

## СОДЕРЖАНИЕ

Задание на расчетно-графическую работу .....	3
Исходные данные для выполнения задания .....	3
Расчет и выбор мощности двигателя электропривода перемещения тележки. Проверка выбранного двигателя по нагреву и перегрузочной способности .....	3
Технические характеристики механизма тележки.....	3
Расчет статической нагрузки двигателя.....	4
Выбор мощности двигателя механизма тележки.....	4
Расчет динамической нагрузки и времени изменения скорости двигателя при пуске и торможении.....	6
Проверка выбранного двигателя на нагрев и перегрузочную способность.....	8
Расчет и построение естественной механической характеристики двигателя .....	9
Расчет сопротивлений пусковых резисторов .....	12
Расчет и выбор тормозного устройства .....	14
Разработка принципиальной схемы управления электроприводом крановой тележки.....	15
Выбор аппаратов управления и защиты электропривода крановой тележки .....	18
Перечень использованной литературы .....	19

DRAFT

## Задание на расчетно-графическую работу

1. Рассчитать мощность кранового электропривода по условию теплового нагрева. Выбранный двигатель проверить по условиям допустимой кратковременной перегрузки и надежности пуска.
2. Рассчитать и построить естественную механическую характеристику выбранного электродвигателя.
3. Рассчитать сопротивления ступеней пускового резистора. В процессе пуска вращающий момент и ток должны изменяться в следующих пределах:
  - а) для асинхронных двигателей  $(1,1 \div 1,2)M_{ном} \leq M \leq 0,7M_{макс}$  ;
  - б) для двигателей постоянного тока последовательного возбуждения  $I_{перекл.} \leq I \leq 2,5I_{ном}$  ,  
где ток переключения  $I_{перекл.}$  соответствует моменту переключения  $M_{перекл.} = (1,1 \div 1,3)M_{ном}$  .
4. Рассчитать параметры тормоза и выбрать по каталогу его тип и привод.
5. Для заданного типа двигателя и режима работы выбрать и начертить схему электропривода заданного кранового механизма; составить спецификацию электрооборудования; показать токовые цепи в силовой цепи и схеме управления.
6. Выбрать по каталогам защитную панель и следующие аппараты управления и защиты: линейный контактор, максимальные реле, предохранители цепей управления и тип конечного выключателя.

### Исходные данные для выполнения задания

Механизм: *передвижение тележки.*

Грузоподъемность крана  $Q$ , т: 41.

Тип двигателя: *ДПТ.*

Режим работы механизма: *С.*

Напряжение на двигателе  $U$ , В: 220.

Массу тележки принять равной 30% от номинальной грузоподъемности крана.

Положение рукоятки контролера: *4-е положение «назад».*

## Расчет и выбор мощности двигателя электропривода перемещения тележки. Проверка выбранного двигателя по нагреву и перегрузочной способности

### Технические характеристики механизма тележки

Кинематическая схема электропривода тележки изображена на рисунке 1. Вращающий момент двигателя  $D$  передается колесу тележки через редуктор  $P$  и пару упругих втулочно-пальцевых муфт.

Определим некоторые технические характеристики механизма тележки моста, необходимые для проведения расчета:

Масса подвески крана в зависимости от грузоподъемности:  $q = 1360$  кг .

Масса тележки:  $G_m = 0,3Q = 0,3 \cdot 41000 = 12300$  кг = 12,3 т .

Диаметр ходового колеса:  $D = 320$  мм = 0,32 м .

Расчетное значение КПД крановой передачи:  $\eta_{мех.ном} = 0,8 \dots 0,9 \approx 0,85$  .

Момент нагрузки двигателя передвижения тележки при отсутствии груза на крюке:  
 $35 - 50\% M_{ном}$ .

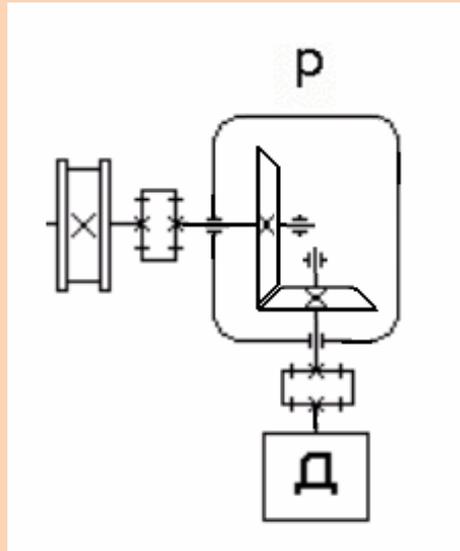


Рисунок 1. Упрощенная кинематическая схема электропривода тележки.

Номинальная скорость движения нагруженной тележки:  $V_{ном} = 0,2 \div 0,6 \text{ м/с} \approx 0,4 \text{ м/с}$ .

Максимально допустимое ускорение:  $a_{доп} = 0,6 \div 0,8 \approx 0,7 \text{ м/с}^2$ .

Максимальный ход тележки:  $L = 5 \div 30 \text{ м} \approx 20 \text{ м}$ .

Максимально допустимое время пуска механизма:  $t_{доп} = 10 \div 15 \text{ с}$ .

Продолжительность включения механизма, согласно заданному режиму работы:  
 $ПВ\% = 15 \div 25\%$ .

Число включений механизма в час:  $N_g = 120 \div 200$ .

### Расчет статической нагрузки двигателя

Статическая мощность на валу двигателя при движении тележки в установившемся режиме с номинальным грузом равна:

$$P_{c.n} = \frac{(Q + q + G_m) \cdot V_{ном}}{11\eta_0} = \frac{(41 + 1,36 + 12,3) \cdot 10^3 \cdot 0,4}{11 \cdot 0,1} = 19876,4 \text{ Вт},$$

где  $\eta_0 = 0,1$  - КПД ненагруженного механизма.

Статическая мощность на валу двигателя при движении тележки в установившемся режиме без груза равна:

$$P_{c.0} = \frac{(q + G_m) \cdot V_{ном}}{11\eta_0} = \frac{(1,36 + 12,3) \cdot 10^3 \cdot 0,4}{11 \cdot 0,1} = 4967,3 \text{ Вт}.$$

### Выбор мощности двигателя механизма тележки

Выбор мощности двигателя произведем на основании нагрузочной диаграммы механизма  $P_c = f(t)$  за цикл работы.

Рассчитаем и построим упрощенную нагрузочную диаграмму механизма тележки мостового крана. Для следующего алгоритма работы:

- время  $t_1$ : движение тележки полный путь по мосту крана, от одного концевого выключателя до другого с номинальным грузом;
- время  $t_2$ : неподвижное состояние тележки при разгрузке крана;
- время  $t_3$ : движение тележки в противоположную сторону полный путь по мосту крана без нагрузки;

- время  $t_4$ : неподвижное состояние тележки при загрузке крана.

Примерная нагрузочная диаграмма, согласно приведенному алгоритму работы крана, представлена на рисунке 2.

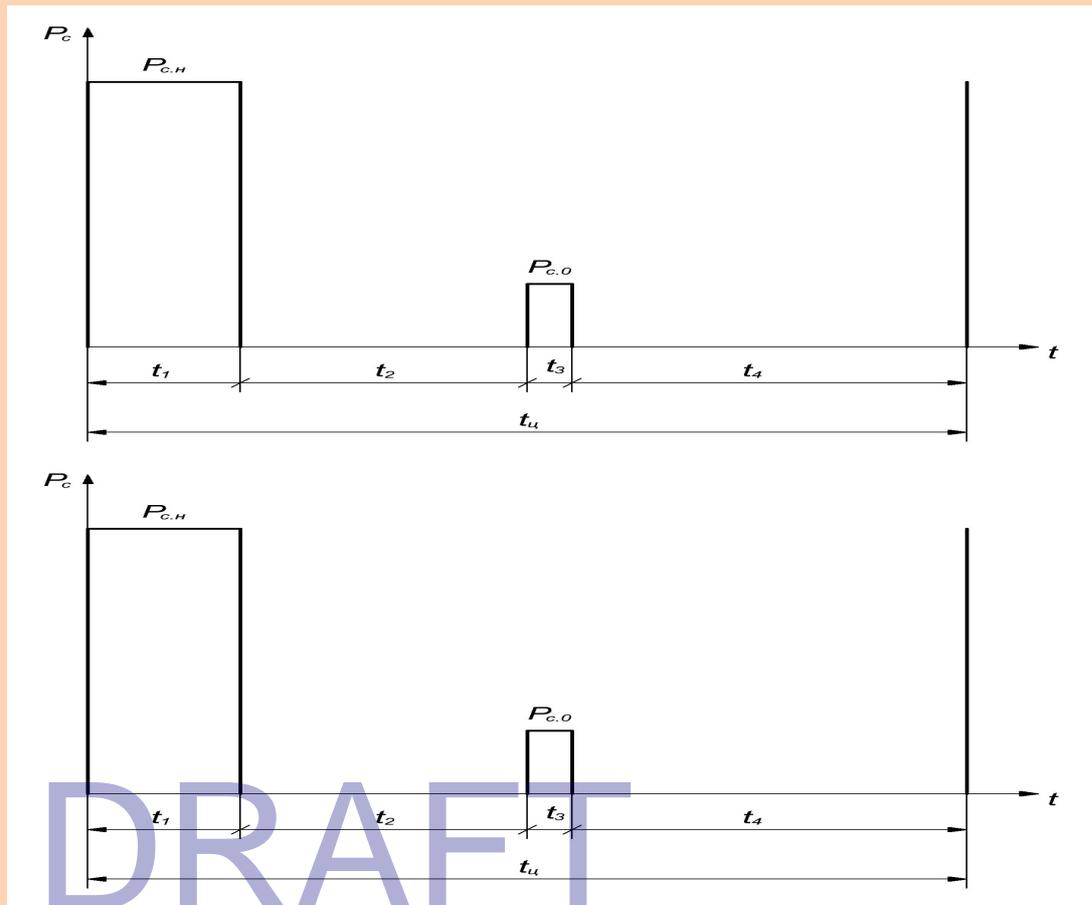


Рисунок 2. Упрощенная нагрузочная диаграмма привода тележки мостового крана.

Время  $t_1$  движения тележки с номинальным грузом определяется выражением:

$$t_1 = \frac{L}{V_{ном}} = \frac{20}{0,4} = 50 \text{ с}.$$

Время  $t_3$  движения ненагруженной тележки равно:

$$t_3 = \frac{L}{4 \cdot V_{ном}} = \frac{20}{4 \cdot 0,4} = 12,5 \text{ с}$$

Суммарное время работы механизма равно:

$$t_p = t_1 + t_3 = 50 + 12,5 = 62,5 \text{ с}.$$

Расчетная продолжительность включения механизма равна:

$$ПВ_{расч} = 20\%.$$

Суммарное время пауз найдем из следующего соотношения:

$$t_n = t_2 + t_4 = \frac{t_p(100 - ПВ_{расч})}{ПВ_{расч}} = \frac{62,5 \cdot (100 - 20)}{20} = 250 \text{ с}.$$

Время нагрузочного цикла равно:

$$t_{ц} = t_p + t_n = 62,5 + 250 = 312,5 \text{ с}.$$

Эквивалентная мощность статической нагрузки двигателя за цикл нагружения равна:

$$P_{c.э} = \sqrt{\frac{P_{c.н}^2 \cdot t_1 + P_{c.0}^2 \cdot t_3}{t_p}} = \sqrt{\frac{19876,4^2 \cdot 50 + 4967,3^2 \cdot 12,5}{62,5}} \cong 17916,2 \text{ Вт}.$$

Та же мощность, приведенная к стандартной продолжительности включения  $ПВ_{ст} = 40\%$  определяется выражением:

$$P'_{c.э} = P_{c.э} \sqrt{\frac{ПВ_{расч}}{ПВ_{ном}}} = 17916,2 \sqrt{\frac{20}{40}} \approx 12668,7 \text{ Вт}.$$

Проверка мощности двигателя с учетом дополнительной нагрузки в периоды пуска и электрического торможения:

$$P_{дв} \geq (1,1 \div 1,4) P'_{c.э} = 1,2 \cdot 12668,7 = 15202,44 \text{ Вт}.$$

Согласно рассчитанной эквивалентной мощности статической нагрузки привода и учетом повышения мощности в динамических режимах работы, выбираем стандартный краново-металлургический двигатель постоянного тока последовательного возбуждения со следующими техническими характеристиками:

Исполнение: *тихоходный*.

Тип: *Д806*.

Номинальная мощность на валу, кВт: *17*.

Номинальный ток двигателя, А: *92*.

Номинальная частота вращения вала, об/мин: *640*.

Момент инерции вала, кг·м<sup>2</sup>: *4,0*.

Сопротивление якорной обмотки, Ом: *0,11*.

Сопротивление обмотки возбуждения, Ом: *0,052*.

Расчетное значение передаточного числа редуктора Р (см. рис. 1) может быть определено из соотношения между скоростью вращения вала и скоростью перемещения тележки:

$$n_{ном} = \frac{60V_{ном}i_p}{\pi D} \Rightarrow i_p = \frac{n_{ном}\pi D}{60V_{ном}} = \frac{640 \cdot \pi \cdot 0,32}{60 \cdot 0,4} = 26,81.$$

Ближайшее стандартное значение передаточного числа двухступенчатого редуктора механизма перемещения тележки равно 32,42.

Статический момент нагрузки, при номинальной линейной скорости перемещения тележки и номинальной статической нагрузке механизма, равен:

$$M_{c.н} = \frac{P_{c.н} \cdot D}{V_{ном} \cdot i_p} = \frac{19876,4 \cdot 0,32}{0,4 \cdot 26,81} \cong 593,1 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Статический момент нагрузки, при линейной скорости перемещения тележки  $V_0 = 4V_{ном}$  и статической нагрузке механизма  $P_{c.0}$ , равен:

$$M_{c.0} = \frac{P_{c.0} \cdot D}{4V_{ном} \cdot i_p} = \frac{4967,3 \cdot 0,32}{4 \cdot 0,4 \cdot 26,81} \cong 37,1 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

### **Расчет динамической нагрузки и времени изменения скорости двигателя при пуске и торможении**

Суммарный приведенный к валу двигателя момент инерции нагруженной системы:

$$J_{\Sigma 1} = k \cdot J_{дв} + m_{\Sigma} \cdot \left( \frac{V}{\omega_{дв}} \right)^2 = k \frac{GD^2_{дв}}{4g} + (q + G_m + Q) \cdot \left( \frac{D}{2i_p} \right)^2 = 1,2 \cdot \frac{1}{9,81} + (41 + 12,3 + 1,36) \cdot 10^3 \times \\ \times \left( \frac{0,32}{2 \cdot 26,81} \right)^2 = 2,069 \text{ кг} \cdot \text{м}^2,$$

где  $GD^2_{дв} = 4,0 \text{ кгс} \cdot \text{м}^2$  - маховый момент двигателя.

Суммарный приведенный к валу двигателя момент инерции ненагруженной системы:

$$J_{\Sigma 2} = k \cdot J_{\omega_{\partial 6}} + m_{\Sigma} \cdot \left( \frac{V}{\omega_{\partial 6}} \right)^2 = k \frac{GD_{\omega_{\partial 6}}^2}{4g} + (q + G_m) \cdot \left( \frac{D}{2i_p} \right)^2 = 1,2 \cdot \frac{1}{9,81} + (12,3 + 1,36) \cdot 10^3 \times$$

$$\times \left( \frac{0,32}{2 \cdot 26,81} \right)^2 = 0,609 \text{ кг} \cdot \text{м}^2,$$

Динамический момент двигателя имеет выражение:

$$M_{\text{дин}} = J_{\Sigma} \frac{d\omega}{dt} \cong J_{\Sigma} \frac{\Delta\omega}{\Delta t},$$

где  $\Delta\omega$  – приращение угловой скорости двигателя за время  $\Delta t$ .

Таким образом, при постоянном динамическом моменте, интервалы времени пуска и торможения двигателя могут быть определены приближенно из выражения:

$$\Delta t_{\Pi(T)} = J_{\Sigma} \frac{\Delta\omega_{\Pi(T)}}{M_{\text{дин}}} = \frac{J_{\Sigma}}{9,554} \cdot \frac{\Delta n_{\Pi(T)}}{M_{\Pi(T)} \mp M_c} \approx \frac{J_{\Sigma}}{9,554} \cdot \frac{n_y}{M_{\Pi(T)} \mp M_c},$$

где  $n_y$  – частота вращения установившегося движения тележки для различных статических нагрузок;  $M_{\Pi}$  – среднее значение пускового момента, примерно равное  $1,1 \dots 1,2 M_{c.n}$ ;  $M_T$  – среднее значение тормозного момента двигателя примерно равное  $0,8 \dots 0,9 M_{\Pi}$ .

Таким образом, периоды времени пуска и торможения нагруженного двигателя будут равны:

$$t_{\Pi 1} = \frac{J_{\Sigma 1}}{9,554} \cdot \frac{n_n}{M_{\Pi 1} - M_{c.n}} = \frac{J_{\Sigma 2}}{9,554} \cdot \frac{60V_n i_p}{\pi D(1,2M_{c.n} - M_{c.n})} = \frac{2,069}{9,554} \cdot \frac{60 \cdot 0,4 \cdot 26,81}{\pi \cdot 0,32 \cdot 0,2 \cdot 593,1} = 1,17 \text{ с};$$

$$t_{T1} = \frac{J_{\Sigma 1}}{9,554} \cdot \frac{n_n}{M_{T1} + M_{c.n}} = \frac{J_{\Sigma 2}}{9,554} \cdot \frac{60V_n i_p}{\pi D(0,9 \cdot 1,2M_{c.n} + M_{c.n})} = \frac{1,631}{9,554} \cdot \frac{60 \cdot 0,4 \cdot 26,81}{\pi \cdot 0,32 \cdot (0,9 \cdot 1,2 + 1) \cdot 593,1} = 0,112 \text{ с}.$$

Те же величины, для разгона и торможения тележки без груза, при пусковом моменте, равном  $2M_{c.0}$  и моменте торможения, равном  $1,8M_{c.0}$ :

$$t_{\Pi 2} = \frac{J_{\Sigma 2}}{9,554} \cdot \frac{n_n}{M_{\Pi 2} - M_{c.0}} = \frac{J_{\Sigma 2}}{9,554} \cdot \frac{60V_0 i_p}{\pi D(2M_{c.0} - M_{c.0})} = \frac{1,631}{9,554} \cdot \frac{60 \cdot 4 \cdot 0,4 \cdot 26,81}{\pi \cdot 0,32 \cdot 37,1} = 4,405 \text{ с};$$

$$t_{T2} = \frac{J_{\Sigma}}{9,554} \cdot \frac{n_n}{M_{T2} + M_{c.0}} = \frac{J_{\Sigma 2}}{9,554} \cdot \frac{60V_0 i_p}{\pi D(1,8M_{c.0} + M_{c.0})} = \frac{1,631}{9,554} \cdot \frac{60 \cdot 4 \cdot 0,4 \cdot 26,81}{\pi \cdot 0,32 \cdot 2,8 \cdot 37,1} = 1,573 \text{ с}.$$

Средние значения пути, проходимые за время пуска и торможения с номинальным грузом и вхолостую:

$$l_{\Pi 1.c.p} \cong \frac{V_{\text{ном}} t_{\Pi 1}}{2} = \frac{0,4 \cdot 1,17}{2} = 0,234 \text{ м};$$

$$l_{T1.c.p} \cong \frac{V_{\text{ном}} t_{T1}}{2} = \frac{0,4 \cdot 0,112}{2} = 0,022 \text{ м};$$

$$l_{\Pi 2.c.p} \cong \frac{4V_{\text{ном}} t_{\Pi 2}}{2} = \frac{4 \cdot 0,4 \cdot 4,405}{2} = 3,524 \text{ м};$$

$$l_{T2.c.p} \cong \frac{4V_{\text{ном}} t_{T2}}{2} = \frac{4 \cdot 0,4 \cdot 1,573}{2} = 1,26 \text{ м}.$$

Периоды времени установившегося движения с номинальным грузом и вхолостую соответственно равны:

$$t_{y1} = \frac{L - l_{\Pi 1} - l_{T1}}{V_{\text{ном}}} = \frac{20 - 0,234 - 0,022}{0,4} = 49,36 \text{ с};$$

$$t_{y2} = \frac{L - l_{\Pi 2} - l_{T2}}{4V_{\text{ном}}} = \frac{20 - 3,524 - 1,26}{4 \cdot 0,4} = 9,511 \text{ с}.$$

Уточненная моментная нагрузочная диаграмма привода тележки приведена на рисунке 3. Фактическая продолжительность включения двигателя будет равна:

$$\begin{aligned}
 ПВ_{\phi} &= \frac{t_{П1} + t_{П2} + t_{T1} + t_{T2} + t_{Y1} + t_{Y2}}{t_{П1} + t_{П2} + t_{T1} + t_{T2} + t_{Y1} + t_{Y2} + t_{01} + t_{02}} \cdot 100 = \\
 &= \frac{1,17 + 4,405 + 0,112 + 1,573 + 49,36 + 9,511}{1,17 + 4,405 + 0,112 + 1,573 + 49,36 + 9,511 + 250} \cdot 100 \cong 24,8\%.
 \end{aligned}$$

Эквивалентный момент двигателя, приведенный к стандартной  $ПВ = 40\%$  будет определяться выражением:

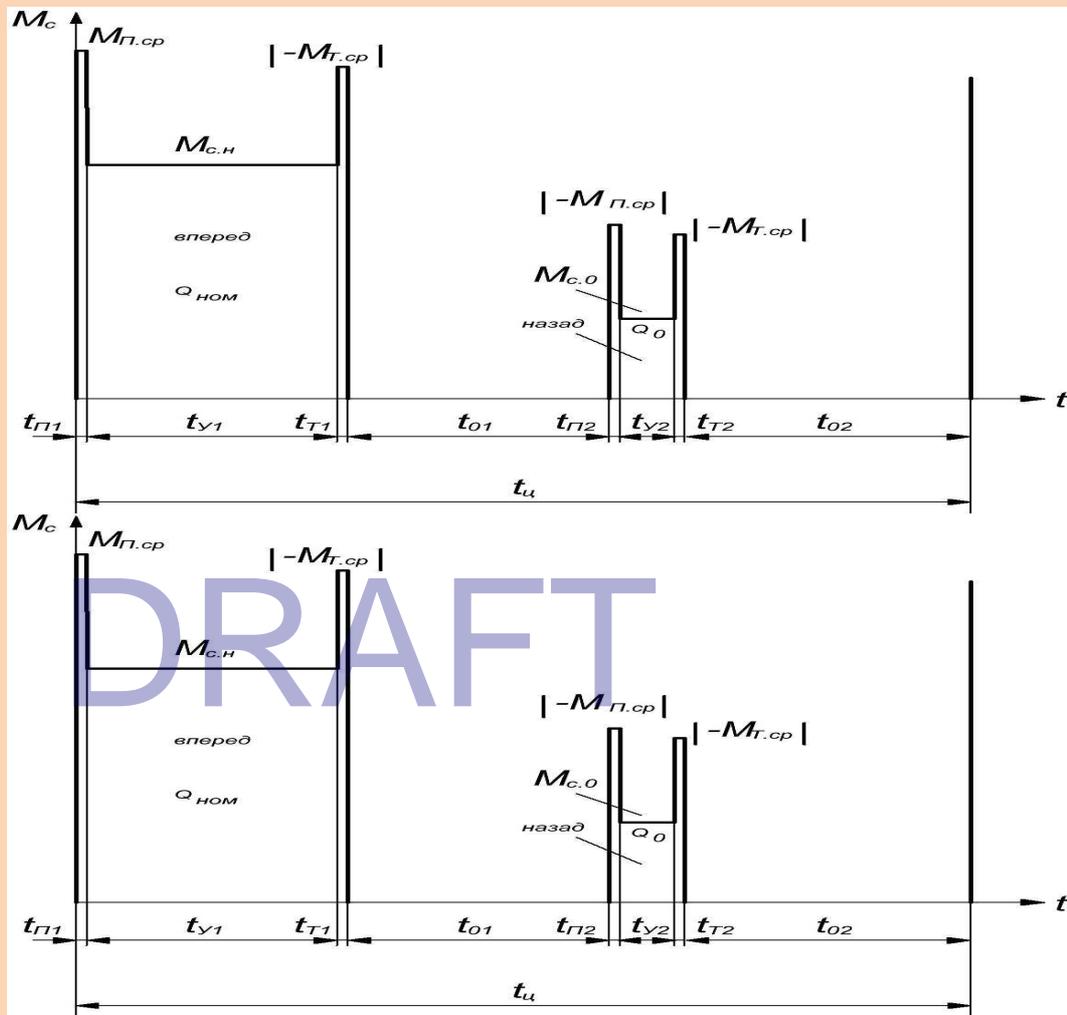


Рисунок 3. Уточненная моментная нагрузочная диаграмма электропривода тележки.

$$\begin{aligned}
 M_{\phi} &= \sqrt{\frac{M_{с.н}^2 \cdot t_{Y1} + M_{с.0}^2 \cdot t_{Y2} + M_{П1}^2 \cdot t_{П1} + M_{П2}^2 \cdot t_{П2} + M_{T1}^2 \cdot t_{T1} + M_{T2}^2 \cdot t_{T2}}{t_{Y1} + t_{Y2} + 0,75(t_{П1} + t_{П2} + t_{T1} + t_{T2})}} \times \sqrt{\frac{ПВ_{\phi}}{ПВ_n}} = \\
 &= \sqrt{\frac{20891177,4}{64,3}} \cdot \sqrt{\frac{24,8}{40}} \cong 417,5 \text{ Н} \cdot \text{м}.
 \end{aligned}$$

#### Проверка выбранного двигателя на нагрев и перегрузочную способность

Номинальный момент на валу двигателя равен:

$$M_n = 9,554 \frac{P_n}{n} = 9,554 \frac{17000}{640} = 253,8 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Максимальный каталожный вращающий момент выбранного двигателя составляет 1460 Н·м, который более чем в два раза превышает максимальный момент статической нагрузки механизма (593,1 Н·м). Таким образом, выбранный двигатель проходит по перегрузочной способности.

Очевидно, что выбранный двигатель не проходит по нагреву, поскольку  $M_n < M_{\text{э}}$ . Таким образом, нужно применить двигатель большей номинальной мощности со следующими данными:

Исполнение: *тихоходный*.

Тип: *Д810*.

Номинальная мощность на валу, кВт: 35.

Номинальный ток двигателя, А: 185.

Номинальная частота вращения вала, об/мин: 610.

Момент инерции вала, кг·м<sup>2</sup>: 14,5.

Сопротивление якорной обмотки, Ом: 0,035.

Сопротивление обмотки возбуждения, Ом: 0,016.

Для выбранного двигателя пересчитанное передаточное число редуктора будет равно:

$$i_p = 25,55.$$

Стандартный двухступенчатый редуктор имеет стандартно значение передаточного числа 24,9, близкое к расчетному.

Приведенные к валу двигателя моменты инерции нагруженной и ненагруженной системы станут несколько увеличены:

$$J_{\Sigma 1} = 2,587 \text{ кг} \cdot \text{м}^2;$$

$$J_{\Sigma 2} = 0,979 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Соответствующие пересчитанные интервалы времени пуска, торможения и установившегося движения равны:

$$t_{п1} = 1,393 \text{ с};$$

$$t_{т1} = 0,133 \text{ с};$$

$$t_{п2} = 6,751 \text{ с};$$

$$t_{т2} = 2,411 \text{ с};$$

$$t_{в1} = 49,237 \text{ с};$$

$$t_{в2} = 7,92 \text{ с}.$$

Пересчитанные фактическая продолжительность включения и эквивалентный момент нагрузки двигателя соответственно равны:

$$P\Phi_{\phi} = 25,33\%;$$

$$M_{\text{э}} = 419,8 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Номинальный момент повторно выбранного двигателя равен:

$$M_n = 9,554 \frac{35000}{610} = 548,2 \text{ Н} \cdot \text{м} > M_{\text{э}}.$$

Повторно выбранный двигатель удовлетворяет условиям нагрева и перегрузочной способности, поскольку его номинальный вращающий момент с запасом превышает эквивалентный момент нагрузки, а допустимый по коммутации максимальный каталожный момент равен 2690 Н·м.

## Расчет и построение естественной механической характеристики двигателя

Для построения естественной механической характеристики выбранного двигателя воспользуемся универсальными зависимостями  $M^* = f(I^*)$  для крановых и металлургических двигателей серий МП, Д и ДП, представленными на рисунке 4. В таблице 1 приведена

электромеханическая характеристика выбранного двигателя в именованных единицах, рассчитанная исходя из его номинальных значений тока, момента и скорости вращения:

$$I_n = 185 \text{ A};$$

$$n_n = 610 \text{ об/мин};$$

$$M_n = 548,2 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

$I, \text{ A}$	55,5	74	111	148	185	222	259	296	333	370	407	444
$M, \text{ Н} \cdot \text{м}$	54,82	98,68	230,24	361,8	520,8	690,7	855,2	1030,6	1206	1370,5	1534,96	1699,4
$n, \text{ об/мин}$	1525	1128,5	793	658,8	591,7	549	512,4	488	463,6	439,2	427	414,8

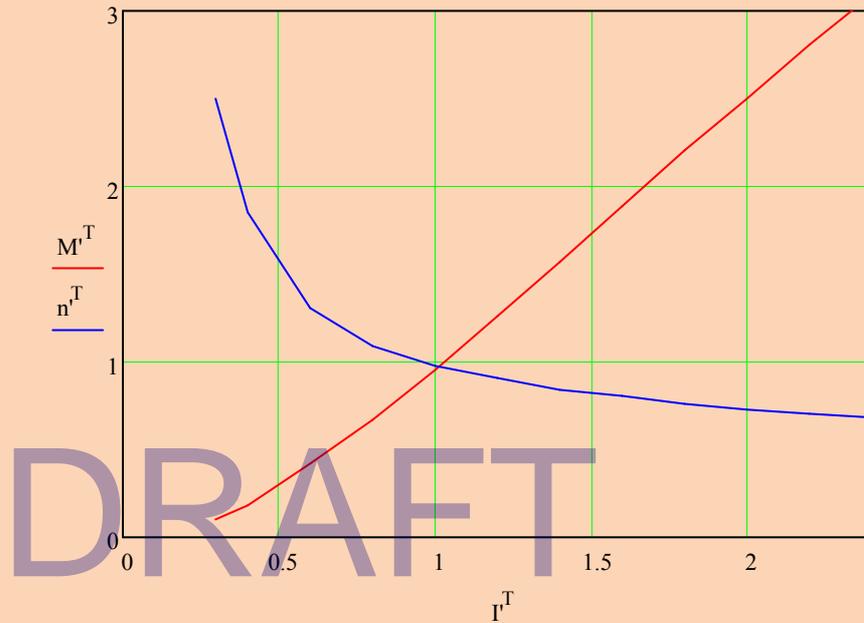


Рисунок 4. Универсальная электромеханическая характеристика в крановых двигателях серии Д и ДП выше 10 кВт

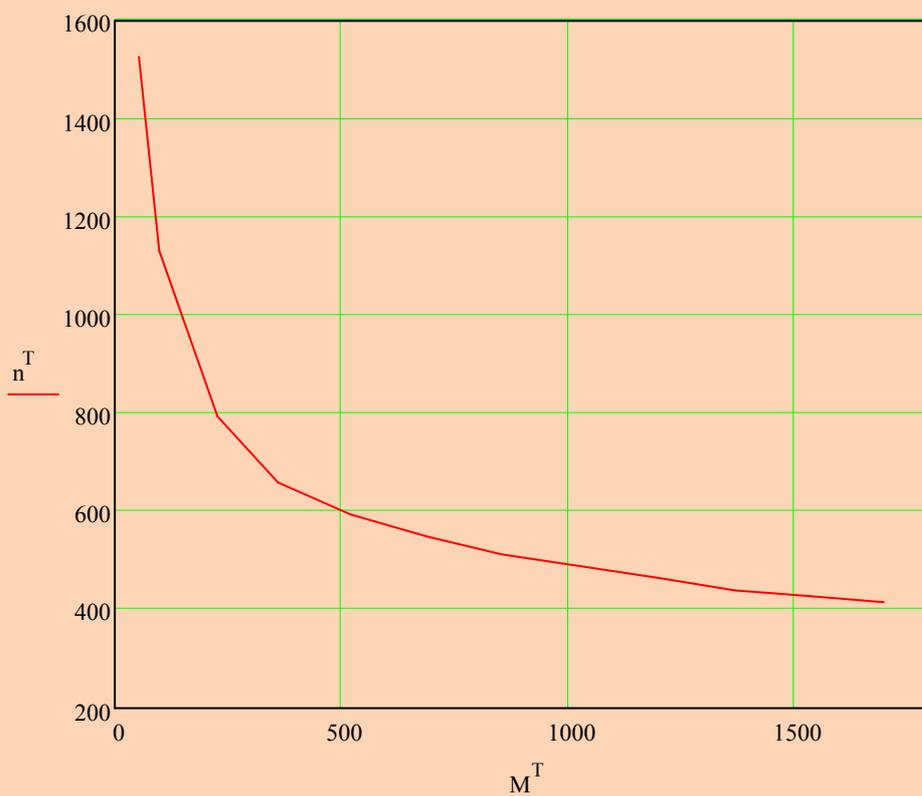


Рисунок 5. Естественная механическая характеристика выбранного двигателя.

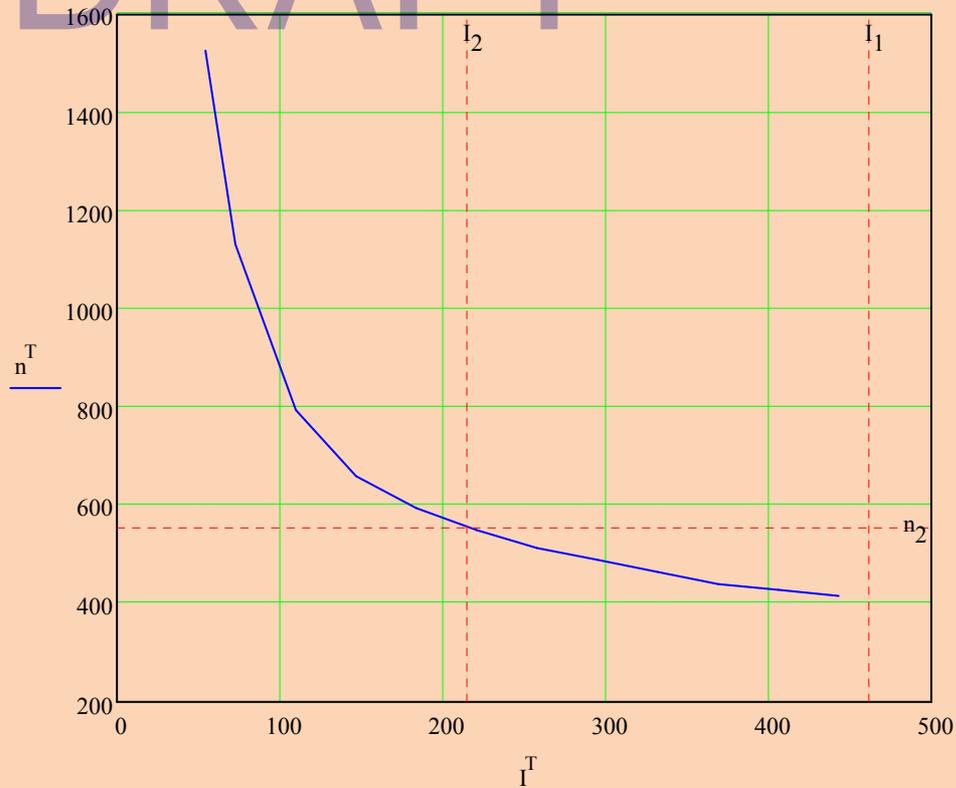


Рисунок 6. Естественная электромеханическая характеристика двигателя.

## Расчет сопротивлений пусковых резисторов

Для расчета сопротивлений пусковых резисторов прибегнем к графо-аналитическому методу с использованием естественной электромеханической характеристики двигателя  $n = f(I)$  (рисунок 6).

Используя зависимости рисунка 5 и 6 найдем токи переключения, если известно, что пусковой ток  $I_1$  не должен превышать  $2,5I_n$ , а ток выведения ступеней  $I_2$  соответствует моменту двигателя, равному  $1,1M_n$ :

На рисунке 7 приведена пусковая диаграмма, на которой показан процесс графического определения числа ступеней и величин сопротивлений пусковых резисторов. Полное сопротивление якорной цепи двигателя при зашунтированном пусковом реостате и условная длина соответствующего ему отрезка «OA» равны:

$$R_0 = R_r + R_g = 0,035 + 0,016 = 0,051 \text{ Ом};$$

$$OA = 14,5.$$

Сопротивление якорной цепи двигателя при пуске равно:

$$R_1 = R_0 \frac{Oa}{OA} = 0,051 \cdot \frac{138,4}{14,5} = 0,4802 \text{ Ом}.$$

Сопротивление якорной цепи, при котором двигатель потребляет тока  $I_2$ , равно:

$$R_2 = R_0 \frac{OZ}{OA} = 0,051 \cdot \frac{185,8}{14,5} = 0,6446 \text{ Ом}.$$

Токи двигателя при пуске и переключении соответственно равны:

$$I_1 = \frac{U}{R_1} = \frac{220}{0,4802} = 458,18 \text{ А};$$

$$I_2 = \frac{U}{R_2} = \frac{220}{0,6446} = 341,3 \text{ А}.$$

$$1 - \text{я ступень: } bc = 36,4; R_{c1} = R_0 \frac{bc}{OA} = 0,051 \frac{36,4}{14,7} = 0,1263 \text{ Ом};$$

$$2 - \text{я ступень: } de = 27,7; R_{c2} = R_0 \frac{de}{OA} = 0,051 \frac{27,7}{14,7} = 0,0961 \text{ Ом};$$

$$3 - \text{я ступень: } fg = 21,2; R_{c3} = R_0 \frac{fg}{OA} = 0,051 \frac{21,2}{14,7} = 0,0736 \text{ Ом};$$

$$4 - \text{я ступень: } hi = 16,4; R_{c4} = R_0 \frac{hi}{OA} = 0,051 \frac{16,4}{14,7} = 0,0569 \text{ Ом};$$

$$5 - \text{я ступень: } jk = 12,3; R_{c5} = R_0 \frac{jk}{OA} = 0,051 \frac{12,3}{14,7} = 0,0427 \text{ Ом};$$

$$6 - \text{я ступень: } lm = 9,7; R_{c6} = R_0 \frac{lm}{OA} = 0,051 \frac{9,7}{14,7} = 0,0337 \text{ Ом}.$$

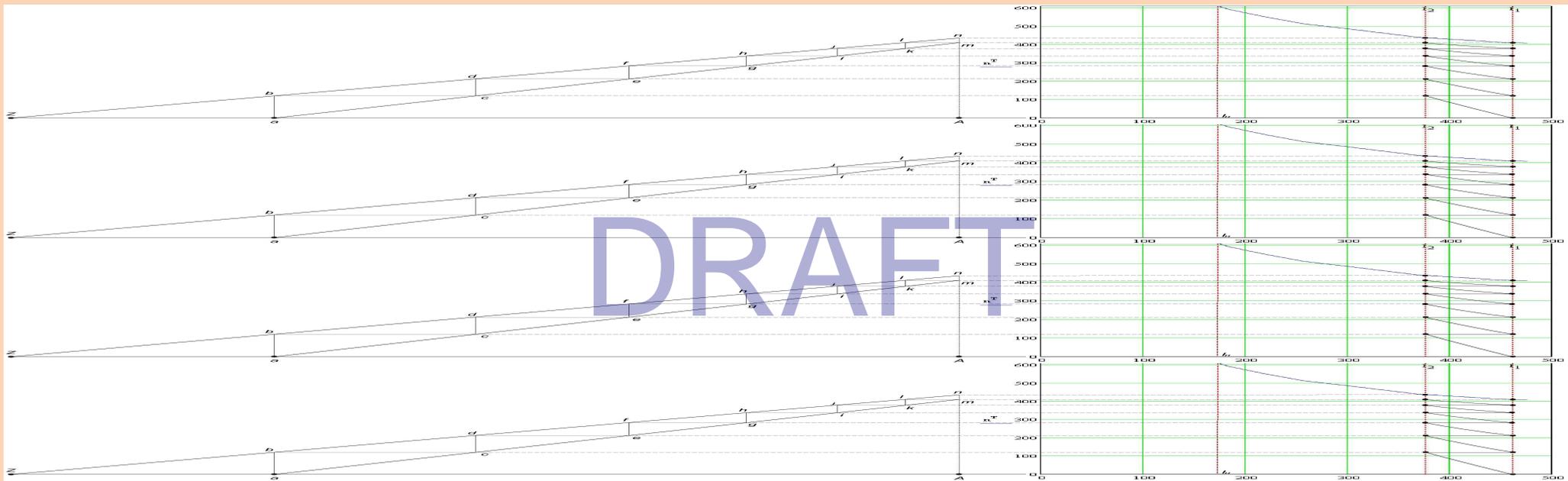


Рисунок 7. Пусковая диаграмма двигателя постоянного тока для графического определения сопротивлений ступеней пускового реостата.

## Расчет и выбор тормозного устройства

Для механического торможения тележки крана применим тормозной электромагнит серии МП с тормозами серии ТКП, поскольку они обладают высокой надежностью и ресурсом.

При расчете тормозного устройства для передвижения тележки крана момент торможения на валу  $M_\tau$  не должен превышать величины момента, при котором может скольжение колес по рельсам:

$$M_\tau = \frac{5,5 \cdot (Q + G) \cdot V_{ном}^3}{(S - V\Delta t_m) \cdot n_{ном}} + M_{с.макс}$$

где  $M_{с.макс} = 593,1$  Н·м – максимальный момент статической нагрузки, приведенный к валу двигателя;  $\Delta t_m = 0,12 + t_T = 0,12 + 0,25 = 0,37$  с – интервал времени от момента срабатывания конечного выключателя до начала механического торможения;  $t_T = 0,25$  с – предварительно выбираемое время срабатывания тормоза типа ТКП100 тормозного электромагнита постоянного тока типа МП101;

$$S = V_{ном} \left( 0,5 + \frac{J_{\Sigma 1} \cdot n_{ном}}{18,5 \cdot 1,9 M_n} \right) = 0,4(0,5 + 0,082) = 0,255 \text{ м} - \text{установленный допустимый выбег}$$

тележки при торможении. Таким, образом допустимый тормозной момент будет равен:

$$M_\tau = \frac{5,5 \cdot (41000 + 12300) \cdot 0,4^3}{(0,255 - 0,4 \cdot 0,25) \cdot 610} + 593,1 = 956 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Необходимое тормозное усилие на колодках тормоза можно определить из выражения:

$$F_{кл} = \frac{2M_\tau}{C \cdot D_{ш}} = \frac{2 \cdot 956}{0,35 \cdot 0,4} = 13657,1 \text{ Н},$$

где  $C = 0,35$  – коэффициент трения между колодками и тормозным шкивом из чугуна с асбестовой прокладкой;  $D_{ш} = 0,4$  м – расчетное значение диаметра тормозного шкива.

Принимаем значение расчетного хода тормозной колодки 1,5 мм и определяем для этого значения величину произведения тягового усилия на длину хода якоря электромагнита:

$$F_{эл} h_y = \frac{F_{кл} h_{кл}}{\mu_u \eta_m} = \frac{13657,1 \cdot 1,5}{0,8 \cdot 0,85} = 30125,9 \text{ Н} \cdot \text{мм},$$

где  $h_{кл} = 1,5$  мм – расчетный тормозной ход колодки;  $\mu_u = 0,8$  – коэффициент использования хода якоря электромагнита;  $\eta_m = 0,85$  – КПД рычажной передачи тормоза.

При длине хода якоря равной удвоенной длине хода колодок тяговое усилие электромагнита составит:

$$F_{эл} = \frac{30125,9}{3} = 10042 \text{ Н}.$$

Согласно расчетным данным вберем тормозной электромагнит постоянного тока типа МП101, развивающий тяговое усилие 9600 Н и тормоз типа ТКП400 со следующими данными:

- диаметр шкива, мм: 400;
- расчетный ход, мм: 1,5;
- время срабатывания, с: 1,3;
- тормозной момент, Н·м: до 1500.

## Разработка принципиальной схемы управления электроприводом крановой тележки

Электрическая принципиальная схема управления электроприводом передвижения тележки крана, предназначенная для заданных условий работы приведена на рисунке 8.

Управления двигателем постоянного тока последовательного возбуждения (рис. 8) осуществляется при помощи кулачкового контроллера *KB101*, который должен быть модифицирован для осуществления 6-ти ступенчатого пуска двигателя.

В цепь якоря включена обмотка возбуждения *LM*, катушка тормозного электромагнита *УА* и шесть ступеней реостата *R1δ – R6δ*, предназначенные для осуществления режимов пуска, торможения и управления частотой вращения двигателя.

Реверсирование двигателя осуществляется изменением полярности напряжения на якоре при помощи коммутационных шайб контроллера *SM10 – SM13*.

Резистор *Rш* предназначен для шунтирования якоря двигателя при движении с малой скоростью с нагрузкой крана ниже номинальной. Этому режиму соответствует первое положение контроллера.

При переключении маховика контроллера в положения 2-7 схема обеспечивает характеристики с плавным увеличением момента в направлениях «Вперед» и «Назад».

Для остановки двигателя контроллер переводится в положение «0». При этом срабатывает контакт магнитного контактора *KM2M*, отключающий катушку тормозного электромагнита.

К элементам схемы защиты электропривода относятся: вводный рубильник *QS*, линейный контактор *KM1M*, максимальнотокковые реле *KA1* и *KA2*, концевые выключатели *SQ1* и *SQ2*, плавкие вставки *FU1* и *FU2*.

DRAFT

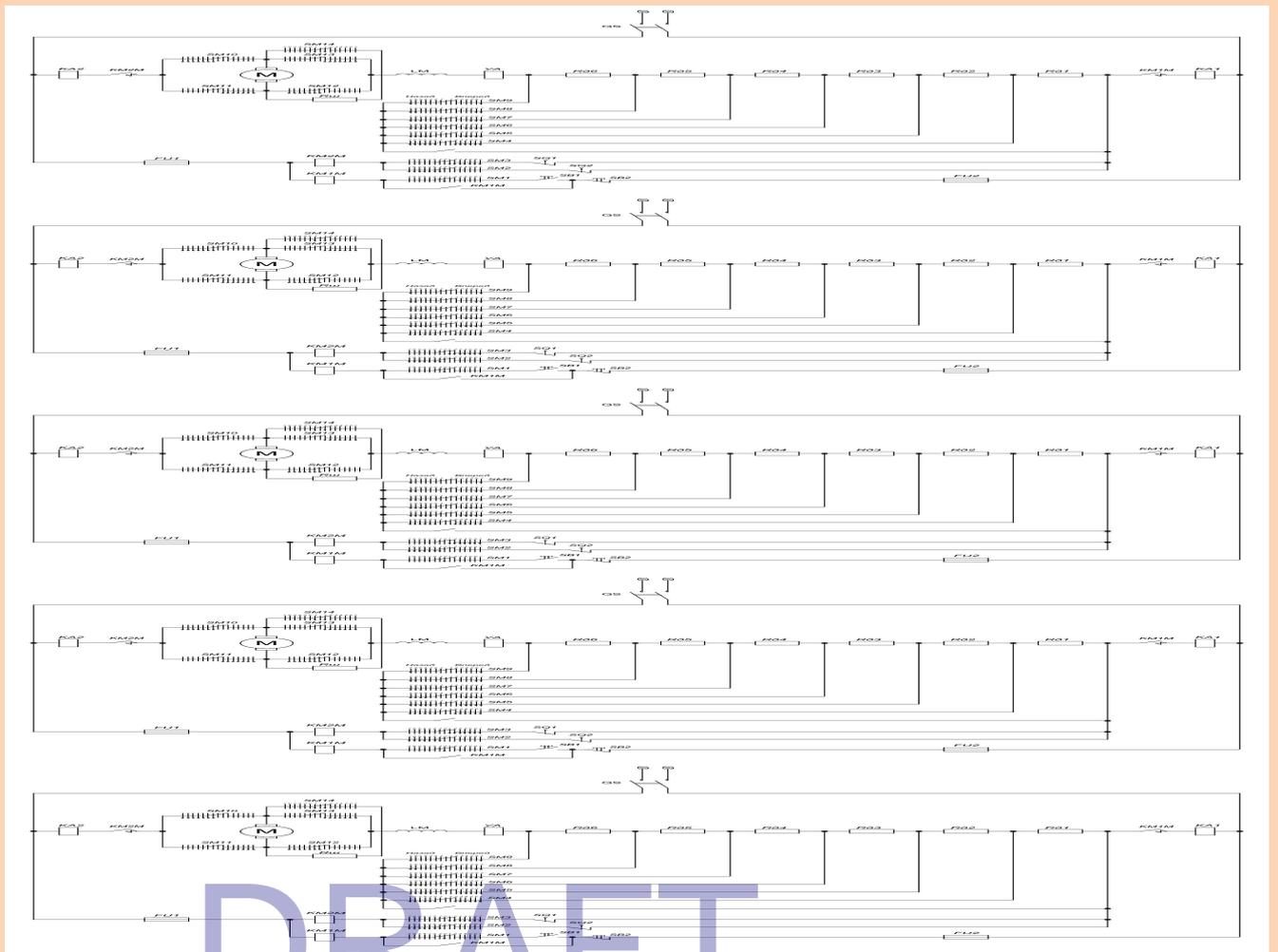


Рисунок 8. Электрическая схема системы управления электроприводом крановой тележки.

№ столбца	Формат	Обозначение	Наименование	Кол. листов	Примечание
1			<b><u>Документация</u></b>		
2					
3			<b><u>Схема принципиальная управления двигателем постоянного тока</u></b>	1	
4					
5			<b><u>Составляющие единицы</u></b>		
6		QS	Рубильник вводный	1	
7		SM1 – SM14	Контакт контроллера силового	14	
8		KM1M, KM2M	Контактор линейный	2	
9		KA1, KA2	Реле максимальное	2	
10		YA	Тормоз электромагнитный	1	
11		SB1	Кнопка пуска	1	
12		SB2	Кнопка останова	1	
13		Rð1 – Rð6	Резистор пусковой	2	
14		Rð	Резистор добавочный	1	
15		FU1, FU2	Вставка плавкая	2	
16					

## Выбор аппаратов управления и защиты электропривода крановой тележки

Поскольку мощность выбранного двигателя превышает 30 кВт, а режим работы электропривода «С», то можно применить в качестве управляющего аппарата силовой кулачковый контроллер постоянного тока с ручным приводом типа КВ100 со следующими характеристиками [1, ст. 97]:

- номинальный ток при ПВ = 100%, А: 63;
- номинальное напряжение, В: 220;
- расчетный повторяющийся ток включения, А: 200;
- ток термической стойкости, А: 900.

Выберем крановую защитную панель типа ППЗБ160, имеющую следующие технические данные [1, ст. 125]:

- номинальный ток ввода при ПВ = 100%, А: 160;
- номинальный ток контактора при ПВ = 100%, А: 160;
- ток контактора при ПВ = 60%, А: 200;
- максимальный коммутационный ток, А: 1600;
- ток термической стойкости, А: 3000;
- число максимальных реле РЭО401: 4.

Максимальное значение тока якорной цепи двигателя можно принять на уровне  $3I_n = 3 \cdot 182 = 546 \text{ А}$ . Согласно этому значению максимального тока комплектуем защитную панель двумя максимальными реле типа РЭО401 со следующими техническими данными [1, ст. 126]:

- каталожный номер: 2ТД.304.096-6;
- ток катушки при ПВ = 40%, А: 240;
- пределы регулирования тока, А: 200 – 600 А.

Выбираем линейный контактор для осуществления питания и обеспечения нулевой защиты двигателя по величине номинального тока  $I_n = 182 \text{ А}$ . Контактор имеет следующие характеристики [2, таб. П10]:

- тип: КПВ624;
- диапазон номинальных токов, А: 160 – 250 А;
- наибольшее напряжение главной цепи, В: 220;
- коммутационная стойкость, циклов:  $10^6$ .

Для осуществления концевой защиты привода тележки используем пару концевых выключателей со следующими техническими данными [2, таб. П9]:

- тип: КУ701;
- привод: рычажный с самовозвратом;
- скорость механизма, м/с: 0,03 – 2;
- масса, кг: 2,7.

Цепь управления имеет невозстанавливаемую максимальную защиту по току при помощи плавких вставок, которые выбираем, исходя из тока  $0,25I_n = 45,5 \text{ А}$ . Предохранители имеют следующие технические данные:

- тип: ПР-2;
- номинальный ток патрона, А: 60;
- номинальный ток плавкой вставки, А: 45.

## Перечень использованной литературы

1. Яуре А. Г., Певзнер Е. М. Крановый электропривод: Справочник. - М.: Энергоатомиздат, 1988. – 344 с.: ил.
2. Методические указания для выполнения расчетно-графической работы по электротехнике. Расчет и выбор элементов кранового электрооборудования. Красноярск, ИПЦ КГТУ, 2006.

DRAFT