35 \div 0,45 м/с^2$.

2.I.5. Выбор величины расчетного ускорения механизма для определения расчетной мощности короткозамкнутого электродвигателя осуществляется для заданной величины скорости перемещения и необходимой частоты пусков в час в зависимости от группы режима работы механизма. Расчетное число пусков до конечной скорости и торможений способом противовключения односкоростных короткозамкнутых электродвигателей определяется по формуле:

$$N_{pk} = K^2_{vkl} N \qquad (2.7.)$$

где N определяется по таблице I. Расчетное число пусков до конечной скорости и торможений на малой скорости двухскоростных короткозамкнутых электродвигателей N_p определяется по формуле (I.6.).

В таблице 5 приведены значения расчетных ускорений механизмов и допустимого числа пусков и торможений способом противовключения короткозамкнутых электродвигателей серии МТКF , МТКН на кранах, работающих в помещении.

В таблице 6 приведены значения расчетных ускорений механизмов и допустимого числа пусков и торможений способом противовключения короткозамкнутых электродвигателей серии 4АС на кранах, работающих в помещении.

В таблице 7 приведены значения расчетных ускорений механизмов и допустимого числа пусков двухскоростных электродвигателей серии 4А на кранах, работающих в помещении.

При заданной скорости передвижения $v_г$ по таблицам 5, 6, 7 устанавливается минимально допустимое значение расчетного ускорения $a_р$, для которого допустимое число пусков и торможений не ниже установленного по формулам (I.6.; 2.7.). Границы групп режимов работы механизмов на таблицах обозначены утолщенными линиями. Фактическое эксплуатационное ускорение $a_э$ должно быть меньше $a_р$

Обоснование расчетных данных таблиц 5, 6 и 7 приведено в приложении 3.

Таблица 5

Допустимое число пусков крановых электродвигателей

Расчетное ускорение $a_р$, м/с²	Допустимое число пусков в час и торможений противовключением при наибольшей скорости $v_г$, м/с							
	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	I,0	I,I	I,2
	Группа режима 4М (С) 25% ПВ		I5-25% ПВ группа режима 3М (С)					
0,2	5I	42,5	–	–	–	–	–	–
0,3	72	60	5I	45	40	–	–	–
0,4	84	78	67	58	52	47	43	39
0,5	I06	88	85	74	66	59	54	49
0,6	I2I	I00	86	73	76	68	62	57
	Группа режима 5М (Т) 40% ПВ		Группа режима 4М (С) 25% ПВ					

Таблица 6

Допустимое число пусков электродвигателей 4АС

Расчетное ускорение $a_р$, м/с²	Допустимое число пусков в час и торможений противовключением при наибольшей скорости $v_г$, м/с							
	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	I,0	I,I	I,2
	Группа режима 2М I5-25% ПВ							
0,2	32	27	–	–	–	–	–	–
0,3	45	37,5	32	28	25	–	–	–
0,4	59	49	42	37	32	29	27	24
0,5	73	6I	52	45	40	36	33	30
0,6	85	7I	6I	53	47	42	39	35
	Группа режима 5М 40% ПВ	Группа режима 4М 25% ПВ				Группа режима 3М I5-25% ПВ		

Таблица 7

Допустимое число пусков двухскоростных электродвигателей

Расчетное ускорение $a_р$, м/с²	Допустимое число пусков в час $N_р$ и торможений на малой скорости при наибольшей скорости $v_г$, м/с							
	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	I,0	I,I	I,2
	Группа режима 3М (С)			Группа режима 2М (Л)				
0,2	67	56	–	–	–	–	–	–
0,3	80	76	58	52	50	–	–	–
0,4	II4	94	82	72	63	57	52	48
0,5	I36	II4	99	86	76	69	62	58
0,6	I60	I34	II6	I02	90	80	73	67
	Группа режима 5М (Т)		Группа режима 4М (С)					Группа режима 3М (С)

2.2. Предварительный выбор электродвигателей по условиям пуска с расчетным ускорением $a_р$:

2.2.I. Выбор электродвигателей для механизмов передвижения тележек и кранов групп режимов работы IM–5M осуществляется по расчетной мощности Pр, величина которой должна быть не ниже номинальной мощности выбираемого электродвигателя переменного тока при $\varepsilon_о$ = 40% ПВ и электродвигатели постоянного тока при $\varepsilon_о$ = 25% ПВ.

Расчетная мощность определяется по формулам:

$$P_р = \frac{0{,}66(Q+G+q)\cdot v_г\, a_р}{1000\, m_к\, \eta} + \frac{P_{ст}}{1{,}75\,\eta} \qquad (2.8.)$$

$$P_{ст} = \frac{W_н\, v_г}{1000\, m_к\, \eta} \qquad (2.9.)$$

Вывод формулы 2.8. дан в приложении 3.

В сопротивлении передвижению $W_н$ учитывается 70% сопротивления ветровой нагрузке, если она есть. Для механизмов тележек расчетная величина груза Q принимается равной 70% номинальной грузоподъемности крана.

Для большинства мостовых кранов, эксплуатирующихся в помещении: Принято, что сопротивление движению в ньютонах численно равно I/IO. суммарной перемещаемой массы в кг.

Для мостовых кранов, эксплуатирующихся на открытом воздухе при 70% сопротивления ветровой нагрузки: Принято, что сопротивление движению в ньютонах численно равно I/4 суммарной перемещаемой массы в кг.

Выбираемый электродвигатель должен иметь частоту вращения в соответствии с рекомендациями п. 2.I.3.

2.2.2. По условиям тепловой нагрузки частей обмотки при пуске короткозамкнутый электродвигатель должен иметь время разгона не выше 3с, т.к. скорость роста температуры обмотки при пуске может доходить до 8°С. С учетом этих условий его расчетная мощность определяется по формуле (2.8.) при величине расчетного ускорения согласно таблицам 5, 6, 7, но не менее $\frac{v_г}{3}$ м/с^2.

Короткозамкнутый электродвигатель, выбранный по данным каталога и расчетной мощности, необходимо проверить по расчетному пусковому моменту при номинальной грузоподъемности.

Расчетный пусковой момент электродвигателя должен удовлетворять равенству:

$$М_{рп} = 2,I\ М_{ст}$$

где коэффициент 2,I позволяет обеспечить заданное ускорение механизма $a_р$. Электродвигатели 4АС общего назначения в диапазоне мощностей I–I0 кВт имеют плотности пускового тока 40–54 А/мм^2 при изоляции класса "В", т.е. при допустимых перегревах около 80°С. При фактической плотности тока время пребывания в режиме пускового тока допускается не более 7с, т.е. в нормальных условиях при времени пуска 3с электродвигатель допускает два пуска подряд или

один пуск и реверс, что явно недостаточно для обеспечения необходимой тепловой устойчивости. С тем, чтобы электродвигатель имел необходимый тепловой запас при пусках и реверсах, он должен допускать после трех пусков подряд или одного пуска и реверса дальнейшую работу, т.е. его перегрев не должен быть выше 65°С. Это может быть обеспечено при плотности пускового тока 36 А/мм^2 или ниже.

Для приводов тележек устанавливается допустимая плотность пускового тока электродвигателей не более 36 А/мм^2.

Для привода передвижения крана, учитывая более затяжной пуск, устанавливается плотность пускового тока не более 30 А/мм^2, которая достигается включением электродвигателя на напряжение 660В или 500В в сеть 380 В и при этом реализуется необходимая плотность пускового тока.

Пусковой момент электродвигателя общего назначения для привода тележек определяется по формуле:

$$M_п = M_{рп} \left(\frac{j_{qв}}{36} \right)^2 \qquad (2.10.)$$

где: $j_{qв}$ – плотность пускового тока электродвигателя; $M_п$ определяется по каталогу и снижается до величины Мрп с помощью невыключаемого добавочного резистора.

Для приводов передвижения крана Мп $\geqslant$ 3Мрп, пусковой момент снижается до величины Мп = Мрп включением электродвигателя 660В в сеть 380В.

В соответствии с таблицами 4 и 5 при применении короткозамкнутых электродвигателей без регулирования пускового момента для приводов тележек, в том числе взрывобезопасных кранов, при группа режимов работы механизмов не выше 3М скорости передвижения $U_г$ должны быть не выше 0,3 м/с.

Для этих механизмов величина расчетного ускорения $a_р$ при

номинальном грузе должна быть не выше 0,I м/с^2. Тогда при разгоне порожней тележки максимальная величина ускорения будет составлять около 0,7 м/с^2, что является предельно допустимым, а механизм будет находиться на границе сцепления. Величина допустимого ускорения определяется по формуле

$$a_{доп} = \frac{2K_{зс}[\varphi_\alpha g(G+q) \pm W_н] - (G+Q+q)v_г}{I6(G+Q+q)v_г} \qquad (2.II.)$$

$a_р < a_{доп}$ при всех величинах грузов, при этом $v_г$ должна быть не более $3\,a_{доп}$

2.2.3. Выбор электродвигателей механизмов передвижения взрывобезопасных кранов групп режимов работы 2М-3М осуществляется по расчетной мощности Рр, величина которой должна быть не ниже номинальной мощности выбираемого двигателя при $\varepsilon_о$ = 25% ПВ. Величина расчетной мощности определяется по формуле:

$$P_р = \left(\frac{M_н}{M_п}\right)\frac{8\varphi_\alpha(G+q)v_г}{1000\,\eta\,m_к} \qquad (2.I2.)$$

Синхронная частота вращения электродвигателей мощности до I квт - I500 об/мин.

Синхронная частота вращения электродвигателей мощностью свыше I квт - I000 об/мин.

2.2.4. Выбор электродвигателей передвижения быстроходных кранов группы режима работы 6М производится по условиям обеспечения сцепления при пуске, чтобы исключить возможность перегрузки двигателя при сокращении, машинистом крана расчетного, времени пуска.

Для условия $\frac{Q+q}{2} < 0{,}1\,G$ и $t_{пауз} < 20с$

расчетная мощность определяется по формуле:

$$P_р = \frac{G\,v_г\,\alpha\,K_{вкл}}{3\varepsilon\cdot10^3\,\eta\,m_к}\sqrt{\frac{100\,N\,v_г\,\eta}{\varepsilon_о\,\alpha}} \qquad (2.I3.)$$

где: $\mathcal{E}_o$ - относительная продолжительность включения электродвигателя с фазным ротором 60% ПВ и 40% ПВ электродвигателя постоянного тока.

Вывод формулы (2.13.) см. приложение 3.

Величина Рр должна быть не выше номинальной мощности электродвигателя при режиме работы 40% ПВ и частоте вращения 1000-600 об/мин.

2.2.5. Электродвигатель с фазным ротором или постоянного тока для механизмов режимов работы групп 3М-4М, предварительно выбранный по п. 2.2.1 проверяется по условиям сцепления.

Электродвигатель с фазным ротором или постоянного тока режимных групп режимов работы 5М, 6М, предварительно выбранный по п. 2.2.1, проверяется по условиям сцепления и по тепловой нагрузке.

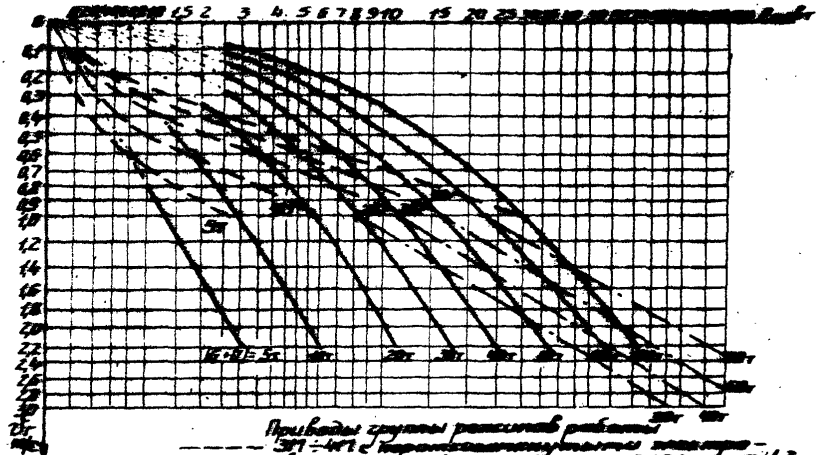
Электродвигатель с фазным ротором или постоянного тока, выбранный по п. 2.2.4 в дальнейшей проверке не нуждается. Электродвигатели мостов взрывобезопасных кранов, предварительно выбранные по п. 2.2.3., проверяются по сцеплению и по пусковым моментам. Электродвигатели тележек проверяются по п. 2.2.2. Короткозамкнутые электродвигатели для механизмов передвижения кранов групп режимов работы 3М-4М, предварительно выбранные по п. 2.2.1., проверяются по сцеплению и пусковому моменту. Электродвигатели тележек проверяются по п. 2.2.2.

Короткозамкнутые электродвигатели для механизмов группы режима работы 5М, предварительно выбранные по п. 2.2.1., проверяются по сцеплению, тепловой нагрузке и пусковым моментам.

2.2.6. На черт. 2 представлена номограмма по определению расчетной мощности электродвигателей передвижения кранов, работающих в помещении.

На черт. 3 предоставлена номограмма по определению расчетной мощности электродвигателей передвижения кранов, работающих на от-

Номограмма выбора мощности электродвигателей механизмов передвижения кранов, работающих в помещении



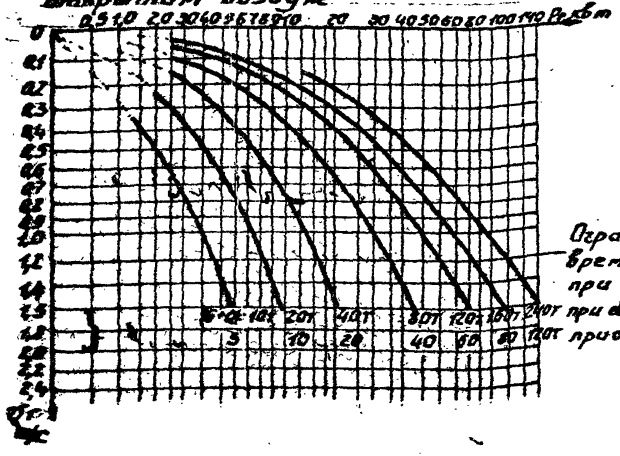
Приводы группы режимов работы 3М÷4М с короткозамкнутыми электродвигателями $t_p = 1{,}2 \div 3{,}8$ с; $a_p = 0{,}12 \div 0{,}55$ м/с²

Приводы - режимов 3М÷5М с электродвигателями с фазным ротором $a_p = 0{,}3$ м/с²

Приводы - режимов 5-6М с максимальными ускорениями по сцеплению при $d = 0{,}5$

Черт. 2

Номограмма выбора мощности электродвигателей механизмов передвижения кранов, работающих на открытом воздухе



Ограничение по времени пуска 6с при $\alpha = 0,5$

при $\alpha = 0,5$ $a_{p\,макс} = 0,2\ м/с^2$

при $\alpha = 1,0$ $a_{p\,макс} = 0,4\ м/с^2$

Черт. 3

крытом воздухе.

2.3. Проверка выбранных электродвигателей по условиям сцепления и пусковому моменту.

2.3.1. Общие условия обеспечения сцепления колес с рельсами механизмов передвижения.

Мощность на валу электродвигателя по условию сцепления проверяется по формуле:

$$P_{сц} = \frac{\varphi \alpha (G+q) v_г}{102 \eta} \qquad (2.14.)$$

Типовые механические характеристики электроприводов передвижения представлены на черт. 4. Механическая характеристика короткозамкнутого электродвигателя без регулирования пускового момента обозначена на чертеже сплошной фигурной линией.

Общие условия движения без нарушения сцепления проверяются по формуле:

$$\frac{K_{зс} \varphi \alpha q (G+q) v_г}{1000 \eta} > \frac{M_п}{M_н} \frac{P_н}{P_р} \left[\frac{0{,}66 \cdot 10^{-3} (G+Q+q) v_г a_р}{\eta} + \frac{P_г}{1{,}75 \eta} \right] + P'_{ст} \qquad (2.15.)$$

где: а) для кранов, работающих в помещении:

$$P_{от} = 10^{-4} (G+Q+q) v_г \quad и \quad P'_{ст} = 10^{-4} (G+Q+q) v_г \eta$$

б) для кранов, работающих на открытом воздухе:

$$P_{ст} = 2{,}5 \cdot 10^{-4} (G+Q+q) v_г \quad и \quad P'_{ст} = 2{,}5 \cdot 10^{-4} (G+Q+q) v_г \eta$$

в) Для электродвигателей с фазным ротором $\frac{M_п}{M_н} = 0{,}6$. Для электродвигателей с короткозамкнутым ротором и регулированием пускового момента $\frac{M_п}{M_н} = 0{,}55$. Для электродвигателей с короткозамкнутым ротором, в том числе взрывобезопасных $\frac{M_п}{M_н} = 1{,}8$.

Конкретные условия обеспечения сцепления определяются по формулам:

электродвигатели с регулируемым пусковым моментом механизмов

тележек и мостов, работающих в помещении:

$$\frac{G+q}{G+Q+q}(2\alpha+0{,}08) > (0{,}4a_p+0{,}03) \qquad (2.16.)$$

Электродвигатели с регулируемым пусковым моментом механизмов тележек и мостов, работающих на открытом воздухе:

$$\frac{G+q}{G+Q+q}(1{,}2\alpha-0{,}22) > (0{,}4a_p+0{,}1) \qquad (2.17.)$$

Электродвигатели с короткозамкнутым ротором механизмов мостов (кранов), работающих в помещении:

$$\frac{G+q}{G+Q+q}(2\alpha+0{,}08) > (1{,}2a_p+0{,}1) \qquad (2.18.)$$

Электродвигатели с короткозамкнутым ротором механизмов мостов (кранов), работающих на открытом воздухе:

$$\frac{G+q}{G+Q+q}(1{,}2\alpha-0{,}22) > (1{,}2a_p+0{,}26) \qquad (2.19.)$$

Электродвигатели взрывобезопасных механизмов мостов (кранов), работающих в помещении:

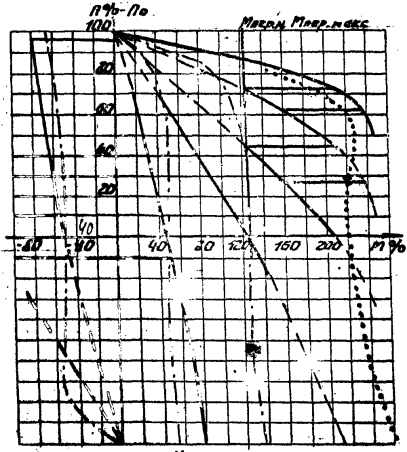
$$\frac{G+q}{G+Q+q}(1{,}4\alpha+0{,}08) > (1{,}2a_p+0{,}1) \qquad (2.20.)$$

Электродвигатели взрывобезопасных механизмов, мостов (кранов), работающих на открытом воздухе:

$$\frac{G+q}{G+Q+q}(0{,}84\alpha-0{,}22) > (1{,}2a_p+0{,}22). \qquad (2.21.)$$

На черт. 5 приведены граничные зависимости допустимых ускорений a_{qon} двигателей с регулируемым пусковым моментом. На черт. 6 приведены граничные зависимости допустимых ускорений a_{qon} короткозамкнутых электродвигателей. На черт. 7 приведены граничные зависимости допустимых ускорений a_{qon} взрывобезопасных электродвигателей.

Механические характеристики передвижения

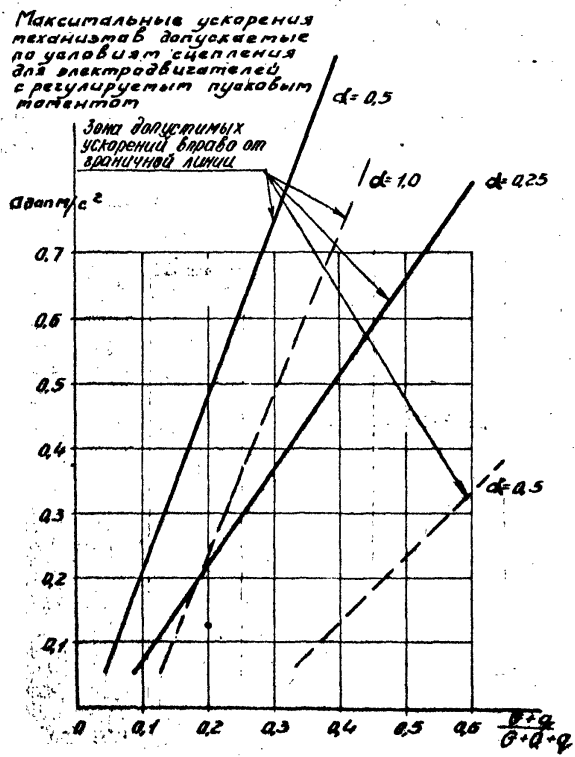


Характеристики короткозамкнутого электродвигателя с реакторами в цепи статора

Характеристики электродвигателя с фазным ротором

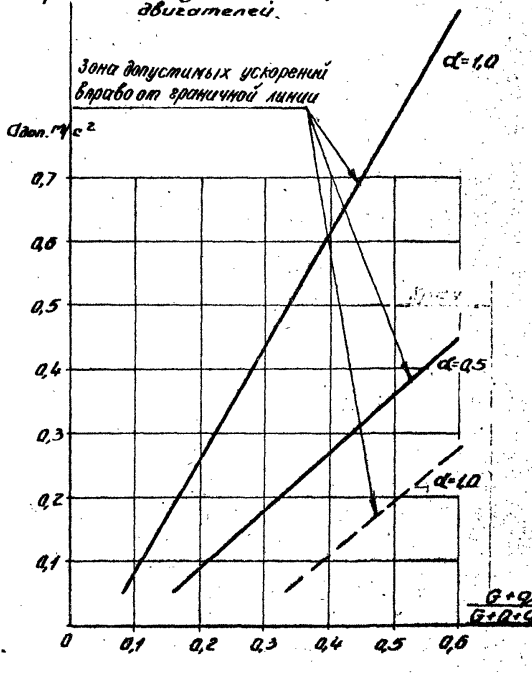
Характеристики короткозамкнутого электродвигателя

Черт. 4


Максимальные ускорения механизмов допускаемые по условиям сцепления для электродвигателей с регулируемым пусковым моментом
Зона допустимых ускорений справа от граничной линии
α = 0,5
α = 1,0
α = 0,25
α = 0,5
$a_{доп}$ м/с²
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0
0,1
0,2
0,3
0,4
0,5
0,6
$\frac{\theta+q}{\theta+q+Q}$
Помещение
Открытый воздух

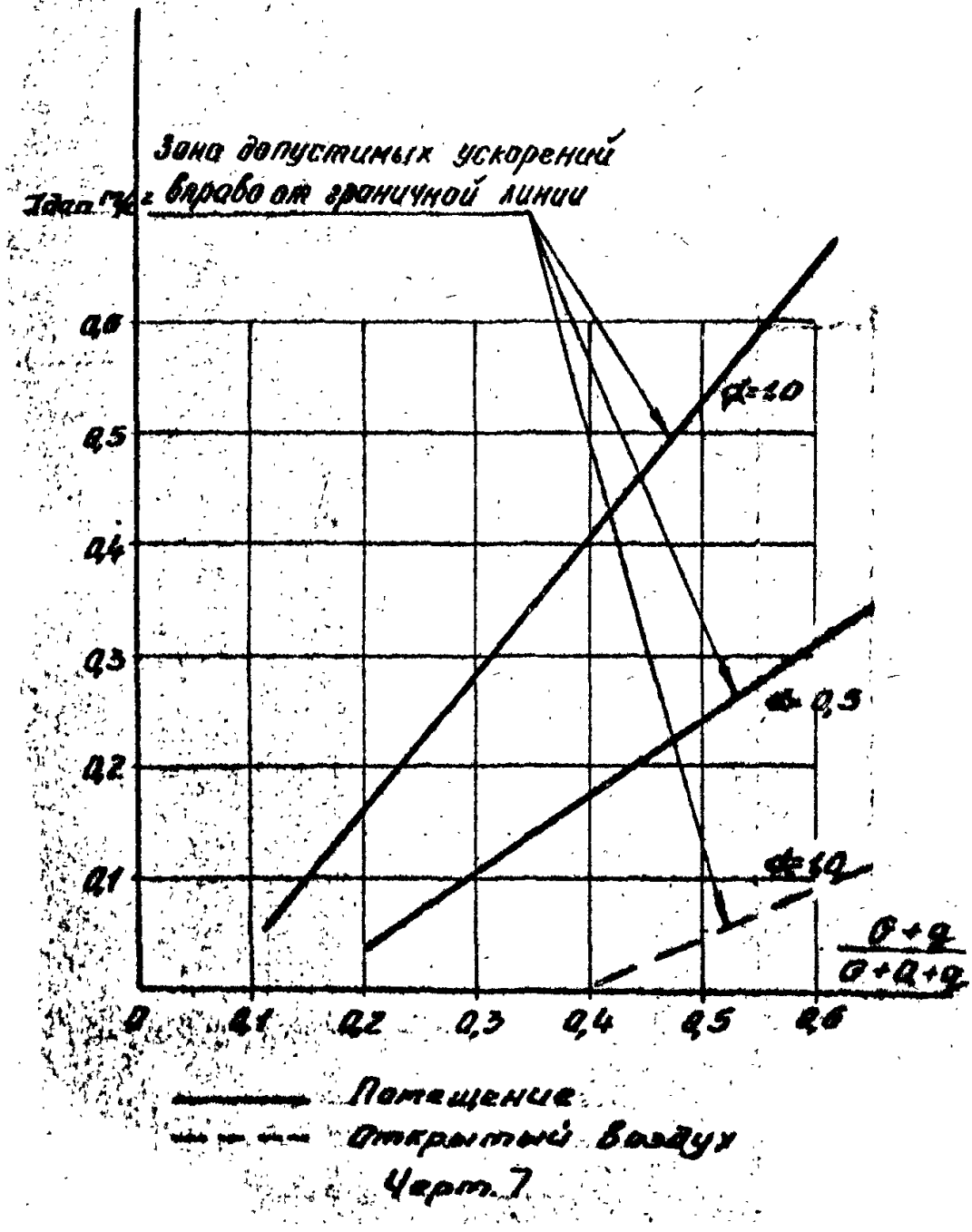
Черт. 5

Максимальные ускорения механизмов допускаемые по условия сцепления для короткозамкнутых электродвигателей.



Черт.6

Максимальные ускорения механизмов допускаемые по условиям сцепления для взрывобезопасных кранов



Черт. 7

2.3.2. Величина ускорения реализуемого при разгоне механизма без груза $a_{p\delta}$ при выбранном электродвигателей с конкретной мощностью Рн определяется по формуле:

$$a_{p\delta} = \frac{850\, m_K P_H \left[0{,}9\frac{M_П}{M_H} - 0{,}9\frac{M_{CT}}{M_H}\frac{(G+q)}{(G+Q+q)} - 0{,}1\right]}{(G+q)\, v_Г} \qquad (2.22.)$$

Величина максимально допустимого ускорения механизма $a_{доп}$ по черт. 5, 6, 7 для соответствующего значения $\frac{G+q}{G+Q+q}$ должна быть больше значения ускорения, определенного по формуле (2.22.) или величина ускорения, найденная по формуле (2.22.) и подставленная в соответствующую формулу (2.16÷2.21), должна удовлетворять условиям неравенства. При невыполнении этого условия должны быть изменены параметры: увеличена добавочная маховая масса на валу электродвигателя, снижено значение кратности пускового момента, выбранного электропривода $\frac{M_П}{M_H}$, увеличено отношение числа приводных колес к общему числу колес или снижена скорость передвижения $v_Г$ с соответствующим снижением мощности электродвигателя. Если нельзя избежать буксования при пуске на тележке без груза (кроме взрывобезопасных кранов). Пробуксовка может быть допущена при повороте ходового колеса на угол $\gamma < 180^0$. Величина угла пробуксовки определяется по формуле:

$$\gamma < \frac{360\, v_Г}{2\pi R\, a_{p\delta}}$$

Отсутствие пробуксовки проверяется по формуле:

$$K_{3c}\left[\varphi\alpha_q (G+q) \mp 0{,}9 W_H \frac{G+q}{G+Q+q} + 0{,}1 W_H\right] > 10^3 P_H \frac{M_П' \eta}{M_H v_Г} \qquad (2.23.)$$

где: знак (+) принимается при работе в помещении; знак (-) при работе на открытом воздухе.

$M_П$ – минимальный маховой момент, при котором начинается движение в проверяемом режиме, Нм.

2.3.3. При определении параметра $\frac{G+q}{G+Q+q}$ на графиках черт. 5-7 следует учитывать отношение давлений на колеса в наихудших сочетаниях, т.е. в знаменателе принимаются максимальные значения, а в числителе минимальная часть массы конструкции механизма, которая давит на ходовое колесо менее нагруженной стороны крана (в козловых кранах с консольным подвесом груза - на опоре стороны, противоположной грузу; в портальном кране - на опоре противоположной вылету стрелы и т.п.).

Для кранов, работающих на открытом воздухе, тележки должны иметь $\alpha = I$, а мосты должны иметь $\alpha = I$ при пролете более 20м. У взрывобезопасных кранов, работающих в помещении, тележки должны иметь $\alpha = I$. У взрывобезопасных кранов, работающих на открытом воздухе, мосты должны иметь $\alpha = I$, а тележки должны иметь привод с механической связью.

Механизмы передвижения с многодвигательным электроприводом, в которых используется фрикционный способ (каток-рельс) сложения механических характеристик (например, динамического торможения и двигательной) могут применяться только на кранах, работающих в помещении, при этом должно быть:

- для механизмов передвижения крана $\alpha = I$,
- для механизмов передвижения тележки $\alpha = I$ и следующее соотношение масс $\frac{G+q}{G+Q+q} > 0,4$

2.3.4. Предварительно выбранный короткозамкнутый электродвигатель проверяется по условиям пуска и сцепления (при необходимости с учетом возможной минимальной пробуксовки).

При этом минимальная величина пускового момента короткозамкнутого электродвигателя, включая взрывобезопасное исполнение, определяется по формуле:

$$M_n \geq M_{ст} \frac{1,25}{0,9^2 0,8} = 1,9 M_{ст} \qquad (2.24.)$$

где: 1,25 – коэффициент запаса при пуске;

0,9 – возможное снижение напряжения на 10%;

0,8 – производственный допуск на пусковой момент.

Максимальное значение начального пускового момента по условиям гарантированного сцепления определяется по формуле:

$$M_п \leq \frac{g \varphi \alpha K_{зс} (G+q) D_к}{2U \eta m_к} \qquad (2.25)$$

Таким образом, начальный пусковой момент выбранного короткозамкнутого электродвигателя должен быть в пределах формул (2.24.) и (2.25.)

2.3.5. Если окончательно выбранный короткозамкнутый электродвигатель имеет чрезмерно большой пусковой момент, его ограничение в пределах формул (2.24.) и (2.25.) может быть осуществлено следующими способами:

в 1,73 раза – путем использования электродвигателя с номинальным напряжением 500В в сети 380В(электродвигатели МТКF);

в 3 раза – путем использования электродвигателя с номинальным напряжением 660В в сети 380В (электродвигатели 4АС);

в 4 раза – путем использования двух электродвигателей, включаемых последовательно в сеть 380В (электродвигатели МТКF);

до необходимых значений – добавочными невыключаемыми резисторами в цепи статора или включением встречно последовательно вторичной обмотки трансформатора (кроме взрывобезопасных исполнений).

2.3.6. Выбор пускового момента Мп короткозамкнутого электродвигателя для обеспечения пуска без груза и торможения методом противовключения, осуществляется исходя из условий обеспечения сцепления колес ненагруженного механизма, эксплуатационных ускорений $a_э$ и ограничения раскачки груза при пусках и торможениях (см. табл. 8).

Таблица 8

Рекомендуемые пусковые моменты

$\frac{G+Q+q}{G+q}$	Мп/Мн		
	В помещении при эксплуатационном ускорении		на открытом воздухе при эксплуатационном ускорении
	$a_э = 0,3 м/с^2$	$a_э = 0,2 м/с^2$	$a_э = 0,2 м/с^2$
6	0,5	-	0,4
4	0,7	0,5	0,6
2	I,0-I,3	0,85	I,0-I,I

Величины добавочных резисторов в цепи статора, устанавливаемые для получения указанных значений моментов, как для пуска, так и для торможения (черт. 4 штрих-пунктир).

2.4. Тепловая проверка выбранных электродвигателей.

2.4.I. Проверка выбранного электродвигателя с фазовым ротором или постоянного тока по теплу групп режимов работы 4М-6М производится по методу эквивалентного КПД.

В основе метода лежит использование показателя эквивалентного КПД, являющегося показателем энергетических свойств системы и определяющего потери энергии в электроприводе. График зависимости эквивалентного КПД: $\eta_{экв.}$, как функции от приведенного числа пусков в час приведен на черт. 8. Приведенное число пусков в час определяется по формуле:

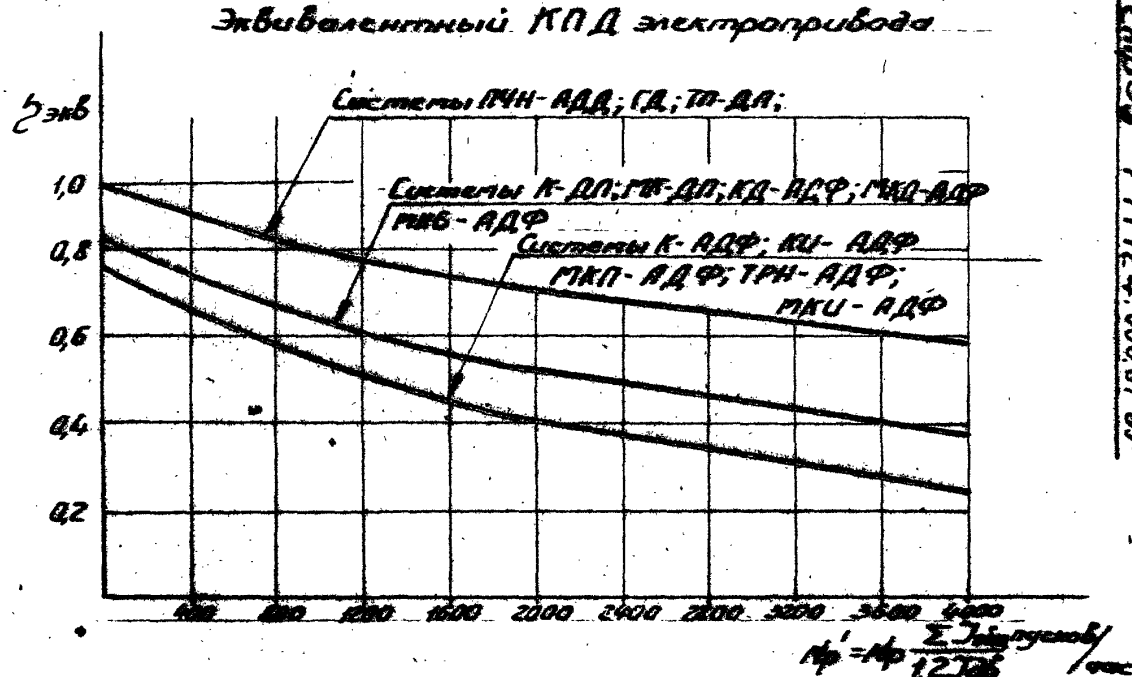
$$N_p' = N_p \frac{\sum J_{общ}}{1,2 J_{дв}} \qquad (2.26.)$$

где: $\sum J_{общ.}$ определяется по формуле (2.3I.)

2.4.2. Расчетная мощность двигателя по условиям теплового режима определяется по формуле:

$$P_p = \frac{K_{экв} K_э \eta_{экв.б} K_н \sqrt{\varepsilon_p/\varepsilon_0}\, P_{ст}}{K_0 \left[\eta_{экв.б} - 1,25(\eta_{экв.б} - \eta_{экв})\right]} \qquad (2.27.)$$

для механизмов передвижения моста определяются по формуле


Эквивалентный КПД электропривода
$\eta_{экв}$
1,0
0,8
0,6
0,4
0,2
Системы ПЧН-АДД; ГД; ТП-ДП;
Системы К-ДП; МК-ДП; КД-АДФ; МКД-АДФ
МКБ-АДФ
Системы К-АДФ; КИ-АДФ
МКП-АДФ; ТРН-АДФ;
МКИ-АДФ
400
800
1200
1600
2000
2400
2800
3200
3600
4000
$M_p' = M_p \frac{\sum J_{эк}}{1,2 J_{дв}}$ пусков/час

Черт. 8

(2.9.) для механизмов тележек Рст принимается равной 0,9 от значения по формуле (2.9.). Коэффициенты режимов работы Кэкв., Кв, ε_p, ε_o приведены в табл. 9.

Таблица 9

Коэффициенты режимов работы

Группа режимов	ε_p	ε_o	Кэкв	Кв
4М	0,25	0,4	0,7	I,0
5М	0,5	0,4	0,8	I,0
6М	0,6	0,4	0,9	I,2

Для выбора двигателей различных систем электроприводов (см. табл. I2) принимаются коэффициенты:

$\eta_{экв.б}$ = 0,76 – для систем с противовключением переменного тока К-АДФ; МКП-АДФ, систем с тиристорными регуляторами переменного тока ТРН-АДФ и с импульсно-ключевым регулированием КИ-АДФ; МКИ-АДФ;

$\eta_{экв.б}$ = 0,8I – для систем с динамическим торможением переменного тока; КД-АДФ; МКД-АДФ; МКБ-АДФ и систем постоянного тока МК-ДП;

$\eta_{экв.б}$ = 0,94 – для тиристорных электроприводов постоянного тока; ТП-ДП; ТД и систем ПЧН-АДД.

Коэффициент Кр определяется согласно табл. I0.

Ко – коэффициент условий охлаждения. *см. черт. 9*

$$K_o = f(\varepsilon_o)$$

При использовании тиристорных электроприводов постоянного тока при напряжении на выходе преобразователя U, отличающегося от номинального напряжения двигателя $U_н$ коэффициент Кн определяется по формуле:

$$K_н = \sqrt{\frac{U_н + U}{U_н(1 + \varepsilon_o/\varepsilon_н)}} \qquad (2.28.)$$

Для всех остальных систем Кн = I.

Расчетное число пусков в час до наибольшей скорости принимается по формуле (I.6.).

В значение η экв. по черт. 8 подставляется приведенное число пусков до наибольшей скорости.

Если предварительно выбранный электродвигатель по тепду не проходит, выбирается электродвигатель большего габарита с последующей его проверкой по сцеплению.

2.5. Тепловая проверка короткозамкнутого электродвигателя.

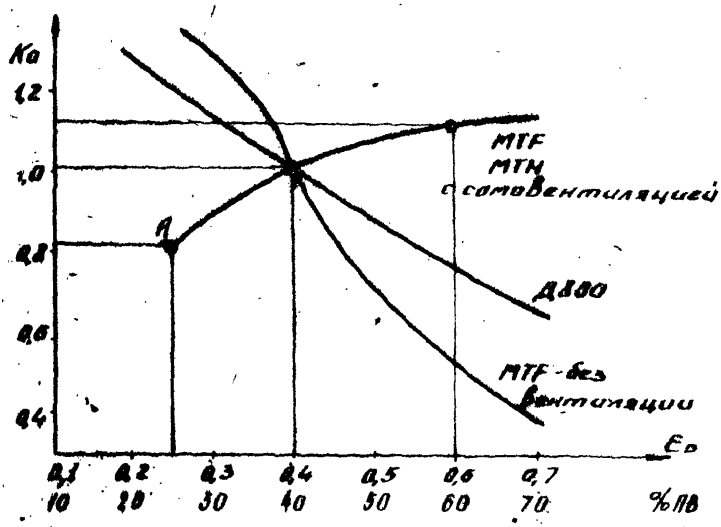
2.5.I. Тепловая проверка производится для электродвигателей механизмов группы режима 5М, а также для электродвигателей передвижения крана группы режимов 4М при скоростях свыше 1м/с или при мощности электродвигателя свыше I0 кВт.

Проверка производится по роторным потерям в связи с тем, что фактическая относительная продолжительность включения $\varepsilon_р$ не выше номинальной относительной продолжительности включения $\varepsilon_о = 0{,}4$.

2.5.2. Проверка предварительно выбранного короткозамкнутого электродвигателя осуществляется по потерям в роторе при пуске и торможении способом противовключения.

Потери при пуске односкоростного двигателя определяются по формуле:

$$A_{оп} = \frac{\Sigma J_{общ}\, n_р^2\, K_g}{182} \qquad (2.29.)$$


Ко
1,2
1,0
0,8
0,6
0,4
А
МТГ
МТН
с самовентиляцией
Д800
МТГ - без
вентиляции
Ев
0,1
10
0,2
20
0,3
30
0,4
40
0,5
50
0,6
60
0,7
70
%ПВ

Черт. 9

Потери при торможении односкоростного электродвигателя в режиме противовключения определяются по формуле:

$$A_{от} = \frac{\sum J_{общ}\, n_p^2 \left[\left(\frac{n_p + n_{нач}}{n_p}\right)^2 - 1\right] \eta}{182} \qquad (2.30.)$$

Принимаем $n_{нач} = 0{,}75\, n_p$ с учетом того, что при выбеге 2 метра (перед торможением) частота вращения n снижается до 75% номинальной.

Учитывая условия подвески груза принимаем средние условия работы механизмов, а именно: 70% операций проходит с номинальным грузом и 30% операций без груза.

При операции с номинальным грузом в расчете принимается 80% массы груза, учитывая, что при разгоне и торможении не менее 20% времени разгона (торможения) осуществляется без влияния массы груза. Приведенный к валу электродвигателя момент инерции механизма определяется по формуле:

$$\sum J_{общ} = \frac{g_1\left[1{,}1G + 0{,}66(Q + g)\right] r_г^2}{m_к \quad n_p^2 \quad \eta} \qquad (2.31.)$$

Коэффициент K_g принимается по черт. 10.

Допустимые потери в роторе электродвигателя за час при номинальном режиме с номинальной относительной продолжительностью включения ε_0 определяются по формуле:

$$A_{доп} = 3600\, M_н\, S_н\, n_0 \varepsilon_0 / 9{,}55 \qquad (2.32.)$$

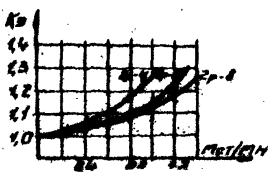
n_0 – синхронная частота вращения двигателя.

Потери статических режимов передвижения за час определяются по формуле:

$$A_{ст} = 3600\, \varepsilon_р\, M_{ст}\, S_{срКВ}\, n_р / 9{,}55 \qquad (2.33.)$$

где: $S_{срКВ}$ – скольжение двигателя при среднеквадратичном моменте $M_{ст\ ср\ кв}$

Коэффициент
пусковых потерь



Черт. 10

Допустимое число пусков и торможений электродвигателя в составе электропривода определяется по формуле:

$$N_{доп} = \frac{A_{доп} - A_{ст}}{A_{оп} + A_{от}} \qquad (2.34.)$$

N доп. должно быть равно или больше N_p. При этом пуск и торможение являются двумя включенными, т.к. происходит переключение на другое направление движения. Если выбранный электродвигатель не обеспечивает расчетного числа пусков в час N_p, выбирается ближайший электродвигатель большей мощности, однако в этом случае нужно обеспечить соответствующее ограничение пускового момента. Данная методика распространяется на все типы электродвигателей, но серия 4А имеет свои особенности, поэтому для нее предпочтительно пользоваться особыми рекомендациями изготовителей (см. п. 2.5.3.)

2.5.3. С целью снижения нагрузки на механические тормоза и обеспечения электрического торможения с наименьшими потерями, целесообразно, по возможности, использовать двухскоростные электродвигатели серии 4А с наибольшей частотой вращения 1500 об/мин.

Величина мощности статической нагрузки механизма передвижения должна составлять не более 50% номинальной мощности на быстроходной обмотке. Двухскоростные электродвигатели общего назначения имеют большую плотность пускового тока, поэтому их использование для механизмов передвижения возможно при включении электродвигателя на номинальное напряжение 660В в сеть 380В. Двухскоростные электродвигатели кранового исполнения выбираются для напряжения 380В.

2.5.4. Расчетная мощность электродвигателей определяется по формуле (2.8.). При тепловой проверке выбранного двигателя допустимое число пусков и торможений в час определяется по формуле:

$$N_{доп} = h_0 \frac{K_п \sum P_{длит} / \sum P_{пв} \, J_{дв}}{0.8 \sum J_{общ}} (1 - \varepsilon_p) \frac{1}{\left(\frac{n_{мин}}{n_{макс}}\right)^2 + 2\left(\frac{n_{макс} - n_{мин}}{n_{макс}}\right)^2} \qquad (2.35.)$$

где: h_0 – допустимое число пусков в час электродвигателя вхолостую приводится в каталогах;

$K_п$ – коэффициент учета статической нагрузки:

$K_п = 0,9$ – при Мст $<$ 0,3 Мн

$K_п = 0,4$ – при Мст $\leq$ 0,8 Мн

0,8 – коэффициент учета снижения потерь в статоре в режиме пониженного напряжения за счет снижения потерь намагничивания (для электродвигателей на 660В);

ΣP – суммарные потери мощности электродвигателя рассчитываются по формуле:

$$\Sigma P = P_{ном} \frac{1 - \eta_{дв}}{\eta_{дв}}$$

Отношение $\frac{\Sigma P_{эмт}}{\Sigma P_{пв}}$ можно принять равным 0,6 в режиме 25% ПВ для двигателей серии 4АС с высотой оси вращения от 80 до 132мм.

$n_{мин.}$ – частота вращения электродвигателя на малой скорости;

$n_{макс.}$ – частота вращения электродвигателя на большой скорости.

Рассчитанное по формуле (2.35.) допустимое число пусков и торможений должно быть не меньше $N_р$ по формуле (I.6.).

2.6. Проверка работы оперативного тормоза.

2.6.I. Тормозной момент тормоза механизма передвижения определяется по формуле:

$$M_{тр} = M_{ст} \eta^2 + \frac{\Sigma J_{общ} v_г n_р}{19,1 \Delta S} \qquad (2.36.)$$

Величина тормозного моомента по условиям сцепления должна быть не более величины, определяемой по формуле:

$$M_{тр} = \frac{g \lambda (G + q) v_г \alpha}{\eta m_к n_р} \qquad (2.37.)$$

2.6.2. Величина выбега в предельном случае равна

$$\Delta S = \frac{5 v_г^2}{2 n \alpha \eta \frac{G+q}{G+Q+q} - 1} \qquad (2.38.)$$

При заданных параметрах выбега ΔS по формуле (2.38.) устанавливается отношение числа ведущих колес к общему числу колес α, а также возможность остановки механизма без груза при таком ΔS

2.6.3. Мощность потерь, рассеиваемых тормозом при торможении, определяется по формуле:

$$\Delta P = \frac{1{,}52 \sum J_{общ} n_р^2 N_{тр} M_{тр}}{2 \cdot 10^6 (M_{тр} + M_{ст})} \qquad (2.39.)$$

Допустимая мощность потерь, рассеиваемых колодочным тормозом:

$$\Delta P_{доп} = 360 D_ш (10 D_ш + 1) \qquad (2.40.)$$

Формула соответствует теплоотводу 0,1 Вт с 1 $см^2$ поверхности теплоотдачи шкива при $\tau = 150^{\circ}C$.

2.6.4. Если в результате расчета ΔP окажется больше $\Delta P_{доп}$ необходимо либо выбрать тормоз большего размера, либо в дополнение к механическому торможению использовать электрическое, например, динамическое или противовключением.

Тепловая проверка тормозов механизма передвижения со свободным выбегом не производится.

3. РАСЧЕТ И ВЫБОР ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ И ТОРМОЗОВ К МЕХАНИЗМУ ПОДЪЕМА ГРУЗА

3.1. Общие положения.

3.1.1. Условиями правильного выбора приводного электродвигателя механизма подъема являются:

достаточный пусковой момент для обеспечения уверенного пуска при наибольшей нагрузке и минимальном напряжении электрической сети в пределах допуска по ГОСТ 13109-67 и ПУЭ 76;

достаточный тепловой запас электродвигателя при использовании в пределах нормированной фактической относительной продолжительности включения при заданном числе циклов (пусков и торможений в час).

3.1.2. Для механизмов подъема групп режимов работы 1М-4М при мощности статической нагрузки до 30 кВт предпочтительно использование двухскоростных короткозамкнутых электродвигателей с диапазоном регулирования скорости от 1:4 до 1:6. Применять электродвигатели с фазным ротором в этом диапазоне мощностей рекомендуется только для режимов 5М-6М и при необходимости регулирования скорости свыше 1:6 до 1:8.

3.1.3. Для мощностей статической нагрузки 30 кВт и выше предпочтительным является применение электродвигателей с фазным ротором или систем постоянного тока (в обоснованных случаях).

3.1.4. При номинальных скоростях подъема не свыше 0,08 м/с следует применять системы с торможением противовключением МКП-АДФ.

При номинальных скоростях подъема свыше 0,08 м/с до 0,6 м/с следует применять регулируемые системы с динамическим торможением с самовозбуждением МКД-АДФ. Применение тиристорных систем обосновывается технико-экономическими показателями (требованиями к регулированию скорости, точности остановки и т.п.).

3.1.5. Условный цикл механизма подъема груза на расчетную высоту H и опускание этого груза до исходного уровня с паузами после подъема и опускания. Число таких условных циклов в час определяется по формуле:

$$f = 18\,\frac{\varepsilon_p\, v_n}{H} \qquad (3.41)$$

3.2. Статические нагрузки.

3.2.1. Мощность на валу электродвигателя при подъеме номинального груза с номинальной скоростью $v_п$ определяется по формуле:

$$P_{ст} = \frac{(Q+q)\,v_п}{102\,\eta\,m_п} \qquad (3.42)$$

3.2.2. Грузоподъемность крана является суммой номинальной массы груза и массы захватного устройства (грейфера, спредера, магнита и т.п.). Для механизмов изменения вылета стрелы $(Q+q)$ заменяется $F_{ср}/g$. При параллельном включении на один вал для двух электродвигателей $m_п$ = 1,8, в том числе для подъемной лебедки грейфера (для замыкающей лебедки грейфера $m_п$ = 1).

Передаточное число редуктора определяется по формуле:

$$U = \frac{\pi D_б\, n_р}{60\, v_п\, U_п} \qquad (3.43)$$

Расчетная частота вращения электродвигателей $n_р$ выбирается с учетом следующих рекомендаций:

Для электродвигателей с фазным ротором, используемых на механизмах групп режимов работы 1М-4М синхронная частота вращения 1000 об/мин.

Для двухскоростных короткозамкнутых электродвигателей синхронная частота вращения наибольшей скорости 1500 об/мин.

Для электродвигателей с фазным ротором, используемых на механизмах групп режима работы 5М мощностью от 20 до 50 кВт, синхронная частота вращения 1000 об/мин, при мощности свыше 50 кВт синхронная частота вращения 600 об/мин.

Для электродвигателей с фазным ротором, используемых на механизмах группы 6М, синхронная частота вращения 750-600 об/мин.

Для электродвигателей постоянного тока, используемых на механизмах групп 1М–4М, – быстроходное исполнение.

Для электродвигателей постоянного тока, используемых на механизмах групп 5М–6М, – тихоходное исполнение.

3.2.3. Момент на валу электродвигателя при подъеме номинального груза определяется по формуле:

$$M_{ст} = \frac{9560\ P_{ст}}{n_p} \qquad (3.44.)$$

3.2.4. Средне-квадратичный момент статической нагрузки за цикл работы подъемного механизма определяется по формуле:

$$M_{ср\,ст} = K_и\ K_з\ M_{ст} \qquad (3.45.)$$

где: $K_и$ – коэффициент использования в зависимости от поднимаемого номинального груза; для крюкового крана $K_и = 0,7$; для грейферного крана $K_и = 0,8$; для контейнерного крана $K_и = 0,65$; для магнитного крана $K_и = 0,75$.

$K_з$ – коэффициент запаса на условия работы при повышенной температуре окружающей среды до плюс 60°С или непредвиденной перегрузке.

$K_з = 1$ – для кранов общего назначения и механизмов строительной индустрии в группе режимов 1М–5М;

$K_з = 1,2$ – для ПТМ группы режимов 6М и металлургических кранов группы режимов 5М, работающих при температуре окружающей среды выше 40°С.

3.3. Системы управления и потери в электроприводе при регулировании.

3.3.1. Для механизмов подъема кранов используются следующие системы электропривода (технические данные систем электроприводов приведены в табл. 12).

электропривод постоянного тока с параметрическим регулированием скорости с помощью резисторов в цепи якоря и последовательной обмотки МК-ДП;

электропривод постоянного тока по системе Г-Д (ГД-ДП);

электропривод постоянного тока по системе тиристорный преобразователь - двигатель постоянного тока независимого возбуждения (ТП-ДП);

электропривод переменного тока с односкоростным короткозамкнутым электродвигателем (МП-АДК);

электропривод переменного тока с двухскоростных короткозамкнутым асинхронным электродвигателем с двумя отдельными обмотками на статоре (МК-АДД);

электропривод переменного тока с асинхронным электродвигателем с фазным ротором и регулированием скорости в режиме противовключения при помощи резисторов в цепи ротора (МКП-АДФ);

электропривод переменного тока с асинхронным электродвигателем с фазным ротором и регулированием скорости в режиме динамического торможения при помощи резисторов в роторной цепи (МКД-АДФ);

электропривод переменного тока с асинхронным электродвигателем с фазным ротором и регулированием скорости с помощью тиристорного регулятора напряжения в цепи статора (ТРН-АДФ);

электропривод переменного тока с асинхронным короткозамкнутым электродвигателем, получающим питание через тиристорный преобразователь частоты (ПЧН-АДД).

3.3.2. Электроприводы МК-ДП, ГД-ДП, ТП-ДП, ПЧН-АДД при работе на малой скорости сохраняют свою способность потреблять и рассеивать энергию при расчетной статической нагрузке в такой же степени, как и при работе в номинальном режиме. Поэтому их нагрузка в процессе работы на малой скорости не отличается от

условий работы в номинальном режиме и работа на малой скорости может осуществляться даже в течение всего цикла работы механизма подъема. Для этих электроприводов коэффициент использования электродвигателя при регулировании $K_\rho = I$.

3.3.3. Электроприводы МК-АДЛ, МКП-АДФ, МКД-АДФ, ТРН-АДФ при работе на пониженной скорости, особенно в режимах противовключения имеют повышенные потери энергии из-за дополнительных потерь в железе ротора, пульсаций напряжения в тиристорной системе или повышенных потерь в меди статора (на тихоходной обмотке двухскоростного электродвигателя). Кроме того, в этом режиме значительно ухудшен теплоотвод двигателя с самовентиляцией.

В цикле работы механизма подъема продолжительность работы на малой скорости убывает с увеличением частоты включений и при группе режима 6М становится минимальной.

3.3.4. Коэффициенты использования двигателя K_ρ для различных систем регулирования приведены в табл. 10.

Таблица 10.

Коэффициенты использования двигателя

Группа режима	Коэффициент использования K_ρ			
	Система регулирования			
	ТРН-АДФ; МКП-АДФ	МКД-АДФ	МК-АДЛ; МП-АДК	Относительное время работы на малой скорости % от общего времени работы за цикл
IМ-3М	I,3	I,I5	I,2	50
4М	I,22	I,I	I,2	25
5М	I,I5	I,05	-	I5
6М	I,08	I,0	-	7

3.4. Предварительный выбор электродвигателя по пусковому моменту и режиму работы.

Электродвигатель механизма подъема должен отвечать двум условиям:

при подъеме груза 110% номинального должен разгонять механизм до номинальной скорости при наиболее неблагоприятных условиях, а именно при напряжении на зажимах электродвигателя 90% номинального, отрицательном допуске по пусковому и максимальному моменту - 10% и минимальной кратности среднего пускового момента к номинальному - 1,20 т.е.

$$M_{max} > m_p M_{ст} \qquad (3.46.)$$

где: m_p - коэффициент вида характеристики электродвигателя;

m_p =1,85- для короткозамкнутого электродвигателя;

m_p =2,1 - для электродвигателя с фазным ротором или постоянного тока;

M_{max} - максимальный момент электродвигателя при номинальном напряжении (по каталогу).

Номинальная мощность электродвигателя подъема ε_c = 40% ПВ для двигателей переменного тока и ε_c = 25% ПВ для электродвигателей постоянного тока должна быть равна или больше расчетной мощности $P_р$, определяемой по формуле:

$$P_р = K_и K_з K_р K_\varepsilon K_{пр} P_{ст} . \qquad (3.47.)$$

Данные коэффициентов относительной продолжительности включения и использования по грузоподъемности, пусковых потерь K_ε $K_{пр}$ приведены в табл. 11.

Электродвигатель, выбранный по формуле (3.47.) при частоте вращения, обеспечивающей скорость подъема $v_п$, должен иметь максимальный момент M_{max} не меньше значения, удовлетворяющего уравнению (3.46.).

3.5. Проверка выбранного электродвигателя методом эквивалентного КПД (Л 6).

Таблица II

Коэффициенты режимов работы

Группа режимов	ε_p	Расчетное число включений в час N	Кг	K_ε	Кпр
3М	0,25	90	0,7	0,82	I,0
4М	0,40	I20	0,8	0,95	I,I
5М	0,40	240	I,0	I,0	I,25
6М	0,60	360	I,0	I,I2	I,4

3.5.I. В основе метода лежит использование эквивалентного КПД, являющегося показателем энергетических свойств системы и определяющего потери энергии в электроприводе. График зависимости эквивалентного КПД системы электропривода η экв., как функции от частоты пусков, приведен на черт. 8.

3.5.2. Общая формула для определения расчетной мощности электродвигателей постоянного тока или переменного тока с фазным ротором по условиям теплового режима см. п. 2.4.2. формула (2.27.) с заменой Кэкв. на K_M и η экв.б в числителе на K_ε.

3.5.3. Приведенное число пусков в час до наибольшей скорости определяется по формуле:

$$N'_p = 0{,}6\, N \frac{\sum J_{общ}}{1{,}2\, J_{дв}} \qquad (3.48)$$

где: N – расчетное число включений в час в зависимости от группы режима работы электродвигателя, табл. II;

$\sum J_{общ}$ – суммарный момент инерции, кг м^2, приведенный к валу электродвигателя определяется по формуле:

$$\sum J_{общ} = 1{,}3 J_{дв} + \frac{9{,}1(Q+q)v_n^2}{n_p^2} \qquad (3.49)$$

3.5.4. Если электродвигатель, предварительно выбранный по формуле (3.47.) по теплу не проходит, выбирается электродвигатель большего габарита, либо снижается величина номинальной скорости подъема.

3.6. Проверка выбранного короткозамкнутого электродвигателя по допустимому числу пусков в час.

3.6.1. При пуске короткозамкнутого электродвигателя в движущихся элементах механизма запасается кинетическая энергия. Если пуск осуществляется вхолостую, то такая же энергия рассеивается ротором в виде потерь в обмотке, поскольку в процессе пуска момент электродвигателя приблизительно постоянный, а забираемая из сети энергия (в роторе) $M(1-S^2)$ делится на две равные части: кинетическую энергию движущихся частей и потери на нагрев ротора. Кроме этих потерь, статор электродвигателя нагревается потерями, пропорциональными потерям в роторе (как первичная обмотка трансформатора) и потерями в магнитопроводе на перемагничивание.

3.6.2. С учётом сказанного, в 3.6.1. тепловая проверка коротокозамкнутых электродвигателей производится по балансу потерь в роторе. Допустимые потери в роторе при номинальном режиме: номинальном моменте Мн, номинальном скольжении $S_н$, номинальной относительной продолжительности включения ε_o определяются по формуле:

$$A_{доп} = \frac{3600\,\varepsilon_c M_н S_н n_o}{9,55} \qquad (3.50.)$$

– синхронная частота вращения электродвигателя.

3.6.3. Потери статического режима, т.е. потери при установившемся движении крюка определяются по формуле:

$$A_{ст} = \frac{3600\,\varepsilon_р K_и^2 K_г S_{ст} n_c M_{ст}}{9,55} \qquad (3.51.)$$

где: $S_{ст}$ – скольжение при статическом моменте Мст;

Кг – см. таблицу II.

3.6.4. Потери на один пуск от 0 до $n_р$ в одну или две ступени и торможении от $n_р$ до n_1, где n_1 – частота вращения на малой скорости, определяются по формуле:

$$A_п = \frac{\sum J_{общ} n_o^2 K_g \left[\left(\frac{n_1}{n_р}\right)^2 + 2\left(\frac{n_р - n_1}{n_р}\right)^2\right]}{182} \qquad (3.52.)$$

3.6.5. Если электродвигатель односкоростной, промежуточная частота вращения n_1 отсутствует. Если электродвигатель двухскоростной n_1 – синхронная частота вращения малой скорости.

3.6.6. Допустимое число пусков и торможений в час электродвигателя с короткозамкнутым ротором определяется по формуле:

$$N_{доп} = \frac{A_{доп} - A_{ст}}{A_п} \qquad (3.53.)$$

Допустимое число пусков и торможения в час при режиме работы $\mathcal{E}_р$ должно быть выше 0,6 N согласно табл. II.

3.6.7. Данная методика может быть распространена на все типы электродвигателей. Для серии 4АС (односкоростных) изготовителями рекомендуется следующая расчетная формула для определения допустимого числа пусков в час:

$$N_{доп} = h_0 \frac{0{,}3\, J_{дв}}{\sum J_{общ}} (1 - \mathcal{E}_р) \qquad (3.54.)$$

Коэффициент 0,3 учитывает ухудшение охлаждения при пусках и дополнительные потери при пуске с нагрузкой $M_{ст}$ 0,7 $M_н$.

Кроме того, короткозамкнутые электродвигатели должны допускать 5 пусков подряд, т.е. время пуска не должно быть более 0,6с.

3.7. Выбор электродвигателя по номограмме для расчетного цикла работы механизма.

3.7.1. В соответствии с формулами (3.47.) и (2.27.) и с учетом формулы (3.46.) для наиболее универсального использования подъемных механизмов (с крюковым подвесом) построены номограммы для непосредственного определения расчетной мощности электродвигателя $P_р$ в функции $P_{ст}$ для различных классов использования и систем электропривода.

На черт. II приведена номограмма мощностей для электроприводов наиболее употребительных систем МК-ДП, МКД-АДФ и АДД.

На черт. I2 приведена номограмма мощностей для систем электропривода МКП-АДФ и ТПН-АДФ. По расчетной мощности $P_р$ по каталогу выбирается электродвигатель с номинальными параметрами $P_н$ и $n_н$, соответствующими расчетной мощности и скорости подъема при заданном передаточном числе U.

3.7.2. Номограммы черт. II и I2 позволяют до выполнения расчетов электропривода оценить необходимую расчетную мощность для соответствующего класса использования механизма.

3.8. Проверка выбранного тормоза по рассеиваемой энергии.

Кзт - коэффициент запаса торможения согласно статьи I30 Правил ГОСГОРТЕХНАДЗОРа;

Кзт=I,5 - для группы режимов IM-3M;

Кзт=I,75- для группы режимов 4M;

Кзт=2,0 - для группы режимов 5M;

Кзт=2,5 - для группы режимов 6M.

3.8.I. Тормозной момент тормоза должен быть равен или больше величины $M_{тр}$, определяемой по формуле:

$$M_{тр} = K_{зт} \quad M_{ст} \quad \eta^2 , \qquad (3.55.)$$

3.8.2. В условиях установившегося теплового равновесия, т.е. при нагретых поверхностях трения, мощность потерь, рассеиваемых тормозом при циклах, состоящих из подъема и опускания груза, определяется по формуле:

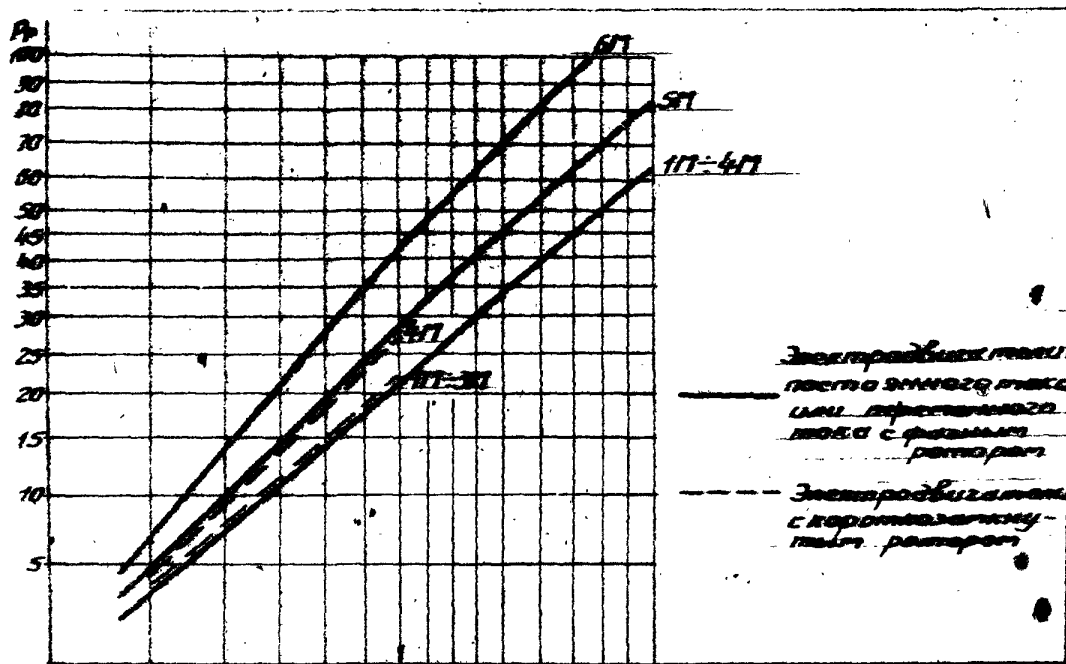
$$\Delta P = \frac{1{,}52 \sum J_{общ} n_т^2 N_{тр}}{4 \cdot 10^6} \left(\frac{M_{тр}}{M_{тр} + M_{ст}} + \frac{M_{тр} K_{нт}^2}{M_{тр} - \rho M_{ст} + M_э} \right) \qquad (3.56.)$$

где: $M_э$ - средний момент электрического торможения (противовключения, динамического торможения), Н м;

$n_т$ - частота вращения начала торможения, об/мин;

$K_{нт}$ - коэффициент начала торможения для систем с электрическим торможением $K_{нт} = 0{,}5$

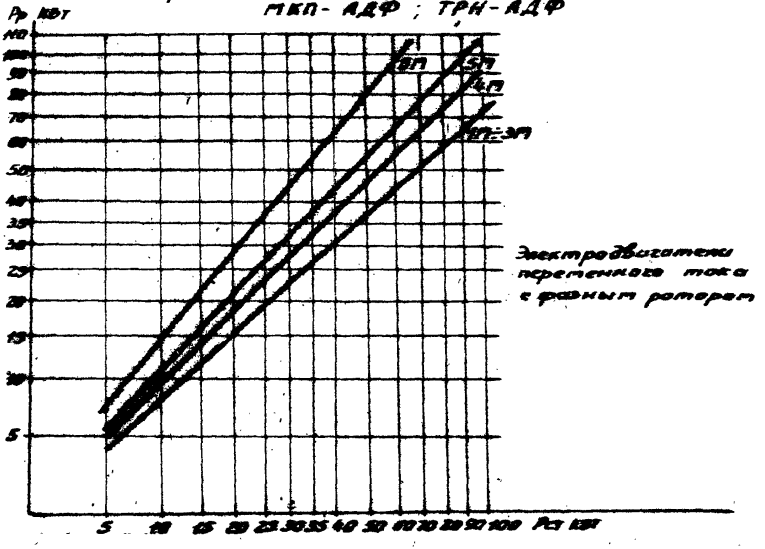
для систем электропривода МК-ДП, НДД, МКД-ЦДТ



Ограничение применения короткозамкнутых электродвигателей

Черт. 11

Номограмма выбора расчетной мощности электродвигателя подъема для систем МКП-АДФ ; ТРН-АДФ



Черт. 12

Допустимая мощность потерь, рассеиваемых колодочным тормозом при теплоотдаче 0,I Вт с I $см^2$ поверхности и температуре τ =I50°С.

$$\Delta P = 360 D_{ш} (10 D_{ш} + 1) \qquad (3.57.)$$

Диаметр шкива и частота вращения электродвигателя (и тормозного шкива) выбираются для условий обеспечения необходимого числа торможений

4. ВЫБОР СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ, АППАРАТУРЫ И ЭЛЕКТРОМОНТАЖ КРАНОВ

4.I. Условия выбора системы управления.

4.I.I. Условиями правильности выбора системы управления и соответствующей пускорегулирующей аппаратуры являются:

необходимая термическая и динамическая устойчивость системы управления по отношению к возможным в эксплуатации токам;

достаточный ресурс по числу включений;

обеспечение необходимого диапазона регулирования скорости и пускового момента;

обеспечение минимальных затрат энергии на разгон и торможение механизмов;

снижение до разумного минимума нагрузки на механические тормоза;

минимальная масса и стоимость электропривода;

минимальные эксплуатационные затраты.

Основные технические данные систем управления крановыми механизмами приведены в табл. I2.

4.I.2. Исходные данные и обозначения, принимаемые в расчетах.

Исходными данными, принимаемыми при расчетах и выборе систем управления и аппаратуры являются:

$P_{р}$ – расчетная мощность исполнительного электродвигателя, кВтг

Группа режимов по ГОСТ 25835-83.

$\varepsilon_{р}$ – расчетная относительная продолжительность включений.

ПАРАМЕТРЫ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Таблица № 18

Параметры		Условное обозначение системы															
		Электроприводы постоянного тока				Электроприводы переменного тока											
		Г–Ш	Г–Ш	ТП–Д	ГД	П–АДК	К–АДК	К–АДК	К–АДК	КД–АДК	КИ–АДК	КЛ–АДК	КЛ–АДК	КБ–АДК	ТРН–АДК	МКИ–АДК	ПЧН–АДК
Источник питания		Сеть постоянного тока или автономный источник		Сеть переменного тока													
Система электропривода		Силовой контроллер	Магнитный контроллер	Тиристорный преобразователь	Система ГД	Магнитный пускатель	Силовой контроллер	Магнитный контроллер	Силовой контроллер	Силовой контроллер	Силовой контроллер	Магнитный контроллер	Магнитный контроллер	Магнитный контроллер	Тиристорный регулятор	Магнитный контроллер	Тиристорный преобразователь частоты
Способ регулирования и управления		Реостат в цепи якоря	Реостат в цепи якоря	Изменением напряжения главной цепи	Изменением напряжения в главной цепи	Прямое включение в сеть	Реостат в цепи статора	Переключение обмоток статора	Реостат в цепи ротора	Реостат в цепи ротора динамическое торможение	Тиристорное импульсно-ключевое регулирование	Реостат в цепи ротора противовключение	Реостат в цепи ротора динамическое торможение	Бестоковая динамическое торможение	Изменение напряжения в цепи статора	Тиристорное импульсно-ключевое регулирование	Регулирование частоты
Возможность регулирования	I–III квадрант	да	да	да	да	нет	нет	да	да	да	да	да	да	да	да	да	да
	I IV квадрант	да	да	да	да	нет	нет	да	нет	да	нет	нет	да	да	да	нет	да
Параметры регулирования	Регулирование в сторону уменьшений	I:4	I:6	I:20	I:40	–	–	I:6	I:3	I:7	I:20	I:3	I:8	I:8	I:10	I:20	I:40
	Регулирование в сторону повышения	2:I	2:I	3:I	3:I	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	Регулирование пускового момента	I:2	I:4	I:2	I:3	–	I:4	–	I:4	I:2	I:3	I:4	I:2	I:2	I:4	I:3	–
Исполнительный двигатель		Постоянного тока последовательного возбуждения		Постоянного тока независимого возбуждения		Асинхронный короткозамкнутый		Асинхронный двухскоростной	Асинхронный двигатель с фазным ротором								Асинхронный двухскоростной

продолжение таблицы 5.18

I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	II	I2	I3	I4	I5	I6	I7
Диапазон мощностей, кВт	3–I5	I0–I20	50–300	50–300	0,7–10	I,5–10	7–25	I,5–30	5–30	2–I5	5–I00	I5–I00	30–I20	20–I20	5–30	I0–60
Частота пусков в час	60	360	360	360	60	60	I50	I50	I50	I50	250	240	360	340	360	360
Ресурс по числу включений без тока	$IxI0^6$	$20xI0^6$	$I0xI0^6$	$20xI0^6$	$0,5xI0^6$	$2xI0^6$	$I0xI0^6$	$2,5xI0^6$	$2,5xI0^6$	$I0xI0^6$	$I0xI0^6$	$I0xI0^6$	$20xI0^6$	$I0xI0^6$	$I0xI0^6$	$I0xI0^6$
Коммутационная износоустойчивость	$0,IxI0^6$	$I,0xI0^6$	$2xI0^6$	$3xI0^6$	$0,2xI0^6$	$0,5xI0^6$	$IxI0^6$	$0,5xI0^6$	$0,5xI0^6$	$IxI0^6$	$IxI0^6$	$IxI0^6$	$5xI0^6$	$5xI0^6$	$5xI0^6$	$5xI0^6$
Нагрузка механического тормоза % кинетической энергии механизма	30	30	5	5	I00	I00	I5	30	30	5	30	I5	20	5	5	5
Коэффициент готовности к работе в пределах ресурса	I,0	0,7	0,6	0,9	I,0	I,0	0,8	0,9	0,9	I,0	0,6	0,6	0,75	0,65	0,8	0,2
Удельная масса аппаратуры кг/кВт на среднюю мощность	8	8	I0	20	I5	4	9	4	7	7	6	6	I2	7	I0	I2
Стоимость аппаратуры, руб.	60–75	320–660	3200–6000	2000–2300	I0–I8	45	I35	45–60	I65 – 230	250 – 300	470–550	530 – 700	800–I100	I700–2500	550–600	3500

Род тока и номинальное напряжение.

P_T – мощность питающего трансформатора. Если она незивестна, то применяются следующие значения:

мостовые и козловые краны грузоподъемностью до 10т общего назначения	400-630 кВА
мостовые и козловые краны грузоподъемностью свыше 10 до 32т общего назначения	630-1000 кВА
мостовые и козловые краны грузоподъемностью свыше 32т общего назначения, портальные краны, контейнерные перегружатели	1600 кВА
специальные технологические краны металлургического и химического производства, рудно-угольные перегружатели, краны на электростанциях	4000 кВА

D_p – требуемый диапазон регулирования скорости в двигательном и тормозном режимах.

Способ торможения механизма.

ν – точность остановки механизма, мм.

4.2. Выбор номинального тока коммутационных аппаратов.

4.2.1. Выбор номинального тока коммутационных аппаратов на кранах осуществляется с учетом следующих факторов:

исходным является ток главной цепи Iр при расчетной мощности соответствующего механизма. Средний суммарный ток всех механизмов крана определяется по формуле:

$$I_{ссщ} = I_{рп} + 0{,}8\, I_{рм} + 0{,}8\, I_{рт} + \sum I_{всп} \qquad (4.58.)$$

где: Iрп – расчетный ток электродвигателя механизма подъема;

Iрм – расчетный ток электродвигателя механизма моста и поворота;

Iрт – расчетный ток электродвигателя механизма тележки;

$\sum$ Iвсп – ток вспомогательных цепей.

4.2.2. Ток короткого замыкания на вводе крана Iкз при 380 В

$$I_{кз} = 12\, I_{одш} + \frac{U_н^2}{100}\left(\frac{1}{P_т} - 1\right)^2 \qquad (4.59.)$$

4.2.3. При отсутствии данных по мощности трансформатора токи короткого замыкания определяются для мощностей, указанных в п. 4.2.1.

4.2.4. Ток динамической устойчивости аппаратов составляет:

$$I_{дин} = 0{,}4\ I_{кз}, \qquad (4.60.)$$

4.2.5. Учитывая, что ток динамической устойчивости для аппаратов составляет 18-22 Iн аппарата, величины номинальных токов аппаратов должны быть не ниже указанных в табл. 13.

Таблица 13

Номинальные токи аппаратов

Назначение	Мощность цехового трансформатора питающего фидера Pт, кВА	Пределы тока К.з. на вводе крана, А	Уставка фидерного автомата не более, А	Минимальный номинальный ток, А линейного контакторa после ввода крана	Минимальный номинальный ток, А коммутационных аппаратов механизмов подъема
Мостовые и козловые краны машиностроительных предприятий	160	1600-2000	400	25	25
	400	2300-3000	800	40	25
	630	3000-4500	1300	63	40
	1000	6000-7500	2000	100	63
Перегрузочные краны транспорта	1600	7000-9000	3000	160	100
Предприятия металлургии (основные цехи)	4000	8000-12000	5000	250	160
Краны на электростанциях	4000	8000-12000	5000	250	100

4.2.6. При выборе уставки максимальных реле и расцепителей автоматических выключателей необходимо учитывать, что величина пускового тока короткозамкнутого электродвигателя с учетом аперио-

дической составляющей может составлять 150% от пускового тока по НТД.

4.2.7. Учитывая различные эксплуатационные условия и требования к ресурсу кранов номинальный ток коммутационных аппаратов главной цепи должен соответствовать

$$I_н \geq \frac{I_р}{K_к \cdot K_э} \qquad (4.51.)$$

где: Iн - номинальный ток аппарата главной цепи в режиме по НТД на его изготовление и поставку;

Кк - коэффициент использования по условиям коммутационной износоустойчивости;

Кэ - коэффициент использования по условиям эксплуатации.

Величины коэффициентов приведены в табл. 14 и 15.

Таблица 14

Коэффициенты коммутационной износоустойчивости

Группы режимов работы	Коммутационная износоустойчивость, млн. включений	Коэффициент Кк		
		Магнитные контроллеры: с бестоковой коммутацией	с обычной коммутацией	Силовые контроллеры
1М	0,25	1,2	1,2	1,0
2М	0,25	1,2	1,2	1,0
3М	0,5	1,2	1,2	0,9
4М	1,0	1,2	1,0	0,65
5М	3,0	1,0	0,75	0,35
6М	5,0	1,0	0,5	-

Таблица 15

Коэффициенты эксплуатационных нагрузок

Группы режимов работы	Средняя частота включений в час	Коэффициент Кэ				
		Постоянный ток	Переменный ток			
		К-ДТ, МК-ДТ	МП-АДК, К-АДК, МК-АДК	К-АДФ, МКП-АДФ	МКД-АДФ, КД-АДФ, КИ-АДФ	МКБ-АДФ, МКИ-АДФ, ТРН-АДФ
1	2	3	4	5	6	7
1М	60	1,25	1,1	1,25	1,25	1,25

Продолжение таблицы I5

I	2	3	4	5	6	7
2М	60	I;I	I,0	I;I	I,I	I,25
3М	90	I,0	0,85	I,0	I,05	I,I
4М	I20-I80	I,0	0,7	0,9	I,0	I,I
5М	240	0,9	0,4	0,8	0,9	I,0
6М	свыше 360	0,8	-	-	0,8	0,85

4.2.8. Величина пускового тока электропривода должна быть меньше тока включения выбираемого аппарата, приведенного в каталогах и ТУ. В выборе по току включения нуждаются только аппараты группы режимов работы IМ-3М.

4.3. Определение необходимого диапазона регулирования и точности остановки ν мм.

4.3.I. Определение диапазона регулирования механизма подъема.

4.3.2. Посадочные скорости механизмов подъема кранов различного назначения, приведены в табл. I6.

Таблица I6

Посадочные скорости

НАИМЕНОВАНИЕ	Наибольшая посадочная скорость, $v_{пос}$ м/с	Минимальная скорость подъема груза, м/с
I	2	3
Кран монтажный для крупногабаритных грузов	0,03	0,03
Кран монтажный для судосборки, сборки самолетов и т.п.	0,0I	0,0I
Кран монтажный для жилищного и промышленного строительства	0,08	0,I6
Кран монтажный средней грузоподъемности (до I6т)	0,05	не регламентирована

Продолжение таблицы I6

I	2	3
Кран мостовой электрический общего назначения		
грузоподъемностью до I0т	0,08	не регламентирована
- " - I6-25т	0,04	- " -
- " - 30-50т	0,03	- " -
Кран литейный грузоподъемностью I00-500т	0,03	- " -
Кран контейнерный	0,05	0,I
Кран высокопроизводительный крановой перегрузочный	0,25	0,25
Кран-штабелер	0,05	не регламентирована
Таль электрическая грузоподъемностью до 3т	0,I5	не регламентирована
Таль электрическая грузоподъемностью 3,2-5т	0,06	- " -
Таль электрическая грузоподъемностью свыше 5т	0,06	- " -
Кран перегрузочный для взрывоопасных зон	0,04	0,04

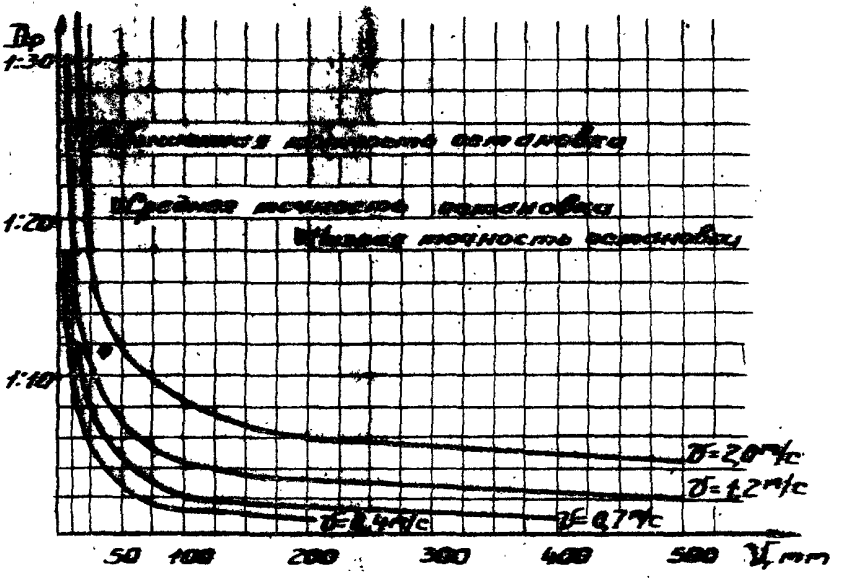
4.3.3. Диапазон регулирования системы электропривода механизма подъема есть отношение

$$D_\rho^* = v_{max}/v_{ном} \qquad (4.62,)$$

4.3.4. При выборе по табл. I2 той или иной системы электропривода следует либо выбирать систему с необходимым диапазоном регулирования для заданного значения номинальной скорости $v_{ном}$ либо для выбранной системы электропривода и параметра D_ρ определять возможную номинальную скорость подъема.

4.3.5. Для определения точности остановки груза при известном диапазоне регулирования и максимальной скорости передвижения $v_{ном}$ можно воспользоваться графиком черт. I3, рассчитанным для типовой комплектации кранов электрооборудованием. По заданной точности

Диапазон регулирования для установки с заданной точностью



Черт. 13

остановки ν мм могут быть установлены номинальная скорость и необходимый диапазон регулирования и, следовательно, нужная система управления.

4.4. Технико-экономическое обоснование выбора систем управления и аппаратов.

4.4.1. Выбор системы управления осуществляется на основе анализа сравнительных технических данных систем управления, приведенных в табл. 12.

4.4.2. Исходным условием является необходимость регулирования скорости, требуемые диапазоны регулирования скорости и пускового момента.

4.4.3. Показателями, определяющими условия выбора, является мощность привода, возможность реализации необходимой частоты пусков и торможений в час и за срок службы, степень загрузки механического тормоза.

4.4.4. При реализации указанных эксплуатационных показателей окончательным критерием выбора являются экономические показатели: минимальная удельная масса и минимальная удельная стоимость. При этом должно быть учтено, что стоимость обслуживания простых короткозамкнутых двигателей, двигателей с фазным ротором и двигателей постоянного тока относятся как 1:4:10, а стоимость обслуживания кулачковых контроллеров или пускателей, магнитных контроллеров и различных тиристорных систем относятся как 1:8:20.

4.4.5. В результате выбора системы управления подтверждаются заданные исходные параметры механизмов, необходимые для использования механизма в эксплуатационных условиях при минимальных первоначальных затратах и минимальных расходах на обслуживание в эксплуатации.

4.4.6. С учетом данных табл. I2 номинальных токов по формуле (4.57.) и требований по регулированию, в табл. I7 даны рекомендации по применению систем управления механизмами.

Выбор систем управления

Таблица I7

Мощность электродвигателя, кВт	Требования к диапазону регулирования	Группа режимов работы				
		1М–2М	3М	4М	5М	6М
I-5	нет	П	П	П	–	–
2-I0	до I:3	К	К	К	К	–
I0-I5	до I:3	К	К	К	–	–
	свыше I:3	М	М	М	М	М
I5-30	до I:3	К	К	–	–	–
	свыше I:3	М	М	М	М	М
свыше 30	от I:3 до I:8	М	М	М	М	М
свыше 5	свыше I:8	Т	Т	Т	Т	–

П – магнитный пускатель
К – силовой контроллер
М – магнитный контроллер
Т – тиристорные системы.

4.5. Выбор минимальной степени защиты электрооборудования на кранах по ГОСТ I5I50-69 и ГОСТ I4254-80.

Выбор степени защиты электрооборудования, устанавливаемого на кранах, определяется по таблице I8.

Таблица I8

Степени защиты электрооборудования

Расположение электрооборудования	Категории размещения крана в эксплуатации								
	У1	У2	У3	ХЛ I	ХЛ 2	Т1	Т2	У2 Металлургия	ОМ1
I	2	3	4	5	6	7	8	9	I0
Электрооборудование в кабинах кранов	У3 IP3I	У3 IP3I	У3 IP3I	ХЛ3 IP3I	ХЛ3 IP3I	Т2; IP3I	Т2;Т3 IP3I	У2; У3 IP4I	ОМ1; ОМ2 IP44 IP55
Специальные аппаратные кабины	У3 IP00	У3 IP00	У3 IP00	ХЛ3 IP00	ХЛ3 IP00	Т3 IP00	Т3 IP00	У3 IP00	ОМ3 IP00
Специальные аппаратные кабины с подогревом (охлаждением)	– –	– –	– –	ХЛ3 IP00	ХЛ3 IP00	– –	– –	У3 IP00	– –

Продолжение таблицы I8

I	2	3	4	5	6	7	8	9	I0
Электрооборудование внутри кожухов на открытых частях кранов	У3 IP00	У3 IP00	– –	У3 IP00	У3 IP00	Т3 IP00	Т3 IP00	Т3 IP00	ОМ3 IP00
Электрооборудование под навесом	У2 IP44	– –	– –	У2 IP44	– –	Т2 IP44	– –	– –	– –
Электрооборудование на открытых частях	УI IP44	У2 IP3I	У3 IP00	ХЛI IP44	ХЛ2 IP3I	TI IP44	Т2 IP3I	УI IP43	ОМI IP56
Шкафы, кожуха, на открытых частях кранов	УI IP43	– –	– –	ХЛI IP43	– –	TI IP43	Т2 IP22	У2 IP43	ОМI IP56
Электрооборудование на открытых частях кранов в исполнении П2А	–	IP44	IP44	–	IP44	–	IP44	–	–

4.6. При использовании грузоподъемных магнитов в зависимости от грузоподъемности кранов следует руководствоваться табл. I9.

Таблица I9

Использование грузоподъемных магнитов

Грузоподъемность крана, т	Рекомендуемые к использованию типы электромагнитов по ГОСТ I0I30-79	
	Группа режимов 4М (С)	Группа режимов 6М (ВТ)
5	М22В	ПМI5В; М22В
I0	2шт. М22В; М42В; ПМI5В	М42В; ПМI5В 2шт.; ПМ25В
I6	2шт. ПМI5В; ПМ25В; 3шт. М22В	2шт. М42В; 2шт. ПМ25В
20	2шт. М42В; 3шт. ПМI5В; 2шт. ПМ25В	М62В; 3шт. ПМ25В
32	М62В; 3шт. М42В; 4шт. ПМ25В	

При использовании грузоподъемных электромагнитов с суммарным усилием больше, чем имеют указанные в табл. I9 электромагниты, краны должны снабжаться ограничителями грузоподъемности в пределах номинальной грузоподъемности.

4.7. Расчет и выбор внутрикранового токоподвода и проводов на кране.

4.7.1. Все провода и троллеи на кране должны быть выбраны достаточными по условиям нагрева, проверены на величину падения напряжения с целью обеспечения работоспособности электроприводов при колебаниях напряжения в сети ± 10% номинального.

Допустимая по нагреву нагрузка определяется по стандартам и техническим условиям на провода и кабели выбранных марок и не должны превышать нагрузок, указанных в ПУЭ-76, раздел I для данной группы проводов и оговоренной температуры окружающей среды.

4.7.2. Выбор марки проводов и способа защиты производится согласно РТМ 24.090.37-78.

При прокладке проводов и кабелей в местах, где может быть местная высокая температура окружающей среды, следует выбирать специально предназначенные для этого провода типов ПРН и ПРГН, кабели типов КГН и КПГСН в резиновой масло-бензиностойкой оболочке, а там, где допустимо использование обычных проводов (ПВЗ, КГ, КПГС), снижать их нагрузку в соответствии с указаниями ПУЭ-76, раздел 7Ч.

4.7.3. Допустимая нагрузка на провода сечением 10мм^2 и выше при повторно-кратковременном режиме с относительной продолжительностью включения (в относительных единицах) определяется по формуле:

$$I = I_{gn} \frac{0,875}{\sqrt{\hat{E}_o}} \qquad (4.63.)$$

где: I_{gn} – допустимая по ПУЭ-76 нагрузка на провода и кабели при продолжительном включении.

4.7.4. Рабочая нагрузка на провода, питающие группу потребителей, может быть ориентировочно определена по формуле:

$$I_p = K_{3K} \sum I_{gb\,cp\,kl} + \sum I_{pot} \qquad (4.69.)$$

где: I_p – рабочий ток, нагрузка на провода; А;

Кзк – коэффициент, учитывающий неодновременность полной загрузки электродвигателей принимаемый;

Кзк = 0,6 – для механизмов групп 1М-3М,

Кзк = 0,9 – для групп 4М–6М;

$\Sigma I_{дв.ср.кв}$ – сумма среднеквадратичных токов двух одновременно работающих электродвигателей наибольшей мощности режима S3 в А;

$I_{пот}$ – сумма токов, включенных постоянно потребителей (нагревательных приборов, рабочего освещения, кондиционеров и т.д.), А.

4.7.5. Падение напряжения в проводах, кабелях и медных троллеях определяется в % от номинального напряжения сети для трехфазного тока

$$\Delta U = \frac{120 P_p \ell}{\eta \sigma_п q_п U_н^2 \cos\varphi} = \frac{173 I_p \ell}{\sigma_п q_п U_н} \qquad (4.65.)$$

для постоянного тока

$$\Delta U = \frac{240 P_p \ell}{\eta \sigma_п q_п U_н^2} = \frac{200 I_p \ell}{\sigma_п q_п U_н^2} \qquad (4.66.)$$

где: η – к.п.д. электродвигателя;

ℓ – длина линии, м;

$q_п$ – сечение провода, мм^2;

$\sigma_п$ – удельная проводимость материала провода:

для меди $\sigma_п$ = 57 м/ом мм^2,

для алюминия $\sigma_п$ = 35 м/ом мм^2;

I_p – ток нагрузки, соответствующей расчетной мощности;

$\cos\varphi$ – коэффициент мощности электродвигателя при мощности Рр.

4.7.6. Падение напряжения в стальных троллеях определяется с учетом активного R и реактивного X сопротивлений в Омах на 1м длины линии ℓ

$$\Delta U = \frac{100 \Delta U}{U_н} \qquad (4.67.)$$

$$\Delta U = 1.73 (R \cos\varphi_a + X \sin\varphi_a) I$$

где: φ_a – угол сдвига между током и напряжением;

для расчетов следует принимать

$\cos\varphi_a$ = 0,65...0,7

$\sin\varphi_a$ = 0,76...0,71

4.7.7. Рекомендуется не превышать следующие величины полного падения напряжения:

при установившемся режиме - 7%;

при пуске - 12%.

В проводах, проложенных непосредственно на кране, рекомендуется допускать не более 30% полного падения напряжения.

4.8. Особенности расчета и выбора взрывозащищенного электрооборудования.

4.8.1. Выбор взрывозащищенного электрооборудования для подъемных кранов производится с учетом:

назначения и технических параметров крана;

класса взрывоопасной зоны, где будет эксплуатироваться кран, категории и группы взрывоопасных смесей, в среде которых будет работать кран, физического состояния этой смеси (газ, пар, пыль);

условий работы: химической активности среды, влажности, температуры окружающей среды и т.п.

4.8.2. Исходя из климатических условий работы выбирается исполнение взрывозащищенного электродвигателя и соответствующей аппаратуры в исполнении У - для умеренного климата, Т - для тропического климата, ХЛ - для холодного климата. При этом, согласно ГОСТ 15150-69, категории размещения могут быть 2 или 3.

4.8.3. Выбор взрывозащищенных электродвигателей осуществляется по пунктам 2.2.3., 2.2.5. и 3.4. данной методики, но учитывая, что номинальная мощность электродвигателя указывается в каталогах и других НТД при гарантированном числе пусков и торможений в час $Z_н$ и фиксированном коэффициенте инерции $K_{jн}$, общее допустимое число пусков выбранного электродвигателя $Z_{доп.д}$ будет составлять:

$$Z_{доп.д} = Z_н \frac{K_{jн}}{K_{jр}} + Z_{доб} \qquad (4.68.)$$

где: $K_{jр}$ - коэффициент инерции электропривода с учетом приведенных моментов инерции узлов механизма и груза;

$Z_{дсб}$ – добавочное количество пусков, которые может допускать электродвигатель.

Определение добавочного количества пусков $Z_{дсб}$, которые может допустить двигатель по тепловой нагрузке, определяется по формулам раздела 2.5. для короткозамкнутых электродвигателей по потерям в роторе.

4.8.4. Допустимое число торможений встроенным тормозом определяется по формуле:

$$Z_{дсп т} = Z \frac{K_j H}{K_j P} \qquad (4.69.)$$

4.8.5. Основным условием надежной работы взрывобезопасного крана является отсутствие буксования во время пусков и торможения при любых величинах груза на крюке вплоть до операций вообще без груза.

Для создания необходимых гарантий отсутствия буксования согласно РТМ 24.090.04-73 установлен коэффициент запаса по сцеплению I,5.

4.8.6. Выполнение условий обеспечения сцепления колес с рельсами механизмов передвижения осуществляется правильным выбором приводных электродвигателей с минимально допустимым пусковым моментом, надлежащим соотношением числа приводных колес к общему числу колес-опор, выполнением скоростных ограничений в зависимости от коэффициента сцепного веса и условий эксплуатации (в помещении или на открытом воздухе).

4.8.7. Комплект электрических аппаратов, состоящих из станции управления СКВ, станции освещения СОК I, блока БДЗ-2, разветвительных коробок КРС и постов управления ПКПИ, предназначен для управления с пола или из кабины мостовыми и козловыми кранами с одной рабочей скоростью каждого механизма.

4.8.8. При двух рабочих скоростях механизмов необходимо иметь отдельную станцию управления малыми скоростями.

4.8.9. Комплект аппаратов и электродвигателей может применяться во взрывоопасных помещениях и в наружных установках, где могут образовываться взрывоопасные смеси паров и газов с воздухом I, 2, 3 категорий, групп TI, T2, T3, T4 по ПУЭ-76, глава УП-3.

ПРИЛОЖЕНИЕ I
СПРАВОЧНОЕ

ОСОБЕННОСТИ ВЫБОРА ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ КРАНОВ В СРЕДЕ С ОКРУЖАЮЩЕЙ ТЕМПЕРАТУРОЙ ВЫШЕ ПЛЮС 45°С или В УСЛОВИЯХ ВЫСОКОГОРЬЯ

В соответствии с ГОСТ 15150-69 наибольшей средней расчетной температурой окружающей среды, на которую рассчитывается электрооборудования (электродвигатели, аппаратура управления, тормоза и т.п.) является значение плюс 45°С.

Это значение является предельным расчетным для машин и механизмов, эксплуатирующихся на открытом воздухе в любой климатической зоне мира.

Однако в помещениях с большим тепловыделением технологических установок (цехи металлургических комбинатов, аглофабрики, закрытые помещения с мощными источниками тепловыделения и т.п.) температура окружающей среды может превосходить расчетное значение плюс 45°С. Для таких помещений при выборе электрооборудования должны вноситься следующие ограничения.

1. Конечные выключатели серии КУ-700, ВУ-150, ВУ-250, выключатели НБ-700, ящики пускотормозных резисторов применяются в пределах своих технических характеристик, оговоренных в технических условиях и каталогах.

2. Тормозные электромагниты МО100, МО200, КМТ могут использоваться только для кранов режимов ЗМ (С).

3. Электрогидравлические толкатели при температурах окружающей среды выше плюс 45°С не применяются.

4. При применении тормозов ТКП величине напряжения на катушках должна быть снижена на 15%.

5. Магнитные контроллеры всех типов должны размещаться в аппаратных кабинах с охлаждением внутреннего воздуха до наибольшей температуры плюс 45°С.

6. При выборе электродвигателей величина расчетной мощности Рр должна быть увеличена на коэффициент K_{tg}, соответствующий температуре окружающей среды

$$P_{pt} = P_p K_{tg} \qquad (5.70)$$

Однако расчет пусковых ступеней резисторов, пусковых моментов на промежуточных ступенях должен проводиться по значениям P_p. Выбор двигателей по мощности P_{pt} обеспечивает создание необходимого теплового запаса для работы при температуре окружающей среды свыше плюс 45°С.

При выборе сечения монтажных проводов и кабелей также должен учитываться тепловой запас по формуле:

$$I_{доп.к} = I_{рк} K_{tк} \qquad (5.71)$$

Данные коэффициентов K_{tg} и $K_{tк}$ приведены в табл. I.

Таблица I

Коэффициенты K_{tg} и $K_{tк}$

Температура окружающей среды	K_{tg}	$K_{tк}$
50°С	I,I	I,I5
55°С	I,I5	I,25
60°С	I,2	I,4
65°С	I,3	I,7

7. При выборе электродвигателей для работы в условиях ухудшенного охлаждения при высокогорном расположении кранов необходимо учитывать, что на каждую I000 м и сверх первой тысячи величина расчетной мощности Рр увеличивается на 15%.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

СПРАВОЧНОЕ

ПРИМЕРЫ ВЫБОРА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

I.I. Пример выбора и тепловой проверки электродвигателей механизма передвижения моста крана грузоподъемностью 10т, работающего в помещении

Исходные данные:

Масса крана G = 13200 кг.

Масса груза Q = 10000 кг.

Масса подвески q = 500 кг.

Сопротивление передвижению $W_н$ - 1270 Н (на один двигатель).

Диаметр ходового колеса $D_к$ = 0,4 м.

КПД механизма η = 0,9.

Отношение числа приводных колес к общему числу колес α = 0,5.

Скорость передвижения $v_г$ = 1,25м/с.

Расчетное ускорение $a_р$ = 0,25 м/с^2.

Число приводных колес $m_к$ = 2.

Группа режима работы - 4М (С).

Мощность установившегося движения на один электродвигатель (формула 2.9.).

$$P_{ст} = \frac{W_н v_г}{1000\,\eta} = \frac{1270 \cdot 1,25}{1000 \cdot 0,9} = 1,77\ кВт$$

Расчетная мощность предварительно выбираемого электродвигателя (формула 2.8.).

$$P_р = \frac{0,66\,(G+Q+q)\,v_г\,a_р}{1000\,\eta\,m_к} + \frac{P_{ст}}{1,75\,\eta}$$

$$P_р = \frac{0,66\ (13200+10000+500)\ 1,25\ \ 0,25}{1000\ \ \ 0,9\ \ \ 2} + \frac{1,77}{1,75\ 0,9} = 3,83\ кВт.$$

Выбираем по каталогу 0,1.06.01-74 два электродвигателя МТF -III-6 мощностью по 3,5 кВт при ε_0=40% с фазным ротором, управление кулачковым контроллером, момент инерции 0,049 кгм^2.

Проверяем выбранный электродвигатель по условиям сцепления.

Величина ускорения без груза при выбранном двигателе (формула 2.22.):

$$a_{p\delta} = \frac{850\, m_K P_H \left[0{,}9 \frac{M_П}{M_H} \pm 0{,}9 \frac{M_{ст}}{M_H}\frac{(G+q)}{(G+Q+q)} - 0{,}1\right]}{(G+q)\, v_r} =$$

$$= \frac{850 \cdot 2 \cdot 3{,}5\left[0{,}9\, 2{,}0 - 0{,}9\, \frac{1{,}77}{3{,}5}\, \frac{13700}{23700} - 0{,}1\right]}{(13200 + 500)\ 1{,}25} = 0{,}49 \text{ м/с}^2$$

Допустимое ускорение по сцеплению a доп. согласно черт. 5. для $\alpha = 0{,}5$ и $\frac{G+q}{G+Q+q} = 0{,}58$ превышает 1 м/с^2, следовательно, по сцеплению выбранный электродвигатель проходит с запасом, т.к. $a_{p\delta} < a_{доп}$

Проверка по теплу по методике эквивалентного КПД.

Группа режима 4М; согласно табл. 1 относительная продолжительность включения $\varepsilon_p = 25\%$ ПВ, расчетное число пусков в час $N_p = 72$ (число включений 120). По формуле 1.6 $N_p = K_{экв} N =$

$= 0{,}6 \cdot 120 = 72$

Определяем суммарный момент инерции крана, груза и электродвигателя (формула 2.31.):

$$\sum J_{\alpha ш} = \frac{91\ (1{,}1\ 13200 + 0{,}66\ 10000)\ 1{,}25^2}{950^2} = 3{,}3 \text{ кг м}^2$$

На один электропривод приходится 1,65 кг м^2.

Момент инерции ротора электродвигателя:

$J_{дв} = 0{,}049$ кг м^2

$1{,}2\ J_{дв} = 1{,}2\ \ 0{,}049 = 0{,}059$ кг м^2.

Исходные данные для проверки по теплу.

Система управления: кулачковый контроллер, торможение противовключением (система К - АД)

Расчетное число пусков в час $N_p = 72$.

$K_{экв} = 0{,}7$
$K_в = 1{,}0$ } Согласно табл. 9

η экв.б. $= 0{,}76$
$K_р = 1{,}22$ } Согласно стр. 34

$K_о = 0{,}81$ по черт. 9 для $\varepsilon_p = 25\%$ ПВ (точка А)

Приведенное число пусков в час:

$$N'_p = N_p \frac{\sum J_{\alpha ш}}{1.2\, J_{дв}} = 72\ \frac{1{,}65}{0{,}059} = 2020 \text{ пусков в час}$$

Согласно чертежу 8 $\eta_{экв} = 0,40$ для $N'_{\rho} = 2020$

Определяем расчетную мощность по теплу по формуле 2.27

$$P_{\rho} = \frac{K_{\rho} K_{экв} K_{з} \eta_{экв.\delta} K_{н} \sqrt{\varepsilon_{\rho}/\varepsilon_{0}} P_{ст}}{K_{\theta}[\eta_{экв.\delta} - 1,25(\eta_{экв.\delta} - \eta_{экв})]} =$$

$$\frac{1,22 \; 0,7 \; 1,0 \; 0,76 \; \sqrt{0,25/0,4} \; 1,0 \; 1,77}{0,81 \; [0,76 - 1,25 \; (0,76 - 0,4)]} = 3,6 \text{ кВт},$$

т.е. электродвигатель по теплу выбран правильно

$$M_{ст} = \frac{9560 \; P_{ст}}{n_{\rho}} = \frac{9560 \; 1,77}{950} = 17,9 \text{ Н м}.$$

Номинальный момент электродвигателя 38 Н м, таким образом, кран разгоняется при минимальном пусковом моменте 0,6-0,7 номинального.

1.2. Пример выбора и тепловой проверки короткозамкнутого электродвигателя для привода тележки крана грузоподъемностью 10т, работающего в помещении.

Исходные технические данные:

Масса груза $Q = 10000$ кг

Масса тележки $G = 2000$ кг

Масса подвески $q = 500$ кг

Сопротивление передвижению $W_{н} = 1100$ Н

Диаметр колеса $D_{к} = 0,25$м

Скорость тележки $v_{т} = 0,67$ м/с

КПД механизма $\eta = 0,9$

Отношение числа приводных колес к общему числу колес $\alpha = 0,5$

Группа режима работы - 4М (С).

Определяем мощность установившегося движения (формула 2.9.)

$$P_{ст} = \frac{W_{н} v_{т}}{1000 \eta} = \frac{1100 \; 0,67}{1000 \; 0,9} = 0,81 \text{ кВт}$$

Определяем расчетную мощность электродвигателя передвижения тележки (формула 2.8.):

Для скорости $v_{т}$=0,67м/с и числа пусков и торможений в час согласно формуле 2.7. $N_{рк} = K_{вкл} N = 0,64 \; 120 = 43$ по табл. 5 определяем расчетное ускорение $a_{\rho} = 0,3$ м/с^2.

$$P_p = \frac{0{,}66\,(G + 0{,}7\,Q + q)\,v_r\,a_p}{1000\,\eta} + \frac{P_{ст}}{1{,}75\,\eta}$$

$$P_p = \frac{0{,}66\ \ (2000 + 0{,}7 + 10000 + 500)\ 0{,}67 \cdot 0{,}3}{1000 \cdot 0{,}9} + \frac{0{,}81}{1{,}75 \cdot 0{,}9} \approx 1{,}92\ кВт$$

Выбираем по каталогу электродвигатель короткозамкнутого типа МТКF 012-6 мощностью 2,2 кВт при 40% ПВ с пусковыми резисторами в цепи статора. Проводим проверку его по теплу и определяем суммарный момент инерции (формула 2.31.)

$$\Sigma J_{общ} = \frac{91\,(1{,}1\,G + 0{,}66\,Q)\,v_r^2}{n_p^2} =$$

$$+ \frac{91\ \ (1{,}1\ \ 2500\ + 0{,}66\ \ 10000)\ \ 0{,}67^2}{950^2} = 0{,}45\ кг\ м^2.$$

Потери за один пуск формула (2.29):

$$A_{оп} = \frac{\Sigma J_{общ}\, n_p^2\, K_g}{182} = \frac{0{,}45 \cdot 950^2 \cdot 1{,}15}{182} = 2580\ Втс$$

$K_g = 1{,}15$ см. черт 10

Потери за одно торможение противовключением, формула 2.30:

$$A_{от} = \frac{0{,}45 \cdot 950^2 \left[\left(\frac{950+750}{950}\right)^2 - 1\right] \times \ 0{,}9}{182} = 4060\ Втс.$$

Потери статического режима за час; формула (2.32):

$$A_{ст} = 3600\ \mathcal{E}_p\ n_0\ M_{ст}\ S_{ст}/955 =$$

$$= 3600 \cdot 0{,}25 \cdot 1000 \cdot 8{,}2 \cdot 0{,}06/9{,}55 = 16800\ Втс.$$

$$M_{ст} = \frac{9560\ P_{от}}{n_p} = 8{,}2\ Н\,м$$

$S_{ст} = 0{,}06$ по механич. характеристикам эл. двигателя

Допустимые потери в режиме 40% ПВ за 1 час составляют: формула (2.33)

$$A_{доп} = \frac{24 \cdot 1000 \cdot 0{,}12 \cdot 0{,}4 \cdot 3600}{9{,}55} = 420000\ Втс.$$

Число пусков и торможений в час; формула (2.34):

$$N_{доп} = \frac{420000 - 16800}{2580 + 4060} = 61.$$

Таким образом, для режимов ПВ-4М электродвигатель удовлетворяет требованию $120\ 0{,}6^2 = 43$ пусков и торможений противовключением с запасом.

В снижении плотности пускового тока нет необходимости, т.к. его величина не превышает 30 А/мм². (См. Металл)

Проводим проверку по сцеплению.

Для тележки с массой $G+q$ = 2500 кг отношение

$$\frac{G+q}{G+Q+q} = \frac{2500}{2500+10000} = 0,2.$$

Согласно черт. 5 максимально допустимое ускорение без груза для этого условия составляет при $\psi = 0,5$ $a_{доп} = 0,46$ м/с² по формуле (2.22), фактическое ускорение будет:

$$a_{рб} = \frac{850 \cdot 2,2 \cdot (0,55 - 0,9\frac{0,2}{2,1}\cdot\frac{2500}{12500} - 0,1)}{(2000+500)\ 0,67} = 0,415 \text{ м/с}^2$$

т.о. сцепление не нарушается при пусковом моменте, равном 0,55 номинального: $a_{рб} < a_{доп}$

Момент статической нагрузки $M_{от} = \frac{2660 \cdot R_{от}}{890} = 8,7$ Н м.

Пусковой момент первого положения составляет 13 Н м. Для уверенного разгона при движении с номинальным грузом пусковой момент второго положения должен быть не ниже 8,7 · 1,9 = 16,5 Н м. (формула 2.24) Для второго положения реализуемая величина пускового момента, равную номинальному - 24 Н м.

1.3. Пример выбора электродвигателя для механизма передвижения тележки вершобезопасного крана грузоподъемностью 12,5т с прямым пуском от сети.

Исходные данные:

Масса груза Q = 12500 кг

Масса тележки G = 4500 кг

Масса подвески q = 500 кг

Скорость тележки $V_т$ = 0,2 м/с

Сопротивление передвижению $W_н$ = 1600 Н

Диаметр ведущего колеса $D_к$ = 0,25м

Отношение числа ведущих колес к общему числу колес α = 0,5

КПД η = 0,85

Группа режимов IM-2M (Л).

Определяем расчетную мощность электродвигателя по формуле (2.10)

$$P_p = \frac{M_н}{M_{пуск}} \frac{8 \varphi \alpha G v_г}{1000 \eta}$$

$$P_p = \frac{0,45 \cdot 8 \cdot 0,2 \cdot 0,5 \cdot 4500 \cdot 0,20}{1000 \quad 0,85} = 0,38 \text{ кВт.}$$

Выбираем электродвигатель ВТ 63В4 мощностью 0,37 кВт, 15% ПВ; 1350 об/мин; Мпуск = 5,8 Н м; $J_{уд}$ = 0,0014 кг м²; h_0 = 8500.

Определяем передаточное число механизма

$$U = \frac{\pi D_к n_p}{60 \; v_г} = \frac{\pi \quad 0,25 \cdot 1350}{60 \cdot 0,20} = 88.$$

Определяем момент при установившемся движении по формуле (2.9)

$$M_{ст} = \frac{W_н \; D_к}{2 U \eta} = \frac{1600 \cdot 0,25}{2 \cdot 84 \cdot 0,85} = 2,8 \text{ Н м.}$$

Определяем суммарный приведенный момент инерции установки

$$\sum J_{общ} = \frac{1,2 \cdot 91 (G+Q+q) v_г^2}{n_p^2} =$$

$$= \frac{1,2 \quad 91 \quad (12500+4500+500) \quad 0,20^2}{1350^2} = 0,047 \text{ кг м}^2.$$

Согласно формуле (2.11) $a_{доп} = \frac{2 K_{зс} [\varphi \alpha g (G+q) \pm W_н] - (G+Q+q) v_г}{16 (G+Q+q) v_г} =$

$$= \frac{2 \cdot 0,7 \; [0,2 \; 0,5 \; 9,81 \; (4500+500) + 1600] - (12500+4500+500) \; 0,2}{16 \; (4500+12500+500) \quad 0,2} =$$

$= 0,1$ м/с² (черт 7 $a_{доп} = 0,1$ м/с²)

т.о. при этом ускорении $t_п = \frac{v_г}{a_{доп}} = \frac{0,2}{0,1} = 2$с меньше допустимого времени пуска 3с. (п 2.2.2)

Проверка сцепления:

Согласно формуле (2.23)

$$K_{зс} \left[\varphi \alpha g (G+q) \mp 0,9 W_н \left(\frac{G+q}{G+Q+q} \right) + 0,1 W_н \right] > 1000 \; P_н \frac{M_п}{M_н} \frac{\eta}{v_г}$$

$$0,7 \left[0,2 \; 0,5 \; 9,81 \; (4500+500) + 0,9 \; 1600 \; \frac{5000}{17500} + 0,1 \quad 1600 \right] >$$

$$> 1000 \quad 0,37 \; \frac{5,8}{2,5} \quad \frac{0,85}{0,2}$$

$$3900 > 3660.$$

Сцепление с коэффициентом запаса 1,5 обеспечивается при всех -

грузах.

Производим проверку допустимого числа пусков по методике для двигателя серии 4А (формула 3.58.).

$$N_{доп} = h_o \frac{\beta_3 I_{дв}}{\sum I_{общ}} (1 - \varepsilon_p) =$$

$$= 8500 \frac{0,3 \cdot 0,0014}{0,047} (1 - 0,25) = 57. \quad (\text{табл I } N=60)$$

Электродвигатель по теплу для группы режима 2М проходит.

I.4. Пример выбора электродвигателя механизма передвижения мостового металлургического крана грузоподъемностью 5+5т.

Исходные данные:

Грузоподъемность суммарная	Q	= I0т
Масса крана	G	= 75т
КПД механизма	η	= 0,9
Число электродвигателей	$m_к$	= 2
Отношение числа ведущих колес к общему числу колес	α	= 0,5
Скорость передвижения	$v_г$	= 2,5 м/с
Время паузы в циклической работе крана	$t_{откл}$	= I5 с

Группа режима работы 6М (ВТ)

Ускорение – максимальное по условиям сцепления.

Согласно формуле (2.I3.) определяем расчетную мощность двигателя:

$$P_p = \frac{G v_г \alpha K_{вкл}}{36 \cdot 10^3 \eta m_к} \sqrt{\frac{100 N v_г \eta}{\varepsilon_o \alpha}}$$

Согласно формуле (I.6.) $K_{вкл} = 0,6$. Величины N и ε_o принимаем согласно таблице I. $\varepsilon_o = 60\%$ ПВ N = 300–600 включений в час, устанавливаем 360.

$$P_p = \frac{75000 \cdot 2,5 \cdot 0,5 \cdot 0,6}{36 \cdot I0^3 \cdot 0,9 \cdot 2} \sqrt{\frac{I00 \cdot 360 \cdot 2,5 \cdot 0,9}{60 \cdot 0,5}} = 45 \text{ кВт.}$$

Согласно п. 2.I.3, частота вращения двигателя должна быть 600–I000 об/мин.

Выбираем два варианта двигателя:

а) Электродвигатель 4МТН280М10 со следующими данными:

мощность 48 кВт 60% ПВ 575 об/мин;

ток статора 125А масса 1000 кг;

б) Электродвигатель 4МТН225М6 со следующими данными:

мощность 44 кВт 60% ПВ 970 об/мин;

ток статора 99А масса 520 кг.

Окончательный выбор двигателя должен осуществляться в зависимости от общей массы двигателя и редуктора, учитывая, что передаточное отношение редуктора для случая "б" в 1,7 раза ниже, чем для случая "а". Других проверок не требуется.

I.5. Пример выбора двигателя для механизма подъема крана.

I. Выбор двигателя для механизма подъема крана группы режимов 6М грузоподъемностью Q = 16т. Масса подвески q = 0,5т, скорость подъема $v_п$ = 0,35м/с, диаметр барабана с навитым $D_б$ =0,52м, КПД механизма η = 0,84, число механизмов $m_п$ =1, передаточное число полиспаста $u_п$=2, относительная продолжительность включения $\varepsilon_р$ = 60% ПВ Тормоз ТКП 600.

Определяем мощность статической нагрузки (формула 3.42.):

$$P_{ст} = \frac{(Q+q)\,v_п}{102\,\eta\,m_п} = \frac{(16000+500)\;0,35}{102\;0,84\;1,0} = 67,5 \text{ кВт}$$

В соответствии с п. 3.2.2. принимаем частоту вращения электродвигателя 570-580 об/мин и определяем передаточное число (формула 3.43.):

$$U = \frac{\pi D_б\, n_р}{60\, v_п\, u_п} = \frac{\pi\;0,52\;570}{60\;0,35\;2} = 22$$

Момент на валу электродвигателя при подъеме номинального груза (формула 3.44.):

$$M_{ст} = \frac{9560\;P_{ст}}{n_р} = \frac{9560\;67,5}{570} = 1130 \text{ Н м.}$$

Для управления двигателем принимаем электропривод с динамическим торможением способом самовозбуждения - ИКД-422. Согласно таблицам 10 и 11 определяем коэффициенты $K_д$; K_ε ; $K_{пр}$; $K_м$ - согласно п. 3.2.4.

Предварительно выбираем электродвигатель, пользуясь формулой (3.47.):

$P_р = K_р K_и K_з K_\varepsilon K_{нр} P_{ст} = 0,7 \quad 1,2 \; 1,0 \; 1,12 \; 1,4 \; 67,5 = 90$ кВт

Выбираем электродвигатель МТН 711-10 мощностью 100 кВт 40% ПВ, момент инерции 10 кг м^2, частота вращения 584 об/мин.

Определяем суммарный момент инерции (формула (3.49):

$$\Sigma J = 1,3 J_{дв} + \frac{91 (Q+q) v_п^2}{n_р^2} =$$

$$= 1,3 \; 10 + \frac{91 \quad (16000+500) \quad 0,35^2}{584^2} = 13,5 \text{ кг м}^2$$

Эквивалентное число пусков

$$N' = N_р \frac{\Sigma J_{обш}}{1,3 J_{дв}} = 220 \quad \frac{13,5}{13} = 225$$

η экв. = 0,72 для N' = 225 (согласно черт. 8 и п. 2.4.2.) $\eta_{экв.\delta}$ = 0,81 (см. отр. 34)

Согласно 3.5.2. $K_{экв.}$ заменен на $K_и$ = 0,7; $\eta_{экв.\delta}$ в числителе заменен на K_ε = 1,12; $K_р$ = 1,0 (согласно табл. 10):

Определяем расчетную мощность по тепловым условиям (формула 2.27. с учетом п. 3.5.2.):

$$P_р = \frac{K_р K_{экв} K_з \eta_{экв.\delta} K_н \sqrt{\varepsilon_р / \varepsilon_о} \; P_{ст}}{K_о [\eta_{экв.\delta} - 1,25 (\eta_{экв.\delta} - \eta_{экв})]} =$$

$$= \frac{0,7 \; 1,2 \; 1,12 \; 1,0 \sqrt{0,6/0,4} \quad 67,5}{1,12 \; [0,81 - 1,25 \; (0,81-0,72)]} = 100 \text{ кВт}$$

Окончательно выбираем электродвигатель МТН 711-10 мощностью 100 кВт 583 об/мин 40% ПВ. Производим проверку выбора тормоза ТКП 600.

$$M_{тр} = K_{зт} \quad M_{ст} \eta^2 = 2,5 \quad 1130 \quad 0,84^2 = 2000 \text{ Н м.}$$

Определяем мощность потерь тормоза ТКП 600 (формула 3.56):

$$\Delta P = \frac{1,52 \Sigma J_{обш} n_т^2 N_{тр}}{4 \cdot 10^5} \left(\frac{M_{тр}}{M_{тр} + M_{ст}} + \frac{M_{тр} \; K_{нг}}{M_{тр} - \eta M_{ст} + M_в} \right.$$

$$\Delta P = \frac{1{,}52\ (1{,}3 \cdot 10 + 0{,}5)\ 585^2\ 360}{4 \cdot 10^6} \left(\frac{20000}{2000 + 1130} + \frac{2000 \cdot 0{,}5^2}{2000 - 0{,}85\ 1130 + 1000} \right)$$

$$= 650 \text{ Вт.}$$

Допустимая энергия торможения (*формула 3.57*):

$$\Delta P_{доп} = 360 D_ш (10 D_ш + 1) = 360 \cdot 0{,}6\ (10 \cdot 0{,}6 + 1{,}0) = 1500 \text{Вт}$$

Тормоз проходит с запасом по теплу при 360 торможений в час.

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

СПРАВОЧНОЕ

ДОПОЛНЕНИЕ К МЕТОДИКЕ ВЫБОРА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ДЛЯ МЕХАНИЗМОВ ПЕРЕДВИЖЕНИЯ МОСТОВЫХ И КОЗЛОВЫХ КРАНОВ

1. Вывод формулы (2.2.) расчетной мощности электродвигателя:

$$t_p = \frac{\sum J_{общ}\, n_p}{9{,}55\,(M_п - M_{ст})} = \frac{v_г}{a_p}$$

$$M = \frac{2{,}2\,M + 1{,}3\,M_п}{2} = 1{,}75\,M_п \text{ (см. черт. 4)}$$

Принимаем $\sum J_{общ} = 1{,}15\, J_п$

$$J_п = \frac{91\,(G+Q+q)\,v_г^2}{m_к\, n_p^2\, \eta}$$

$$\sum J_{общ} = \frac{1{,}15 \cdot 91\,(G+Q+q)\,v_г^2}{m_к \cdot n_p^2\, \eta}$$

$$M_п = \frac{9560\ P_p}{n_p} \qquad M_{ст} = \frac{9560\ P_{ст}}{n_p}$$

$$\frac{v_г}{a_p} = \frac{1{,}15 \cdot 91\,(G+Q+q)\,v_г^2\, n_p^2}{n_p^2\, m_к\, 9{,}55 \cdot 9560\, \eta\,(1{,}75\,P_p - P_{ст})}$$

$$P_p = \frac{0{,}86\,(G+Q+q)\,v_г\, a_p}{10^3\, m_к\, \eta} + \frac{P_{ст}}{1{,}75\,\eta}$$

2. По методике выбора электродвигателей AEG время разгона механизма передвижения принимается

$t_{p\,макс} = 4$ с

мощность статической нагрузки передвижения в помещении

$P_{ст} = 0{,}07 \cdot 10^{-3}\,(G+Q)\,v/\eta$ кВт

Мощность статической нагрузки на открытом воздухе

$P_{ст} = 0{,}2 \cdot 10^{-3}\,(G+Q)\,v/\eta$ кВт

3. Пусковые плотности тока короткозамкнутых электродвигателей 4АС.

Электродвигатели 4АС имеют плотности пускового тока 40-54 $А/мм^2$.

Время нахождения под пусковым током

$$t_{макс} = \frac{\tau \cdot 200}{j^2} \quad \frac{80 \cdot 200}{47^2} = 7{,}2 \text{ с}$$

где: τ – перегрев номинального режима – 80°С для изоляции класса В.

Допустимая плотность тока при времени пуска и реверса – 10 с.

$$j = \sqrt{\frac{65 \cdot 200}{10}} = 36 \text{ А/мм}^2$$

где: 65 – перегрев за время одного пуска и реверса (10с).

Таблица 2

Данные электродвигателей 4АС

Тип	Мощность при 40% ПВ кВт	η	j А/мм²	Мп, Нм	Iп/Iн	j пуск: А/мм²	пусков в час вхолостую h_0
4АС71В4	0,7	69	8,8	9,4	4,5	40	6900
4АС80В4	1,3	71	8,3	17,5	5,0	41,5	7800
4АС90L4	1,9	77	8,3	25,4	6,0	50	7900
4АС100L4	3,3	80	6,7	44	6,0	40	7800
4АС112М4	4,2	81	7,8	55,5	7,0	54,5	7300
4АС 132М4	7,1	84	6,6	94,5	7,0	46	6800
4АС 100L6	1,8	76,5	7,0	34	6,0	42	7800
4АС 112М6	3,2	77,5	7,8	60	6,5	51	8800
4АС 132М6	4,5	81	7,5	85	6,5	49	7100

4. Выбор электродвигателей для механизмов передвижения при предельном использовании кранов по ускорению.

Исходные данные: коэффициент сцепления α макс = 0,2. Максимальный момент электродвигателя по условиям сцепления:

$$M_{макс\ сц} = \frac{19\ G\ D_r\ \alpha}{h\ \eta} \quad \text{(Н м)}$$

Момент статической нагрузки (Н м)

$$M_{ст} \simeq \frac{(G+Q)\,v_r}{m_к\, n_р\, \eta_1}$$

Динамический момент при разгоне

Ммакс.д = 2,5 Мн Мпер = I,6 Мн (см. черт. 4)

$$M_{дин} = \frac{2,5+1,6}{2}$$

Мн – Мст = 2,0 Мн – Мст

Полагая Ммакс.сц = Ммакс.д

$$M_{дин} = \frac{2,0 \cdot 19\, G\, v_r\, \alpha}{2,5\, n_р\, \eta} - \frac{\left(G+\frac{Q}{2}\right) v_r}{n_р\, \eta}$$

принимаем $\frac{Q}{2} = 0,1\,G$

Находим средний пусковой и динамический моменты:

$$M_{ср\,п} = \frac{15,2\, G\, v_r\, \alpha}{10^3\, n_р\, \eta}$$

$$M_{дин.п} = \frac{G\, v_r}{10^3\, n_р\, \eta}\,(15,2\alpha - 1,05)$$

Аналогичным образом находим моменты тормозных режимов в режиме противовключения по типовым механическим характеристикам:

Мтор = 0,75 Мн

$$M_{тор} = \frac{5,1\, G\, v_r\, \alpha}{10^3\, n_р\, \eta}$$

$$M_{дин\ т} = \frac{G\, v_r}{10^3\, n_р\, \eta}\,(5,1\alpha + 1,05)$$

Полагая, что потери статических режимов не превышают 5% общих потерь за цикл, учитываем их в виде коэффициента I,05.

$$M_{ср\,кв} = 1,05 \sqrt{\left[\frac{15,2^2 G^2 \alpha^2 v_r^2}{n_р^2 \eta^2 10^6} \cdot \frac{11\, v_r\, \eta}{(14,5\alpha - 1)} + \frac{5,1^2 G^2 \alpha^2 v_r^2}{n_р^2 \eta^2 10^6} \cdot \frac{11\, v_r\, \eta}{(4,9\alpha + 1)}\right] \frac{N_р}{3600\, \varepsilon_р}}$$

Принимая $P_{ср\,кв} = \frac{M_{ср\,кв}\, n_р}{9560}$

$$P_{ср\,кв} = \frac{G\, v_r\, \alpha}{10^3\, 32,5\, \eta} \sqrt{\frac{N_р\, 2 v_r\, \eta}{\varepsilon_р}\left(\frac{8,9}{14,5\alpha - 1} + \frac{1}{4,9\alpha - 1}\right)} \simeq \frac{G\, v_r\, \alpha}{10^3 36\, \eta} \sqrt{\frac{N_р\, 2 v_r\, \eta}{\varepsilon_р\, \alpha}}$$

$$P_р = P_{ср\,кв} \sqrt{\varepsilon_0 / \varepsilon_р}$$

$$P_p = \frac{G\, v_г\, \alpha\, K_{вкл}}{10^3\, 36\, \eta} \sqrt{\frac{100\, N\, v_г\, \eta}{\varepsilon_0\, \alpha}}$$

5. Короткозамкнутые электродвигатели в диапазоне мощностей I,0–8,5 кВт при I000 об/мин имеют постоянные параметры, определяющие их тепловые возможности по реализации необходимой частоты пусков (табл. 3).

Таблица 3

Сравнительные данные для определения числа пусков

Число пусков вхолостую: h_c	МТК F 4АС	2350 7500
Отношение $P_н/4J_{дв}$	МТК F 4АС	I9 60
$\frac{4h_c J_{дв}}{P_н}$		~ I20

Для условия $\frac{4h_c J_{дв}}{P_н}$ допустимое число пусков двигателей в зависимости от основных параметров кранов $v_г$ и a_p устанавливаются формулой

$$N = \frac{38(6{,}6a_p + 0{,}6)}{(1+\sigma)\, v_г} \sqrt[4]{\varepsilon_c/\varepsilon_p} \sqrt{1 - \frac{0{,}6\, b_2}{6{,}6\, a_p + 0{,}6}}$$

где: σ – коэффициент, характеризующий условия торможения 0,5–I,65;

b_2 – коэффициент, характеризующий величину статической нагрузки;

b_2 = I – в помещении b_2 = 3 – на открытом воздухе;

величина $\sqrt[4]{\varepsilon_c/\varepsilon_p}$ для двигателей серии 4АС принята 0,7.

6. Сравнение различных методов выбора электродвигателей и связь между ними.

До настоящего времени определению мощности электродвигателей механизма передвижения осуществлялось в СССР по эмпирической формуле:

$$P_н = \frac{(G+Q)\, v_г}{10^3\, q_1} \quad \text{(кВт)} \qquad [\text{ЛI}]$$

где: η_1 – эмпирический коэффициент, равный 3,33 для мостов кранов режимов Л, С, Т и тележек кранов Т, ВТ; 4,2 – для тележек кранов Л, С; 2 – для мостов металлургических кранов режима ВТ.

За рубежом определение мощности электродвигателей по формуле:

$$P_н = \frac{P_{ст} + 10^{-3}(G+Q)v_г a_р}{1,7 \div 2,0} \quad [Л2] \quad \text{или}$$

$$P_н = \frac{P_{ст}}{1,7} + \frac{\eta_1 \varepsilon (G+Q) v_г^2}{10^3 \, t_{раз}} \quad [Л8]$$

Эти эмпирические формулы [Л2, Л8] полностью идентичны основной формуле (2.8.) настоящей методики, а формула Л1 в существующей практике полностью идентична основной формуле данной методики при среднем ускорении $a_р = 0,3$ м/с^2.

Эмпирическая формула [Л1] для режимов работы ВТ идентична по конечным результатам формуле (2.13.) настоящей методики.

7. В табл. 4 приведены сравнительные данные по режимам работы ГОСТ 25835-83, ГОСГОРТЕХНАДЗОР и европейских норм FEM 9.681.

Таблица 4

Сравнительные данные режимов механизмов

Классификация по правилам ГОСГОРТЕХНАДЗОРа	Группа режимов работы механизма по ГОСТ 25835-83 СТСЭВ 2077-80	Относительная продолжительность включения ПВ %	Среднее число включений в час	Классификация по европейским нормам FEM 9.681 FEM 9.682	Число включений в час по FEM
	1М	15	60	1Dm	60
Л	2М	15	60	1Cm	90
	3М	25	90	1Bm	120
				1Am	150
С	4М	40	120	2 m	180
	5М	40	240	3 m	240
Т				4 m	300
ВТ	6М	60	св.360	5 m	св.360

П Е Р Е Ч Е Н Ь

документов, на которые имеются ссылки в руководящем техническом материале

Обозначение документа	Номер пункта
ГОСТ 183-76	I.I.I.; 4.7.4.
ГОСТ 1451-77	I.3.
ГОСТ 10130-79	4.6.
ГОСТ 13109-67	3.I.I.
ГОСТ 14254-80	4.5.
ГОСТ 15150-69	4.5.; 4.8.2.
ГОСТ 25546-82	I.I.I.; I.2.I.
ГОСТ 25836-83	I.2.2.; I.2.3.; I.3.; 4.I.2.
РТМ 24.090.04-73	4.8.5.
РТМ 24.090.37.-78	4.7.2.

С О Д Е Р Ж А Н И Е

I. Общие положения 2

2. Расчет и выбор электрооборудования и тормозов к механизму передвижения крана (тележки) 11

3. Расчет и выбор электрооборудования и тормозов к механизму подъема кранов 41

4. Выбор систем управления, аппаратуры и электромонтажа кранов 54

Приложение I. Особенности выбора электрооборудования при эксплуатации кранов в среде с окружающей температурой выше плюс 45°С или в условиях высокогорья 70

Приложение 2. Примеры выбора электродвигателя 72

Приложение 3. Дополнение к методике выбора электродвигателей для механизмов передвижения мостовых и козловых кранов 82

Перечень документов, на которые имеются ссылки в руководящем техническом материале 88

ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ

Порядковый номер изменения	Номер листов (страниц)			Дата и номер указания об утверждении	Подпись	Дата	Срок введения изменения
	замененных	замененных	новых	аннулированных				

Ротапринт ВНИИТМАШ Заказ № 87. Тираж 300 экз.

gost.e-ecolog.ru