ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ СРЕДЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

«КАМЕНСК – УРАЛЬСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ КОЛЛЕДЖ»

СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 140613

ТЕХНИЧЕСКАЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ И ОБСЛУЖИВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО И ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

ГРУППА Э-2004-42

**КУРСОВОЙ ПРОЕКТ**

ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ»

ТЕМА: «ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ МОСТОВОГО КРАНА»

Выполнил: Е.А. Стрелов

Проверил: Свиридова

**Введение**

Основными направлениями экономического и социального развития являются дальнейшее повышение эффективности металлургии и повышения качества выпускаемой продукции.

Важнейшими задачами в развитии металлургической промышленности является механизация трудовых работ и автоматизация производственных процессов. В решении этих задач значительная роль выпала на подъемно-транспортные механизмы, в первую очередь краны, применяющиеся на металлургических предприятиях.

Следует заметить, что производительность цехов предприятия в значительной мере зависит от надежности работы и производительности кранов.

Работа крана в условиях того или иного цеха специфична и зависит от характера конкретного производственного процесса.

Конструкция крана в основном определяется из его назначения и специфики технологического процесса. Ряд узлов, например, механизм подъема и передвижения выполняются однотипными для кранов различных видов. Поэтому имеется много общего в вопросах выбора и эксплуатации электрооборудования крана. Оборудование крана стандартизовано, поэтому краны, различные по назначению и конструкции, комплектуются серийно-выпускаемым типовым электрооборудованием. Схемы управления отдельными кранами отличаются, это связано со спецификой цехов и назначением крана.

**Назначение крана**

Проектируемый кран, грузоподъемностью 10 т.с., предназначен для подъема и перемещения грузов в металлургическом производстве крытых помещениях при температуре окружающего воздуха от +400С до -400С.

Кран предназначен для разгрузки железнодорожных составов с анодными блоками и погрузки на внутрицеховой транспорт.

**Технические характеристики механизмов крана, режимы их работы**

Проектируемый кран, грузоподъемностью Q=10 т.с. снабжен тремя основными механизмами:

1. Механизм передвижения моста.

2. Механизм передвижения тележки.

3. Механизм подъема.

**Механизм передвижения моста**

Привод ходовых колес осуществляется от двух асинхронных двигателей с фазным ротором.

Наименование данных механизма передвижения моста:

1. Скорость передвижения моста υ (м/мин)………………………...75

2. Пролет моста L (мм)……………………………………………..17000

3. Масса крана G (т.с.)………………………………………………..22,5

4. База крана (мм)……………………………………………………4500

5. Число ходовых колес…………………………………………………4

6. Диаметр ходовых колес (мм)……………………………………...500

7. Тип рельса………………………………………………………..КР-70

8. Тип редуктора………………………………...1Ц2У 200-10-12(21)У1

9. Передаточное число…………………………………………………10

10. Группа режимов работы…………………..М7(5М ГОСТ 25835-83)

**Механизм передвижения тележки**

Движение тележки осуществляется асинхронным двигателем с фазным ротором через редуктор.

Наименование данных механизма передвижения моста:

1. Скорость передвижения тележки υ (м/мин)…………………...37,8

2. Число ходовых колес…………………………………………………4

3. Тип рельса………………………………………………………….Р-50

4. Тип редуктора……………………………………….Ц3ВК-160-20-16У1

5. Полное передаточное число…………………………………………...20

6. Диаметр колес (мм)…………………………………………………...320

7. Группа режимов работы………………………М6(4М ГОСТ 25835-83)

**Механизм подъема**

Привод механизма подъема осуществляется асинхронным двигателем с фазным ротором через шестереночный редуктор.

Наименование данных механизма подъема:

1. Грузоподъемность Q(т.с.)……………………………………………...10

2. Высота подъема L (м)…………………………………………………...8

3. Число ветвей полиспаст…………………………………………………3

4. КПД полиспаста……………………………………………………...0,95

5. Длина каната (м)………………………………………………………..93

6. Диаметр каната(мм)………………………………………………….13,5

7. Диаметр блока полиспаст(мм)……………………………………….406

8. Диаметр уравнительного блока (мм)………………………………...406

9. Тип редуктора……………………………………..1Ц2У-400-25-11МУ1

10. Полное передаточное число………………………………………….25

11. Диаметр барабана (мм)……………………………………………...504

12. Группа режимов работы…………………….М7 (5М ГОСТ 25835-83)

13. Скорость подъема υ (м/мин)………………………………………….12

**Режим работы крана**

Режим работы крановых механизмов – важный фактор при выборе мощности приводных электродвигателей, аппаратуры и системы управления. От него зависит и конструктивное исполнение механизмов.

Режимы работы кранов металлургических цехов разнообразны и в основном определяются особенностями технологических процессов. При этом в ряде случаев даже однотипные краны работают в разных режимах. Неверный выбор режима при проектировании электропривода кранов ухудшает технико-экономические показатели всей установки. Так, например, выбор более тяжелого режима работы по сравнению с реальным приводит к завышению габаритов, массы и стоимости кранового оборудования. Выбор же более легкого режима означает повышенный износ электрооборудования, частые поломки и простой. Поэтому важно выбрать оптимальный режим работы кранового механизма.

Режим работы кранового механизма характеризуется следующими показателями:

1. Относительная продолжительность включения (ПВ)

2. Среднесуточное время работы

3. Число включений за 1 час электродвигателя

4. Коэффициент нагрузки

5. Коэффициент временности нагрузки

6. Коэффициент использования механизма

По правилам Госгортехнадзора для крановых механизмов установлено четыре номинальных режима работы:

Легкий (Л), Средний (С), Тяжелый (Т) и Весьма тяжелый (ВТ).

Для каждого механизма крана режим работы определяется отдельно, режим работы крана в целом устанавливается по механизму подъема. В соответствии со стандартом СЭВ 2077-80 все краны разделяются на 7 классов (А0-А6) ([2] стр. 7 табл. 1). Все механизмы крана работают в весьма тяжелом режиме (ВТ) ПВ=40%.

**Требования, предъявляемые к электроприводам крана**

Крановый электропривод работает в специфичных условиях, определяемых условиями работы крановых механизмов, к которым относятся: работа в повторно-кратковременном режиме при большом числе включений в час, различные внешние воздействия на оборудование крана.

Выбранная схема электропривода должна удовлетворять следующим требованиям:

- обеспечить надежность работы всех элементов и узлов механизма электропривода;

- осуществить пуск, реверс, торможение привода, создание необходимых диапазонов регулирования скорости;

- обеспечить надежность защиты электрооборудования от токов короткого замыкания и перегрузок, т.е. схема должна иметь все виды защиты, предусмотренные в ПУЭ.

Управление работой крана осуществляется из кабины, в которой устанавливается защитная панель. Кроме защитной панели и установленного в ней электрооборудования в кабине крана размещены командоконтроллеры для управления механизмами крана, автомат для запитки освещения крана, кнопка включения сирены и другое.

На мосту крана устанавливаются двигатели с тормозами. Кроме того, на мост вынесены ящики сопротивлений.

На тележку устанавливаются двигатели подъема и передвижения тележки с тормозными механизмами. Электрооборудование тележки запитывается гибким кабелем.

**Обоснование выбора системы электропривода**

Все многообразие различных схем управления может быть разделено по следующим группам:

1. По способу управления, непосредственно кулачковыми контроллерами. Весь процесс управления осуществляется непосредственно оператором (крановщиком).

2. Управление кнопочными постами. Возможности управления ограничены особенностями пульта.

3. Управление сложным комплексным устройством (магнитным контроллером с использованием преобразователя энергии или без него). Оператор выбирает только необходимые скорости, а процессы разгона, торможения и необходимые промежуточные операции осуществляются автоматически.

Выбор системы управления для крановых механизмов осуществляется на основе анализа сравнительных технических данных, а именно: диапазона регулирования, способа управления, ресурса (уровень износостойкости), диапазона возможных скоростей, мощностей электроприводов, показателей динамики и энергии, а также дополнительных данных, определяющих условия эксплуатации электроприводов. Экономическая оценка систем управления должна базироваться на основании минимальных расходов, связанных с первоначальными затратами, эксплуатационными затратами на ремонт, а также затратами энергии, потребляемой из сети за период эксплуатации до капитального ремонта.

Выбирается система с наилучшими экономическими показателями.

Если к электроприводу крановых механизмов предъявляются повышенные требования в отношении регулирования скорости, обеспечения низких устойчивых условий скорости в различных режимах, то применяются двигатели постоянного тока, которые допускают большие перегрузки по моменту, позволяющие опускать и поднимать тяжелые грузы с пониженной скоростью. Однако использование двигателей постоянного тока внесет необходимость преобразования переменного тока в постоянный, что связано с увеличением капитальных затрат, дополнительных затрат энергии и эксплуатационных расходов.

Наиболее распространенный на кранах электропривод асинхронный с фазным ротором, со ступенчатым регулированием угловой скорости, путем изменения величины сопротивления в цепи ротора. Такой привод достаточно прост, надежен, допускает большое число включений в час и применяется при средних и больших мощностях. С помощью резисторов в цепи ротора можно в широких пределах изменять токи и потери энергии в двигателе при переходных процессах, а также получить понижение угловой скорости.

Выбираем тип электропривода для механизмов крана – электропривод переменного тока, асинхронный двигатель с фазным ротором, управляемый командоконтроллером с пускорегулирующим сопротивлением в цепи ротора. Выбор типа электропривода сделали на основании приведенных выше технических и экономических условий, а также требований, предъявляемых к электроприводу крана.

Однако этот привод неэкономичен из-за значительных потерь энергии в пускорегулирующих сопротивлениях, кроме того, имеет повышенный износ двигателя и контактной аппаратуры управления.

Несмотря на это этот электропривод остается более выгодным по сравнению с приводом на постоянном токе.

Для проектируемого электропривода предназначается напряжение 220V 50Hz.

**Расчет мощности и выбор электродвигателей привода механизмов крана**

Для большинства крановых механизмов условия работы не могут быть заранее заданы. Условия, определяющие выбор электрооборудования, в том числе и двигателей, сводятся к понятию режима работы. В это понятие входят: полная продолжительность включений, продолжительность включения при регулированием число пусков, коэффициент усредненной статистической нагрузки, годовое и суточное использование крана, степень его ответственности, температурные условия эксплуатации и другие параметры.

Отнесение электрооборудования крана к тому или иному режиму работы является исходным при расчете всех элементов кранового оборудования, а соответствие указанного режима фактическому является непременным условием надежности работы крана.

При выборе двигателей для кранового оборудования наиболее сложным считается расчет мощности по условиям теплового режима работы. Специфические способности крановых машин характеризуются повышенными, постоянными потерями и изменяющимися условиями вентиляции при регулировании, что приводит к большим погрешностям при расчете теплового режима работы двигателя по общепринятым методам эквивалентного тока или момента. Эти методы являются достоверными только тогда, когда фактическая продолжительность включения равна номинальной, а число включений и энергия постоянных потерь в цикле соответствует номинальным расчетным параметрам.

Наиболее рациональным в настоящее время является метод выбора двигателя и расчет их мощности, разработанный заводом «ДИНАМО». В основе этого метода лежит использование эквивалентного КПД, являющегося показателем энергетических свойств системы регулирования и определяющего потери энергии в электроприводе.

Выбор электродвигателя можно разделить на три этапа:

На первом этапе: производят предварительный выбор электродвигателя по нагреву для принятой системы электропривода и известного режима работы на основании формулы:

Рп ≥([4] стр. 39 формула 1.56)



где Рс.н. – максимальная статистическая мощность при подъеме груза или при передвижении с ним, кВт.

k. – коэффициент, определяющий выбор электродвигателя по нагреву для различных систем электропривода ([4] стр. 37 таб. 12).



На втором этапе предварительно выбранный электродвигатель с номинальной мощностью Рн проверяют по условию:

Рн ≥ ([4] стр. 39 формула 1.57)



где kэкв., kз., Е0., Ер – расчетные коэффициенты, зависящие от режима работы и маховых масс ([4] стр. 39 таб. 13)

Ен – номинальная относительная продолжительность включения.

kн – коэффициент, равный единице для электроприводов переменного тока.

k0 – коэффициент, зависящий от относительной продолжительности включения кранового механизма Е0 ([4] стр. 40 рис. 6).

kp – коэффициент, учитывающий увеличение потерь на регулировочных характеристиках для систем с параметрическим управлением. Его определяют по формуле:

kp = 1 – 1,2 · (Ер – Ер.б.)([4] стр. 40 формула 1.58)

где Ер – относительная продолжительность включения при регулировании ([4] стр. 39 таб. 13).

Ер.б. – базовая относительная продолжительность включения при регулировании.

kд.п. – коэффициент, учитывающий степень влияния динамических потерь на нагрев электродвигателя ([4] стр. 37 формула 1.55).

ηэкв. – эквивалентный КПД

ηэкв.= ([4] стр. 38 формула 1.55).



где ηэкв. – значение эквивалентного КПД, соответствующее заданному числу включений в час Zэкв. ([4] стр. 38 рис. 5).

ηэкв.б. – базовое значение эквивалентного КПД при Z=0 ([4] стр. 37 таб. 12)

GD2 – суммарный маховый момент системы, приведенный к валу двигателя, определяется по формуле:

GD2 = 1,15 GpDp2 + 4 · ([4] стр. 26 формула 1.29).



где Q – грузоподъемность, т.с.

n – обороты двигателя, об/мин

V – скорость вращения механизма, м/мин

GpDp2 = J · 9,81 · 4

J – момент инерции двигателя

На третьем этапе производят проверку выбранного электродвигателя по пусковому режиму, используя зависимость:

Мmax>kз.м. (Мс.max + Мдин)([4] стр. 40 формула 1.59)

где Мmax – максимальный момент электродвигателя.

Мс.max – максимально возможный для данного кранового механизма момент статистической нагрузки, приведенный к валу электродвигателя, Н · м.

Мс.max = 9550 ·



Мдин – динамический момент, Н · м

Мдин = · а



а – ускорение механизма ([4] стр. 41 таб. 14)

kз.м. – коэффициент запаса по моменту kз.м. = 1,1 ÷ 1,2

В тех случаях, когда предварительно выбранный электродвигатель не удовлетворяет условиям, выбирают из каталога ближайший больший по мощности и вновь проверяют правильность его выбора.

**Расчет мощности двигателя подъема**

Определим статистическую мощность на валу двигателя:

Рс.н. = 9,81 ∙ ∙ V ∙ 10



G – вес поднимаемого груза (кг)…………………………..….10000 кг

G- вес захватного механизма (кг)………………………………..50 кг



V – скорость вращения барабана (м/с)……………..…………...0,2 м/с

η – КПД механизма………………………………………………...0,8

Рс.н. = 9,81 ∙ ∙ 0,2 ∙ 10 = 24,6 (кВт)



В соответствии с исходными данными по режиму работы и принятой системой электропривода находим значение коэффициента kт = 0,95 ([4] стр. 37 таб. 12).

kт – коэффициент, определяющий выбор двигателя по тепловому режиму.

Находим номинальную мощность двигателя по тепловому режиму предварительно.

Рп ≥([4] стр. 39 формула 1.56)



Рп = = 25,9 (кВт)



По литературе ([4] стр. 13 таб. 4) выбираем электродвигатель МЕF 412-6У1; Рн = 30 кВт; ПВ = 40%; Мmax = 932 Н∙м; cosφ = 0,71; Iн.с. = 75 А;

Iн.р. = 73 А; Uр = 255 В; J = 0,675 кг ∙ м; η = 85,5%.



Определим полный приведенный к валу двигателя маховый момент всех вращающихся и поступательно-движущихся масс привода и груза:

∑GD = (GD)пр = k GpDp + 4 ([4] стр. 26 формула 1.28)



где k – поправочный коэффициент, в среднем 1,15

GpDp - маховый момент ротора электродвигателя и всех других частей, вращающихся со скоростью ротора, Н ∙ м



GpDp = 4 ∙ 9,81 ∙ J



J – момент инерции двигателя, кг ∙ м……………………………….0,675



GpDp = 4 ∙ 9,81 ∙ 0,675 = 26,487 Н ∙ м



Q – грузоподъемность, кг ……………………………………….10000

V – скорость подъема м/мин……………………………………………..12

n – номинальные обороты двигателя, об/мин………………………….970

∑GD = 1,15 ∙ 26,487 + 4 ∙ = 36,6 Н м



Проверим двигатель на обеспечение теплового режима

Рн ≥ ([4] стр. 39 формула 1.57)



где kэкв, kз, Е, Ер – расчетные коэффициенты, зависящие от режима работы и маховых масс ([4] стр. 39 таб. 13)



Е = 0,4



kэкв = 0,8

Ер = 0,5

kз = 1

kн – коэффициент, равный единице для электроприводов переменного тока.

kд.п. – коэффициент, учитывающий степень включений динамических потерь на нагрев машины: 1,25 ([4] стр. 37 таб. 12)

ηэкв.б. – эквивалентный базисный КПД: 0,76 ([4] стр. 37 таб. 12)

kр – коэффициент, учитывающий увеличение потерь на регулировочных характеристиках.

kр = 1 – 1,2 (Ер – Ер.б.) ([4] стр. 40 формула 1.58)

Ер – относительная продолжительность включения при регулировании

Ер = 0,5 ([4] стр. 39 таб. 13)

kр = 1 – 1,2 (0,5 – 0,4) = 0,88

ηэкв. – эквивалентный КПД, является показателем энергетических свойств системы регулирования и определяющий потери энергии в электроприводе.

ηэкв.= ([4] стр. 38 формула 1.55).



где ηэкв. – значение эквивалентного КПД, соответствующее заданному числу включений в час Zэкв. ([4] стр. 38 рис. 5 гр. 4).

при Z = 240ηэкв.z. = 0,75

ηэкв.= = 0,75



Рн.т. = = 25,2 (кВт)



Рн ≥ Рн.т.

30 кВт > 25,2 кВт

Выбранный электродвигатель по нагреву подходит.

Проверим выбранный двигатель по обеспечению пускового режима

Мmax > kзм (Мс.max + Мдин)([4] стр. 40 формула 1.59)

kзм – коэффициент запаса по моменту ([4] стр. 41) - 1,2

Мс.max – максимально возможный для данного кранового механизма момент статистической нагрузки приведенной к валу электродвигателя.

Мс.max = 9550 Рс.н./ n([4] стр. 43)

n – обороты двигателя………………………………………970 об/мин

Рс.н. – мощность статистическая……………………………..34,6 кВт

Мс.max = 9550 ∙ = 242 Н∙ м



Мдин – динамический момент, определяемый из условия необходимого ускорения

Мдин = ∙ а



= = 102 рад/с



а – ускорение механизма 0,3([4] стр. 41 таб. 14)

Мдин = ∙ 0,3 = 140 Н ∙ м



Мmax > 1,2 ∙ (242 + 140) = 459

932 Н ∙ м > 459 Н ∙ м

Выбранный электродвигатель по пусковому режиму подходит.

Выбранный двигатель удовлетворяет всем условиям.

**Расчет мощности двигателя передвижения тележки**

Определим статическую мощность на валу двигателя:

Рс.т. = ([4] стр. 23 формула 1.18)



G – грузоподъемность (кг)…………………….............10000 кг

G - вес тележки и подвески (кг)……………………….............2000 кг



V – скорость передвижения (м/мин)……………………...37,8 м/мин

k – коэффициент, учитывающий увеличение сопротивления движению из-за трения ребер ходовых колес о рельсы ([4] стр. 23 таб. 11)………….2,0

М – коэффициент трения скольжения в подшипниках опор вала ходового колеса ([4] стр. 23 )……………………………………………..0,015

r – радиус шейки оси ходового колеса…………………………0,018 м

f – коэффициент трения качения ходовых колес по рельсам

([4] стр. 24)……………………………………………..............0,0003

Rк – радиус колес………………………………………………...0,16 м

η – КПД механизма передвижения ([4] стр. 20 таб. 10)………..0,85

Рс.т. = = 3,8



В соответствии с исходными данными по режиму работы и принятой системой электропривода определяем значение коэффициента ([4] стр. 37 таб. 12) kт = 0, 95

kт – коэффициент, определяющий выбор двигателя по тепловому режиму. Находим предварительную мощность для выбора электродвигателя.

Рп = ([4] стр. 37 формула 1.56)



Рп = = 4 кВт



Из таб. ([4] стр. 13) выбираем электродвигатель:

Тип МТН 211-6У; Рн = 7кВт; cosφ = 0,64; Iн.с. = 22,5 А; Iн.с. =19,5 А;

Uр = 236 В; J = 0,115 кг ∙ м; Мmax = 196 Н ∙ м; n = 920 об/мин; η = 73%



Определим приведенный маховый момент к валу двигателя:

GDпр = 1,15 ∙ GpDp+ 4 ([4] стр. 26 формула 1.28)



где GpDp - маховый момент электродвигателя



GpDp = 4 ∙ 9,81 ∙ J



J – момент инерции двигателя, кг ∙ м………………………..….0,115



GpDp = 4 ∙ 9,81 ∙ 0,115 = 4,5 Н ∙ м



Q – грузоподъемность, кг ∙ м……………………………………10000



V – скорость передвижения м/мин………………………..............37,8

n – номинальные обороты двигателя, об/мин……………………...920

GDпр = 1,15 ∙ 4,5 + 4 = 72,6 Н ∙ м



Проверим двигатель на обеспечение теплового режима

Рн ≥ ([4] стр. 39 формула 1.57)



где kэкв, kз, Е, Ер – расчетные коэффициенты, зависящие от режима работы и маховых масс ([4] стр. 39 таб. 13)



Е = 0,4



kэкв = 0,75

Ер = 0,5

kз = 1

kн – коэффициент, равный единице для электроприводов переменного тока.

kд.п. – коэффициент, учитывающий степень включений динамических потерь на нагрев машины: 1,25 ([4] стр. 37 таб. 12)

ηэкв.б. – эквивалентный базисный КПД: 0,76 ([4] стр. 37 таб. 12)

kр – коэффициент, учитывающий увеличение потерь на регулировочных характеристиках.

kр = 1 – 1,2 (Ер – Ер.б.) ([4] стр. 40 формула 1.58)

Ер – относительная продолжительность включения при регулировании

Ер = 0,5 ([4] стр. 39 таб. 13)

kр = 1 – 1,2 (0,5 – 0,4) = 0,88

ηэкв. – эквивалентный КПД, является показателем энергетических свойств системы регулирования и определяющий потери энергии в электроприводе.

ηэкв.= ([4] стр. 38 формула 1.55).



где ηэкв. – значение эквивалентного КПД, соответствующее заданному числу включений в час Zэкв. ([4] стр. 38 рис. 5 гр. 4).

при Z = 240ηэкв.z. = 0,75

ηэкв.= = 0,49



Рн.т. = = 6,3 (кВт)



Рн ≥ Рн.т.

7 кВт > 6,3 кВт

Выбранный электродвигатель по нагреву подходит.

Проверим выбранный двигатель по обеспечению пускового режима

Мmax > kзм (Мс.max + Мдин)([4] стр. 40 формула 1.59)

kзм – коэффициент запаса по моменту ([4] стр. 41) - 1,2

Мс.max – максимально возможный для данного кранового механизма момент статистической нагрузки приведенной к валу электродвигателя.

Мс.max = 9550 Рс.н./ nн([4] стр. 43)

nн – обороты двигателя………………………………………..920 об/мин

Рс.н. – мощность статистическая……………………………….3,8 кВт

Мс.max = 9550 ∙ = 39,4 Н∙ м



Мдин – динамический момент, определяемый из условия необходимого ускорения

Мдин = ∙ а ([4] стр. 44)



= = 96,3 рад/с



а – ускорение механизма 0,3([4] стр. 41 таб. 14)

Мдин = ∙ 0,3 = 83,2 Н ∙ м



Мmax > 1,2 ∙ (39,4 + 83,2) = 148 Н ∙ м

196 Н ∙ м > 148 Н ∙ м

Выбранный электродвигатель по пусковому режиму подходит.

Выбранный двигатель удовлетворяет всем условиям.

**Расчет мощности двигателя передвижения моста**

Определим статическую мощность на валу двигателя:

Рс.т. = ([4] стр. 23 формула 1.18)



G – грузоподъемность (кг)……………………………….......10000 кг

G - вес тележки и подвески (кг)……………………………...22500 кг



V – скорость передвижения (м/мин)………………..............73 м/мин

k – коэффициент, учитывающий увеличение сопротивления движению из-за трения ребер ходовых колес о рельсы ([4] стр. 23 таб. 11)………….1,2

М – коэффициент трения скольжения в подшипниках опор вала ходового колеса ([4] стр. 23 )…………………………………………..0,015

r – радиус шейки оси ходового колеса……………………………0,035 м

f – коэффициент трения качения ходовых колес по рельсам ([4] стр. 24)……………………………………………..............0,0003

Rк – радиус колес………………………………………………....0,25 м

η – КПД механизма передвижения ([4] стр. 20 таб. 10)……………………..0,98

Рс.т. = = 9,6



В соответствии с исходными данными по режиму работы и принятой системой электропривода определяем значение коэффициента ([4] стр. 37 таб. 12) kт = 0, 95

kт – коэффициент, определяющий выбор двигателя по тепловому режиму. Находим предварительную мощность для выбора электродвигателя.

Рп = ([4] стр. 37 формула 1.56)



Рп = = 10,1 кВт



Из таб. ([4] стр. 13) выбираем 2 электродвигатель:

Тип МТF 211-6; Рн = 7,5 кВт; cosφ = 0,7; Iн.с. = 21 А; Iн.с. =19,8 А;

Uр = 256 В; J = 0,115 кг ∙ м; Мmax = 191 Н ∙ м; n = 930 об/мин;



Определим приведенный маховый момент к валу двигателя:

GDпр = 1,15 ∙ GpDp+ 4 ([4] стр. 26 формула 1.28)



где GpDp - маховый момент электродвигателя



GpDp = 4 ∙ 9,81 ∙ J



J – момент инерции двигателя, кг ∙ м…………………………...0,115



GpDp = 4 ∙ 9,81 ∙ 0,23 = 9 Н ∙ м



Q – грузоподъемность, кг ∙ м……………………………...….10000



V – скорость передвижения м/мин………………………...............73

n – номинальные обороты двигателя, об/мин…………………...930

GDпр = 1,15 ∙ 9 + 4 = 257 Н ∙ м



Проверим двигатель на обеспечение теплового режима

Рн ≥ ([4] стр. 39 формула 1.57)



где kэкв, kз, Е, Ер – расчетные коэффициенты, зависящие от режима работы и маховых масс ([4] стр. 39 таб. 13)



Е = 0,4



kэкв = 0,85

Ер = 0,5

kз = 1

kн – коэффициент, равный единице для электроприводов переменного тока.

kд.п. – коэффициент, учитывающий степень включений динамических потерь на нагрев машины: 1,25 ([4] стр. 37 таб. 12)

ηэкв.б. – эквивалентный базисный КПД: 0,76 ([4] стр. 37 таб. 12)

kр – коэффициент, учитывающий увеличение потерь на регулировочных характеристиках.

kр = 1 – 1,2 (Ер – Ер.б.) ([4] стр. 40 формула 1.58)

Ер – относительная продолжительность включения при регулировании

Ер = 0,5 ([4] стр. 39 таб. 40)

kр = 1 – 1,2 (0,5 – 0,4) = 0,88

Ер.б. – базовая относительная продолжительность включения при регулировании Ер.б. = 0,4 ([4] стр. 39 таб. 13)

ηэкв. – эквивалентный КПД, является показателем энергетических свойств системы регулирования и определяющий потери энергии в электроприводе.

ηэкв.= ([4] стр. 38 формула 1.55).



где ηэкв. – значение эквивалентного КПД, соответствующее заданному числу включений в час Zэкв. ([4] стр. 38 рис. 5 гр. 4).

при Z = 240ηэкв.z. = 0,85

ηэкв.= = 0,62



Рн.т. = = 11,8 (кВт)



Рн ≥ Рн.т.

15 кВт > 11,8 кВт

Выбранный электродвигатель по нагреву подходит.

Проверим выбранный двигатель по обеспечению пускового режима

Мmax > kзм (Мс.max + Мдин)([4] стр. 40 формула 1.59)

kзм – коэффициент запаса по моменту ([4] стр. 41) - 1,2

Мс.max – максимально возможный для данного кранового механизма момент статистической нагрузки приведенной к валу электродвигателя.

Мс.max = 9550 Рс.н./ nн([4] стр. 43)

nн – обороты двигателя……………………………………..930 об/мин

Рс.н. – мощность статистическая……………………………….9,6 кВт

Мс.max = 9550 ∙ = 98,5 Н∙ м



Мдин – динамический момент, определяемый из условия необходимого ускорения

Мдин = ∙ а ([4] стр. 44)



= = 98 рад/с



а – ускорение механизма 0,3([4] стр. 41 таб. 14)

Мдин = ∙ 0,3 = 155 Н ∙ м



Мmax > 1,2 ∙ (96 + 155) = 302 Н ∙ м

382 Н ∙ м > 302 Н ∙ м

Выбранный электродвигатель по пусковому режиму подходит.

Выбранный двигатель удовлетворяет всем условиям.

**Расчет и выбор тормозов и их приводов для крановых механизмов**

Основным параметром тормозов является гарантированно развиваемый или тормозной момент. Тормозной момент с усилием действует на измерительный рычаг, при котором начинается проскальзывание шкива или дисков тормоза.

Согласно правилам Госгортехнадзора каждый из установленных на механизме механических тормозов должен удерживать груз, составляющий 125% номинального, при его остановке с помощью только того тормоза.

С учетом того, что коэффициент трения асбестовых материалов может измениться в зависимости от температуры поверхности до 30% тормоз в номинального, т.е. коэффициент запаса тормозного момента должен быть не менее 1,5 для тормозов, установленных на механизм подъема.

Сначала определяем тормозной момент:

для механизма подъема, формула имеет вид

Мтр =([3] стр. 134 таб. 4.1)



где Qном – грузоподъемность, кг

Vном - скорость подъема, м/с

nдв – обороты двигателя, об/мин

η – КПД для номинальной нагрузки механизма

для механизма горизонтального перемещения формула имеет вид

Мтр = ([3] стр. 135 таб. 4.2)



где F – коэффициент трения, в помещении F = 0,2



α – отношение числа тормозящихся колес к общему числу колес

η – КПД механизма

G – грузоподъемность, кг

- скорость передвижения механизма, м/сек



nн – обороты двигателя, об/мин

- число механизмов с тормозом



- расчетная частота вращения электродвигателя, об/мин



Для механизма подъема тормозной момент умножают на коэффициент запаса kз ([3] стр. 135)

Мтз = kз ∙ Мтр ([3] стр. 135)

Исходя из полученных значений Мтр, Мтз, по таб. 4.13 ([3] стр. 149) выбирают тормоз.

**Расчет и выбор тормоза механизма подъема**

Определяем тормозной момент для механизма подъема:

Мтр =([3] стр. 134 таб. 4.1)



где Qном – грузоподъемность, кг ∙ с………………………….10000

Vном - скорость подъема, м/мин……………………………………12

nдв – обороты двигателя, об/мин…………………………………...970

η – КПД для номинальной нагрузки механизма……………………0,8

Мтр = = 155 Н ∙ м



Определяем тормозной момент с учетом коэффициента запаса kз

([3] стр. 135 таб. 4.1) kз = 2

Мтз = Мтр ∙ kз ([3] стр. 135)

Мтз = 155 ∙ 3 = 310 Н ∙ м

Выбираем тормоз ТКГ-300 ([3] стр. 149 таб. 4.13), тормозной момент 800 Н ∙ м, диаметр шкива 300 мм, отход колодок 1,5 мм, тип гидротолкателя ТЭ 50, усиление подъема 500 Н, ход штока 50 мм, время подъема штока 0,5 с, время опускания штока 0,37 с, мощность двигателя 0,2 кВт, частота вращения 2850 об/мин, ток двигателя 0,7 А, объем рабочей жидкости 3,5 л.

**Расчет и выбор тормоза механизма тележки**

Определяем тормозной момент для механизма передвижения тележки:

Мтр = ([3] стр. 135 таб. 4.2)



G – грузоподъемность, кг……………………………………...10000

- скорость горизонтального передвижения, м/с……………….0,63



- число механизмов с тормозами……………………………….....1



η – КПД механизма…………………………………………………0,85

- расчетная частота вращения электродвигателя, об/мин…….920



Мтр = = 110 Н ∙ м



kз = 1,5

Мтз = kз ∙ Мтр = 1,5 ∙ 110 = 165 Н ∙ м

Выбираем тормоз ТКГ – 200 ([3] стр. 149 таб. 4.13), тормозной момент 300 Н ∙ м, диаметр шкива 200 мм, отход колодок 1,2 мм, тип гидротолкателя ТЭ 25, усилие подъема 250 Н, ход штока 32 мм.

**Расчет и выбор тормоза механизма передвижения моста**

Определяем тормозной момент для механизма передвижения моста:

Мтр = ([3] стр. 135 таб. 4.2)



где G – вес крана……………………………………….(10000 + 22500)

η – КПД механизма………………………………………………….0,98

Vп – скорость передвижения механизма, м/мин……………………73

nн – обороты двигателя, об/мин…………………………………….930

Мтр = = 644 Н ∙ м



kз = 3

Мтз = Мтр ∙ kз

Мтз = 644 ∙ 1,5 = 966 Н ∙ м

Выбираем тормоз ТКГ-400 ([3] стр. 149 таб. 4.13).

Тормозной момент 1500 Н ∙ м, диаметр шкива 400 мм, отход колодок 1,8 мм, тип гидротолкателя ТГМ 80, усиление подъема 800 Н ∙ м, ход штока 50 мм, время подъема штока 0,55 с, время опускания штока 0,38 с, мощность двигателя 0,2 кВт. Объем рабочей жидкости 5 л., ток двигателя 0,8 А.

**Расчет и выбор аппаратов управления и защиты**

По своему назначению и конструктивным особенностям грузоподъемные механизмы относятся к категории оборудования имеющей повышенную опасность, что объясняется процессом работы этих механизмов на площадках и в помещениях, где одновременно находятся люди и оборудование.

В соответствии с «Правилами устройства электроустановок и безопасности грузоподъемных кранов» на проектируемом кране предполагается выполнение следующих защит.

Защита механизмов и двигателей от перегрузок, защита электрооборудования от токов к.з., нулевая защита, защита от перехода механизмами предельно допускаемых положений.

Для осуществления различных видов защит, в кабине крана в панель предполагается установить автоматический выключатель общий для всех двигателей QF1.

Он выбирается:

1. По номинальному положению: Uн ≥ Uр
2. По номинальному току: Iн ≥ Iкр
3. По току срабатывания теплового расцепителя: Iт.р. ≥ 1,15 ∙ Iдл
4. По току срабатывания электрорасцепителя: Iэ.р. ≥ 1,25 ∙ Iкр
5. Uн ≥ Uр

Uр – рабочее напряжение 220 В

2. Iн ≥ Iкр

Iкр – максимальный ток, потребляемый электроприемниками

Iкр = ∑Iр+ 2,5 ∙ I пуск д.б.



∑Iр - сумма максимальных рабочих токов цепи, обусловленная всеми приемниками, присоединенными к ней за исключением приемника дающего наибольшее приращение пускового тока.



2,5 ∙ I пуск – пусковой ток двигателя наибольшей мощности

∑Iр = Iр.тел + 2 Iр.моста



∑Iр = 22,5 + 2 ∙ 21 = 64,5 А



2,5 Iпуск = 2,5 ∙ Iд.подъема = 2,5 ∙ 75 = 187,5

Iкр = 64,5 + 187,5 = 252 А

Исходя из полученного значения выбираем автоматический выключатель типа ВА 5139, Iн = 400 А, Iт.р. = 200 А, Iэ.р. = 2400 А

Iн = 400 А > Iкр = 252 А

3. Iт.р. ≥ 1,15 ∙ Iдл

Iт.р. – ток теплового расцепителя

Iдл – рабочий ток работающих приемников

Iдл = Iд.подъема + Iтел + 2 ∙ Iмоста = 75 + 22,5 + 2 ∙ 21 = 140 А

Iт.р. ≥ 1,15 ∙ 140

200 А ≥ 161 А

4.Iэ.р. ≥ 1,25 ∙ Iкр

Iэ.р. ≥ 1,25 ∙ 252

2400 А ≥ 351 А

1, 15 – кратность установки срабатывания теплового расцепителя.

1, 25 – кратность установки срабатывания электромагнитного расцепителя.

Так как автоматический выключатель А3720Ф удовлетворяет всем условиям, принимаем его к установке.

В защитной панели устанавливаем линейный контактор КМ тип КТП6042 220 В. Кнопки SВ1 и SB2 – «пуск» и «стоп» контактора КМ, а также для защиты от токов к.з. оперативных цепей передвижения крана тележки.

Для индивидуальной защиты двигателей в защитной панели предусмотрены реле максимального тока.

При выборе реле максимального тока должно соблюдаться условие

Iуст ≥ Iобщ, где Iобщ – 2,5 ∙ Iн

Iн – номинальный ток двигателя.

Рассчитаем реле максимального тока в цепи двигателя механизма подъема. По схеме в количестве трех штук.

Iуст ≥ Iобщ

Iобщ = 2,5 ∙ 75 = 187,5 А

Выбираем реле РЭО – 401 6ТД 237.004-3.

Предел регулирования 210-640А. Допустимый ток катушки при ПВ 40% = 240 А.

240 А > 187,5 А

Рассчитаем реле максимального тока в цепи двигателя механизма передвижения тележки, в количестве трех штук.

Iуст ≥ Iобщ

Iобщ = 2,5 ∙ Iн = 2,5 ∙ 22,5 = 56,3 А.

Выбираем реле РЭО – 401 6ТД 237.004.6

Предел регулирования 50-160А. Допустимый ток катушки при ПВ

40% = 60 А.

60 А > 56,3 А

Рассчитаем реле максимального тока в цепи двух двигателей перемещения моста, в количестве трех штук.

Iуст ≥ Iобщ

Iобщ = 2 ∙ Iн ∙ 2,5 = 2 ∙ 21∙ 2,5 = 105 А.

Выбираем реле РЭО – 401 6ТД 237.004-4

Предел регулирования 130-400А. Допустимый ток катушки 150 А.

150 А > 105 А

Конечные выключатели SQа и SQд блокировки люка и калитки, а также SQм и SQт – конечные выключатели типа КУ 701 АУ 1 блокировки хода моста и тележки. Все они включены в цепь линейного контактора КМ. Для блокировки предельно-допустимого значения хода подъема используется конечный выключатель SQп типа ВУ – 703 ТУ 1.

**Выбор контроллера для пуска и управления двигателем механизма подъема**

Контроллеры выбираются в зависимости от мощности двигателя, по допустимому числу включений, по коммутации при наиболее допустимых значениях тока включения, а номинальный ток должен быть равен или больше расчетного тока двигателя при заданных условиях эксплуатации.

Iн > Iр ∙ k

k – коэффициент, учитывающий режим работы механизма (число включений, продолжительность включения).

Для ВТ режима работы и 240 включений в час k = 0,9

Сравним паспортные данные кулачкового контроллера ККТ 68А

([4] стр. 59 табл. 20) и двигателя МТF412 - 6У1

Кулачковый контроллер ККТ 68А ([3] стр. 140 табл. 3.7)

Iд – допустимый ток 150 А. Контроллер рассчитан на управление двигателем до 45 кВт.

Двигатель МТF 412 - 6У1

Iст = 75 А, Iр = 73 А

Iн > 73 ∙ 0,9 = 65,7

150 А > 65,7 А

Исходя из расчетов контроллер подходит.

Для подключения двигателя к сети выбираем линейный контактор КТ6033Б, с диапазоном номинального тока от 100 – 250 А.

**Выбор контроллера для пуска и управления двигателем механизма тележки**

Сравним паспортные данные двигателя МТF111-6У и кулачкового контроллера ККТ 62А ([3] стр. 104 табл. 3.7)

Данные кулачкового контроллера

Iд – допустимый ток 75 А

Данные двигателя

Iст = 22,5

Iр = 19,5 А

Iн > Iр ∙ k

k – коэффициент, учитывающий режим работы механизма (число включений, продолжительность включения).

Для ВТ режима работы и 240 включений в час k = 0,9

Iн > 19,5 ∙ 0,9 = 17,55

75 А > 17,55 А

Исходя из расчетов, выбранный кулачковый контроллер подходит.

**Выбор контроллера для пуска и управления двигателями перемещения моста**

Сравним паспортные данные двигателя МТF312-6 и кулачкового контроллера ККТ 63А ([3] стр. 104 табл. 3.7)

Данные кулачкового контроллера

Iд – допустимый ток 100 А

Данные двигателя

Iст = 21 А

Iр = 19,8 А

Т.к. двигателя два, то берем двукратное значение тока

Iн > 2 ∙ 19,8 ∙ 0,9 = 36 А

100 А > 36 А

Исходя из расчетов, кулачковый контроллер подходит.

Для подключения двигателя к сети выбираем линейный контактор КТ6023Б, с диапазоном номинального тока от 100 – 250 А.

**Расчет пускорегулирующих сопротивлений и их выбор**

В крановых электроприводах применяются элементы сопротивления трех конструктивных особенностей для улучшения пускорегулирующих свойств двигателя.

1. С рассеиваемой мощностью 25 – 150 Вт и сопротивлением от 1 до 30000 (Ом) тип ПЭВ

2. С рассеиваемой мощностью 250 – 400 Вт и сопротивлением от 0,7 до 96 (Ом)

3. С рассеиваемой мощностью 850 – 1000 Вт и сопротивлением от 0,078 до 0,154 (Ом)

Элементы резисторов, собранные в блоки, рассчитаны на эксплуатацию при потенциале по отношению к заземленным частям 800 В. Нормализованные блоки могут, скомпонованы в любом сочетании и позволяют получить требуемые параметры в разных системах электроприводов. Блоки резисторов комплектуются из ленточных и проволочных элементов.

Типы блоков имеют названия БФ – 6 и БФ – 12. В блоках БФ – 6 установлено 6 ленточных элементов, а в блоках БФ – 12 12 фехралевых и константановых проволочных элементов.

Ранее выпускались блоки ИР – 1А, ИФ – 11А, НК – 11А. Мощность новых блоков на 10 – 20% превышает мощность ранее выпускаемых блоков.

Расчет сопротивлений ведем в относительных единицах. Для этого устанавливаем базисные значения М – 100% и I – 100%.

**Расчет пускорегулирующих сопротивлений и их выбор для двигателя механизма подъема**

Рассчитаем сопротивления для двигателя МTF 412 – 6У1

1. Находим статический момент двигателя (базисный)

М = 9550 ([4] стр. 40 формула 1.59)



М = 9550 = 242 Н ∙ м



2. Находим ток (базисный)

I – 100% = М – 100% ∙ ([1] стр. 172)



Iн.р. – номинальный ток ротора 73 А

nн – число оборотов двигателя 970 об/мин

Рн – номинальная мощность двигателя 30 кВт

I – 100% = 282 ∙ = 69,7 А



3. Определяем сопротивление ступеней

Rступ = ([1] стр. 172)



R% - сопротивление ступеней (в процентах)

Rн – номинальное сопротивление

Rн = ([1] стр. 174)



Ер.н. – ЭДС ротора – 250 В

Rн = = 2,1 (Ом)



В зависимости от типа магнитного контроллера находим разбивку сопротивлений по ступеням и определяем сопротивление каждого резистора в одной фазе ([3] стр. 227 таб. 7.9)

Обозначение положений R(Ом)

V - 0

IV - 0,42

III - 0,567

II - 1,6

I - 2,9

Общее - 2,9

Исходя из общего сопротивления, выбираем блок резисторов ИРАК 434.332.004-10; тип БФ-6 ([3] стр. 234 таб. 7.9)

**Расчет пускорегулирующих сопротивлений и их выбор для двигателя передвижения тележки**

Рассчитаем сопротивления для двигателя МTF 412 – 6У1

1. Находим статический момент двигателя (базисный)

М = 9550 ([4] стр. 40 формула 1.59)



Рст. – мощность 3,8 кВт

nн – обороты 920 об/мин

М = 9550 = 39,4 Н ∙ м



2. Определим время разгона

t = ([1] стр. 172)



V – скорость передвижения тележки 37,8 м/мин

а – ускорение 0,3 м/сек

t = = 2,1 сек



3. Для механизмов горизонтального передвижения за базисный момент принимаем момент, необходимый для обеспечения требуемого ускорения.

М-100% = ([1] стр. 172)



GD - суммарный маховый момент на валу двигателя



GD = 4,5 (кг ∙ м)



М-100% = = 50,4 Н ∙ м



4. Находим ток резистора, соответствующий базисному режиму, принятому за 100%

I – 100% = М – 100% ∙



I – 100% = 50,4 ∙ = 13,5 А



5. Номинальное сопротивление:

Rн = = = 10,9 (Ом)



В зависимости от типа магнитного контроллера находим разбивку сопротивлений по ступеням и определяем сопротивление каждого резистора в одной фазе ([3] стр. 227 таб. 7.9)

Обозначение положений R(Ом)

V - 0

IV - 1,06

III - 2,16

II - 6,36

I - 10,375

Общее - 10,375

Исходя из общего сопротивления, выбираем блок резисторов ИРАК 434.331.003-03; тип БК-12 ([3] стр. 227 таб. 7.4)

**Расчет пускорегулирующих сопротивлений и их выбор для двигателя передвижения моста**

Рассчитаем сопротивления для двигателя МTН 211 – 6У1

1. Находим статический момент двигателя (базисный)

М = 9550 ([4] стр. 40 формула 1.59)



Рст. – мощность 9,6 кВт

nн – обороты 930 об/мин

М = 9550 = 98,6 Н ∙ м



2. Определим время разгона

t = ([1] стр. 172)



V – скорость передвижения тележки 37,8 м/мин

а – ускорение 0,3 м/сек

t = = 4 сек



3. Для механизмов горизонтального передвижения за базисный момент принимаем момент, необходимый для обеспечения требуемого ускорения.

М-100% = ([1] стр. 172)



GD - суммарный маховый момент на валу двигателя



GD = 4,5 (кг ∙ м)



М-100% = = 85,2 Н ∙ м



4. Находим ток резистора, соответствующий базисному режиму, принятому за 100%

I – 100% = М – 100% ∙



I – 100% = 85,2 ∙ = 23,1 А



5. Номинальное сопротивление:

Rн = = = 5,9 (Ом)



В зависимости от типа магнитного контроллера находим разбивку сопротивлений по ступеням и определяем сопротивление каждого резистора в одной фазе ([3] стр. 227 таб. 7.9)

Обозначение положений - R(Ом)

V - 0

IV - 1,26

III - 1,68

II - 3,36

I - 8,4

Общее - 8,4

Исходя из общего сопротивления, выбираем блок резисторов ИРАК 434.331.003-02; тип БК-12 ([3] стр. 227 таб. 7.4)

**Расчет механической характеристики двигателя механизма подъема**

Построим естественную и искусственную характеристики двигателя: МТF 412-6У1

МТ – серия

F – класс изоляции

6 – число пар полюсов

Паспортные данные:

Рн – номинальная мощность……………………………………30 кВт

nн – номинальные обороты………………………………...970 об/мин

Ер – ЭДС ротора………………………………………………..250 В

Mmax – момент максимальный………………………………932 Н ∙ м

Iр – ток ротора……………………………………………………73 А

Iст – ток статора………………………………………………….75 А

f – частота сети…………………………………………………..50Гц

Порядок расчета:

n = = 1000 об/мин



n= 970 об/мин



Р=



М = 9550= 295 Н ∙ м



k== 3,15



S=



n= n (1 - S)



S = S( k + )



S= = = 0,03



S = 0,03 ∙ ( 3,15 + ) = 0,18



n= 1000 (1 – 0,18) = 820 об/мин



Строим естественную характеристику двигателя.

Далее производим расчет искусственной характеристики двигателя подъема.

I положение

r = S∙ R= 0,03 ∙ 2,9 = 0,087 Ом



R = S+ = 0,03 + = 1,03 Ом



= 11,83



S= = 0,407



n= n (1 - S) = 1000 (1 – 0,407) = 593 об/мин



S = S( k + ) = 0,407 ∙ ( 3,15 + ) = 2,49



n= 1000 (1 – 2,49) = 149 об/мин



II положение

R= S+ = 0,03 + = 0,58 Ом



= 6,6



S= = 0,2



n= n (1 - S) = 1000 (1 – 0,2) = 800 об/мин



S= 0,2 ∙ ( 3,15 + ) = 3,22



n= 1000 (1 – 1,22) = 220 об/мин



III положение

R= S+ = 0,03 + = 0,22 Ом



= 2,52



S= = 0,07



n= n (1 - S) = 1000 (1 – 0,7) = 930 об/мин



S= 0,07 ∙ ( 3,15 + ) = 0,42



n= 1000 (1 – 0,42) = 580 об/мин



IV положение

R= S+ = 0,03 + = 0,17 Ом



= 2



S= = 0,05



n= n (1 - S) = 1000 (1 – 0,05) = 950 об/мин



S= 0,05 ∙ ( 3,15 + ) = 0,3



n= 1000 (1 – 0,3) = 700 об/мин



V положение

R = 0 Двигатель работает по естественной характеристике.



**Выбор троллей крана**

Для питания электроустановок, расположенных на перемещающихся крановых механизмах, применяют различные специальные токопроводы: троллейный, бестроллейный, гибкий, кабельный, кольцевой.

Гибкий троллейный и кабельный токопроводы для кранов, большого применения не получили из-за недостаточно высокой надежности. Кольцевой токопровод применяют для электрооборудования полнопроводных механизмов вращения.

Жесткий троллейный токопровод применяют в виде: системы главных троллей, расположенных вдоль подкранового пути, служащих для питания электрооборудования одного или нескольких кранов; системы вспомогательных троллей, расположенных вдоль моста и служащих для питания электрооборудования тележек. На проектируемом кране питания электрооборудования тележки осуществляется гибким кабельным токопроводом.

Преимущество стальных троллей: относительно высокая надежность, малый износ при значительных ПВ, экономия цветного металла. Снятие напряжения осуществляется подвижными токосъемниками, изготовленными из чугуна.

Сечение троллей, проводов и кабелей крановой сети рассчитывается по допустимому току нагрузки с последующей проверкой на потерю напряжения.

Рр = kн ∙ Р∑ + с ∙ Рз ([2] стр. 108 формула 1.89)

Рр – расчетная мощность

Р∑ - суммарная устанавливаемая мощность всех двигателей при ПВ 100% (кВт)

Рз – суммарная установленная мощность трех наибольших по мощности двигателей при ПВ 100%

k, с – коэффициенты использования и расчетный коэффициент

([4] стр. 109 таб. 35)

kн = 0,18с = 0,6

Наименование Тип двигателя Мощность Iн.ст.

механизма

Механизм МТF 412-6У130 кВт75 А

подъема

Механизм МТН 211-67 кВт 22,5 А

передвижения

тележки

МеханизмМТН 211-62 ∙ 7,5 кВт21 А

передвижения

моста

Переведем мощность двигателей при ПВ = 40% в ПВ = 100%

Р = Р=19 кВт



Р = Р =4,42 кВт



Р = Р =4,75 кВт



Р∑ = 19 + (2 ∙ 4,75) + 4,42 = 33 кВт

Рз = 19 + (2 ∙ 4,75) = 28,5 кВт

Рр = kн ∙ Р∑ + с ∙ Рз

Рр = 0,18 ∙ 33 + 0,6 ∙ 28,5 = 23 кВт

Расчетное значение длительного тока определяют:

Iр = ([4] стр. 108 формула 1.87)



Рр – расчетная мощность группы всех электродвигателей

Uн – номинальное, линейное напряжение сети

η и cosφ – усредненное значение КПД и cosφ

cosφ=



cosφ = =0,69



η=



η= = 78%



Iр = = 112 А



Предварительно выбираем допустимый по условию механической прочности стальной уголок 75х75х10 S = 480 мм ([4] стр. 108 таб. 36) Iдл.доп = 315 А



Максимальное значение тока для проверки троллей по потере напряжения определяют по формуле ([4] стр. 109 формула 1.90)

Imax = Ip + (kпус – 1) ∙ Iн



Iр – расчетный суммарный ток всех электродвигателей по потере напряжения.

Iн - номинальный ток при ПВ 40% электродвигателя с наибольшим пусковым током.



kпус – кратность пускового тока электродвигателя с наибольшим пусковым током, выбираемый для АД с фазным ротором 2,5 ([4] стр. 110)

Imax = 112 + (2,5 – 1) ∙ 75 = 225 А

По номограмме, приведенной на рис. 26 ([4] стр. 110) потеря на 1м длины уголка 75х75х10, составляет ∆U = 0,24

Длина троллей крана составляет 162 м, питание подведено к середине, т.е. длина пролета составляет 81 м.

Потеря напряжения в троллеях при питании в средней точке

∆U = ∆U = 0,24 ∙ 81 = 19,4 В



Допускается падение напряжения 10% от номинального Uн = 220 ∆U = 22 В

19,4 В < 22 В

Следовательно, выбранный уголок при этом способе питания подходит.

**Расчет и выбор кабелей к электроприемникам крана**

Согласно ПУЭ все кабели прокладываются по ферме крана. Прокладка проводов и кабелей, на кранах металлургических предприятий, осуществляется в стальных трубах и металлорукавах согласно ПУЭ стр. 481 пункт 5.4.45.

Провода и кабели должны иметь четкую маркировку соединений и ответвлений. Оконцевание медных и алюминиевых жил проводов и кабелей должны производиться при помощи прессовки, сварки, пайки или специальных зажимов (винтовых, болтовых, клиновых). В местах соединений жил провода и кабеля, должны иметь изоляцию равноценную с изоляцией жил кабелей и проводов согласно ПУЭ стр. 486 пункт 5.4.26.

**Выбор кабеля от автомата до ввода крановых троллей**

Выбор сечения кабеля производится по допустимой силе тока нагрузки с последующей проверкой на потерю напряжения.

Длина кабеля 30 м прокладывается в лотке от источника питания до троллей. Сечение выбирают по расчетному току, при этом должно соблюдаться условие:

Iдоп ≥ Iр

Iдоп – ток длительно допустимый для выбранного проводника.

Iр – ток расчетный

Токовую нагрузку линии определяем как сумму токов всех электродвигателей за исключением тока одного из наименьших двигателей.

Iр = Iст.дв.п. + 2 ∙ Iст.дв.м.

Iр = 75 + 2 ∙ 21 = 117 А

Согласно ПУЭ табл. 1.3.6 выбираем кабель ВВГ сечением 50мм.



Допустимый ток 225 А.

Проверим выбранный кабель на потерю напряжения

∆U = ([4] стр. 110 формула 1.91)



Imax = 117 А

L – длина кабеля 30 м

cosφ = 0,74

S – сечение жил 50 мм



Uу – номинальное напряжение сети

- удельная проводимость материала (медь) 57 м/(Ом мм)



∆U = = 0,7%



Допустимая потеря напряжения 5% от номинального

5% > 0,7%

Выбранный кабель подходит. Кабелем этой же марки снимается напряжение с токосъемников и подается на вводной автомат QF1.

**Выбор кабелей к двигателям**

1. Рассчитаем кабель для двигателя подъема

MTF 412 - 6У1Iст = 75 А Iр = 73 А

Выбираем кабель: тип КГ сечением 35 мм; допустимый ток 160 А.



Проверим выбранный кабель на потерю напряжения по формуле:

∆U =



- удельная проводимость материала (медь) 57 м/(Ом мм)



∆U = = 0,23%



Допустимая потеря напряжения 3%

3% > 0,23%

Выбранный кабель пригоден как для запитывания двигателя, так и для соединения коллектора ротора с пускорегулирующими резисторами.

2. Рассчитаем кабель для двигателя передвижения тележки MTF 211-6E

Iст = 22,5 АIз = 19,5 А

Выбираем кабель: тип КГ сечением 2,5 мм; допустимый ток 18 А. Длина кабеля 11,3 м. Проверим выбранный кабель на потерю напряжения по формуле:



∆U =



- удельная проводимость материала (медь) 57 м/(Ом мм)



∆U = = 0,9%



Допустимая потеря напряжения 3%

3% > 0,9%

Выбранный кабель пригоден как для запитывания двигателя, так и для соединения коллектора ротора с ящиком сопротивлений.

3. Рассчитаем кабель для двигателя передвижения моста MTF 211-6

Iст = 21 АIз = 19,8 А

Выбираем кабель: тип КГ сечением 10 мм; допустимый ток 60 А. Длина кабеля 11,3 м. Проверим выбранный кабель на потерю напряжения по формуле:



∆U =



- удельная проводимость материала (медь) 57 м/(Ом мм)



∆U = = 0,45%



Допустимая потеря напряжения 3%

3% > 0,45%

Выбранный кабель подходит.

**Мероприятия по технике безопасности при ремонте электрооборудования крана**

Требования к устройству грузоподъемных механизмов, их эксплуатации и ремонту регламентированы «Правилами устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов Госгортехнадзора», ПУЭ, «Правилами техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей».

На основании этих правил разрабатывают и вручают крановщику местные инструкции, чтобы обеспечить исправное состояние кранов, грузозахватных механизмов и безопасные условия их работы, руководство обязало:

- Назначить ответственных за их безопасной эксплуатацией.

- Создать ремонтную службу для профилактических осмотров и ремонтов.

- Лица, ответственные за справное состояние кранов, обязаны обеспечить их регулярные осмотры и ремонты.

- систематический контроль за правилами ведения журнала периодических осмотров и своевременное устранение неисправностей.

- Проводить обслуживание и ремонт кранов обученным и аттестованным персоналом. Срок проверки знаний и проведения систематического инструктажа не менее чем через 12 месяцев.

- Своевременную остановку и подготовку к технологическому освидетельствованию кранов вывод их в ремонт, в соответствии с графиком.

Крановщик имеет право приступить к работе на кране только при получении ключа-бирки на право управления краном.

Слесари электромонтеры и другие лица при осмотре кранов должны брать ключ-бирку на время пребывания их на кране. Крановщик перед началом работы осматривает все механизмы крана и, убедившись в их полной исправности, приступает к работе.

На неисправном кране запрещено работать.

- Перед включением главного рубильника или автомата следует осмотреть крановые пути. Настил крана и пол должны быть чистыми.

- Чистить, смазывать и реконструировать кран на ходу категорически запрещается.

- Во время работы запрещается находиться около движущихся механизмов на мосту крана, за исключением слесарей и электриков-ремонтников, если нужно определить качество работы при испытании механизма.

- При нахождении на мосту крана ремонтного рабочего, главный рубильник должен быть отключен

- Нельзя использовать конечные выключатели для остановки механизмов крана.

**Электробезопасность**

Техника безопасности в электроустановках направлена, прежде всего, на предотвращение несчастных случаев поражения электрическим током. Для обеспечения электробезопасности требуется принимать следующие технические способы и средства:

- Защитное заземление

- Защитное отключение

- Изоляция токов едущих частей

- Оградительные устройства

- Предупредительные сигнализации

- Средства защиты и предохранительные приспособления

- Блокировки защиты и знаки безопасности

К работе с электроустановками допускаются лица, прошедшие инструктаж, не имеющие медицинских противопоказаний, и обучены безопасным методам труда.

Для обеспечения электробезопасности работ предусмотрены следующие организационные мероприятия:

- Назначение лиц, ответственных за организацию проведения работ.

- Оформление наряда допуска для проведения работ.

- Допуск к ведению работ.

- Оформление перерывов и окончания работы.

В целях безопасности работ с действующими электроустановками необходимо выполнять следующие мероприятия: при проведении работ со снятием напряжения.

- Отключение установки

- Отключение коммутационных аппаратов

- Снятие предохранителей

- Отсоединение концов питания

- Наличие предупреждающих знаков и ограждений, частей остающихся под напряжением

- Заземление и ограждение рабочего места.

Крановщики мостовых кранов должны иметь квалификационную группу II по технике безопасности, а ремонтники III группу.

Во время ремонтных работ на кранах допускается использование переносных ламп на напряжение 12 В.

Выполнение этих мер обеспечивает безопасность проводимых работ.

**Заземление крана и его использование**

Заземление это преднамеренное электрическое соединение с землей или ее эквивалентом металлических нетоковедущих частей электроустановок, которые могут оказаться под напряжением в связи с пробоем изоляции на корпус. В качестве заземлителей в первую очередь используют естественные заземлители в виде проложенных под землей металлических коммуникаций. Когда естественные заземлители отсутствуют или их использование не дает нужных результатов, то применяют искусственные заземлители – заземляющий контур. Не допускается использование в качестве заземлителей трубопроводы горючих жидкостей, газов, алюминиевые оболочки кабелей, алюминиевые проводники и кабели, проложенные в блоках, туннелях, каналах. В качестве искусственного заземлителя используют: угловая сталь 50x50; 60x60; 75х75, с толщиной стенки не менее 4 мм и длиной до 5 метров. Заземлители забивают в ряд или по контуру, на такую глубину, при которой от верхнего конца заземлителя до поверхности земли остается 0,5 – 0,8 м.

Расстояние между вертикальными заземлителями должно быть в пределах 2,5 – 3 м. Для соединения вертикальных заземлителей между собой применяют стальные полосы толщиной не менее 4 мм и сечением не менее 48 мм.



Магистрали заземления внутри зданий напряжением до 1000 В выполняют стальной полосой сечением не менее 100 мм. Ответвления от магистрали к электроустановкам выполняют стальной полосой сечением не менее 24 мм .



Согласно ПУЭ для обеспечения электробезопасности все металлические части электрооборудования, по которым не должен проходить ток должны быть заземлены.

При монтаже электрооборудования мостовых кранов заземлению подлежат корпуса электродвигателей; кожухи всех аппаратов; стальные трубы, в которых проложены провода; корпуса пускорегулирующих резисторов; кожуха контроллеров и т.д. Заземление металлоконструкций мостовых кранов выполняется через подкрановые пути и обеспечивается контактом между рельсами и ходовыми колесами. Стенки рельсов должны быть надежно соединены перемычками, сваркой или приварены к подкрановым балкам, образуя при этом непрерывную электрическую цепь. Присоединение заземляющего провода к рельсам должно выполняться при помощи сварки, а присоединение к корпусам двигателей, аппаратов – при помощи болтовых соединений, обеспечивающих надежный контакт. Заземляющие провода присоединяются к магистралям заземления, которые соединяются с металлоконструкциями крана. Заземление проверяют 1 раз в год не менее чем в двух точках.

В электроустановках до 1000 В с глухозаземленной нейтралью должно быть выполнено зануление. В таких установках не разрешается применять заземления корпусов без их связи с глухозаземленной нейтралью источника, т.к. это может привести к появлению опасного для человека напряжения на корпусе поврежденного оборудования.

Зануление – это преднамеренное соединение частей электроустановки, нормально не находящихся под напряжением, с глухозаземленной нейтралью генератора или трансформатора в сетях трехфазного тока.

Задачей зануления является пути наименьшего сопротивления для человека однофазного короткого замыкания, обеспечивающего надежное отключение автоматических выключателей, сгорание плавких всавок. В качестве нулевых защитных проводников используют: изолированные и неизолированные проводники, нулевые жилы кабелей и проводов, металлические конструкции зданий, подкрановые пути и т.д.

Изменение полного сопротивления петли «фаза-ноль» для наиболее удаленных и наиболее мощных электроприемников производится раз в пять лет.

**Библиография:**

1. Алексеев Ю.В. Певзнер Е.М. Яуре А.Г. «Крановое оборудование» справочник Москва «Энергоатомиздат» 1981 г.

2. «Правила устройства электроустановок» Москва «Энергоатомиздат» 1985 г.

3. Яуре А.Г., Певзнер Е.М. «Крановый электропривод» справочник Москва «Энергоатомиздат» 1983 г.

4. Рапутов Б.М. «Электрооборудование кранов металлургических предприятий» Москва «Металлургия» 1990 г.

5. Тембель П.В., Геращенко Г.В. «Справочник по обмоточным данным электрических машин и аппаратов» Москва «Энергоатомиздат» 1975 г.

6. Кюринг Г.М. « Расчет электрического освещения» Москва «Энергоатомиздат» 1978 г.

7. Куликов А.А. « Оборудование предприятий цветной металлургии» Москва «Металлургия» 1987 г.

**Приложение**

**Описание работы схемы управления электроприводами механизмов крана**

Схема управления краном, грузоподъемностью 10 т.с. работает следующим образом:

Напряжение к крану подведено посредством троллей, с троллей напряжение снимается подвижными токосъемниками. Напряжение на защитную панель крана подается после включения автомата QF1 и рубильника Q в кабине крана. В схему защитной панели входят контакты различных аппаратов, обеспечивающих надежность работы крана и безопасность его обслуживания, например: контакты конечных выключателей, контакты калитки, кабины, люка кабины, аварийного выключателя, реле напряжения и т.д.

На блоки управления подъема, передвижения крана и тележки напряжение подается через защитную панель крана после включения линейного контактора КМ, находящегося в защитной панели.

Для того, чтобы включить контактор КМ1 должна быть замкнута цепь: автоматы QF1 и QF2 (включены), кнопка SB1 (нажата), кнопка «стоп» SB2 (замкнута), ключ-марка SKM (вставлена), размыкающие контакты реле максимального тока КА1 – КА9 (замкнуты).

Следует заметить, что включение линейного контактора КМ1 не требуется, чтобы подать напряжение на автоматы SF1, SF2, SF4, SF5. С автомата SF3 запитан нагреватель ЕК, а с автомата SF1 запитан понижающий трансформатор Т 220/12.

С обмотки трансформатора Т 220/12 запитано 2 разъема XS1, XS2, предназначенных для подключения приборов, работающих от 12 В, например, переносные лампы, применяющиеся во время ремонта крана.

С автомата SF4 запитаны 3 лампы EL1, EL2, EL3, подкранового освещения. С автомата SF2 запитана лампа EL4, установленная в кабине крана. С автомата SF5 запитана розетка XS3 (220 B) и звонок НА через кнопку SB3. Непосредственно с токосъемников запитано роле контроля напряжения KV.

**Описание работы схемы элетропривода механизма подъема для асинхронного двигателя с фазным ротором**

Для переключения аппаратов панели в определенной последовательности предназначен командоконтроллер SA3. При постановке рукоятки командоконтроллера в сторону подъема на первой позиции двигатель работает в режиме введения сопротивлений в роторной цепи, с помощью контактов ускорения. Защита двигателя обеспечивается, путем включения в статорную цепь реле максимального тока.

**Работа схемы по позиции командоконтроллера**

На нулевой позиции контроллера обеспечивается запитка линейного контактора КМ1.

**Спуск**

**1-я позиция**

Замыкается контакт К3 командоконтроллера SA3, тем самым запитывается контактор КМ3. Через реле максимального тока питания, через силовые контакты, подается на статорную обмотку двигателя, где получает питание электрогидротолкатель YB4, который разаводит тормозные колодки. Двигатель начинает вращаться, причем на первой позиции в цепь ротора включено все сопротивление.

**2-я позиция**

Замыкается контакт К10 командоконтроллера и часть сопротивления в цепи ротора выбрасывается, тем самым скорость двигателя становится больше.

**3-я позиция**

Замыкается контакт К12, выбрасывается следующая часть сопротивления, скорость двигателя возрастает.

**4-я позиция**

Замыкается контакт К11, выбрасывая следующую часть сопротивления, тем самым способствует увеличению скорости двигателя.

**5-я позиция**

Замыкаются оба контакта К9 и К7, тем самым выбрасывается все сопротивление и обмотка ротора замыкается накоротко.

**Подъем**

**1-я позиция**

Замыкается контакт К5 командоконтроллера SA3, тем самым запитывается контактор КМ3. Через реле максимального тока питания, через силовые контакты, подается на статорную обмотку двигателя, где получает питание электрогидротолкатель YB4, который разаводит тормозные колодки. Двигатель начинает вращаться, причем на первой позиции в цепь ротора включено все сопротивление.

**2-я позиция**

Замыкается контакт К10 командоконтроллера и часть сопротивления в цепи ротора выбрасывается, тем самым скорость двигателя становится больше.

**3-я позиция**

Замыкается контакт К12, выбрасывается следующая часть сопротивления, скорость двигателя возрастает.

**4-я позиция**

Замыкается контакт К11, выбрасывая следующую часть сопротивления, тем самым способствует увеличению скорости двигателя.

**5-я позиция**

Замыкаются оба контакта К9 и К7, тем самым выбрасывается все сопротивление и обмотка ротора замыкается накоротко.

**Описание работы схемы элетропривода механизма передвижения тележки для асинхронного двигателя с фазным ротором**

Для переключения аппаратов панели в определенной последовательности предназначен командоконтроллер SA2. При постановке рукоятки командоконтроллера в сторону подъема на первой позиции двигатель работает в режиме введения сопротивлений в роторной цепи, с помощью контактов ускорения. Защита двигателя обеспечивается, путем включения в статорную цепь реле максимального тока.

**Работа схемы по позиции командоконтроллера**

На нулевой позиции контроллера обеспечивается запитка линейного контактора КМ1.

**Влево**

**1-я позиция**

Замыкается контакт К3 командоконтроллера SA2. Через реле максимального тока питания, через силовые контакты, подается на статорную обмотку двигателя, где получает питание электрогидротолкатель YB3, который разаводит тормозные колодки. Двигатель начинает вращаться, причем на первой позиции в цепь ротора включено все сопротивление.

**2-я позиция**

Замыкается контакт К10 командоконтроллера и часть сопротивления в цепи ротора выбрасывается, тем самым скорость двигателя становится больше.

**3-я позиция**

Замыкается контакт К12, выбрасывается следующая часть сопротивления, скорость двигателя возрастает.

**4-я позиция**

Замыкается контакт К11, выбрасывая следующую часть сопротивления, тем самым способствует увеличению скорости двигателя.

**5-я позиция**

Замыкаются оба контакта К9 и К7, тем самым выбрасывается все сопротивление и обмотка ротора замыкается накоротко.

**Вправо**

**1-я позиция**

Замыкается контакт К5 командоконтроллера SA2. Через реле максимального тока питания, через силовые контакты, подается на статорную обмотку двигателя, где получает питание электрогидротолкатель YB3, который разаводит тормозные колодки. Двигатель начинает вращаться, причем на первой позиции в цепь ротора включено все сопротивление.

**2-я позиция**

Замыкается контакт К10 командоконтроллера и часть сопротивления в цепи ротора выбрасывается, тем самым скорость двигателя становится больше.

**3-я позиция**

Замыкается контакт К12, выбрасывается следующая часть сопротивления, скорость двигателя возрастает.

**4-я позиция**

Замыкается контакт К11, выбрасывая следующую часть сопротивления, тем самым способствует увеличению скорости двигателя.

**5-я позиция**

Замыкаются оба контакта К9 и К7, тем самым выбрасывается все сопротивление и обмотка ротора замыкается накоротко.

**Описание работы схемы элетропривода механизма передвижения моста для асинхронного двигателя с фазным ротором**

Для переключения аппаратов панели в определенной последовательности предназначен командоконтроллер SA1. При постановке рукоятки командоконтроллера в сторону подъема на первой позиции двигатель работает в режиме введения сопротивлений в роторной цепи, с помощью контактов ускорения. Защита двигателя обеспечивается, путем включения в статорную цепь реле максимального тока.

**Работа схемы по позиции командоконтроллера**

На нулевой позиции контроллера обеспечивается запитка линейного контактора КМ1.

**Вперед**

**1-я позиция**

Замыкается контакт К7 командоконтроллера SA1, тем самым запитывается контактор КМ2. Через реле максимального тока питания, через силовые контакты, подается на статорную обмотку двигателя, где получает питание электрогидротолкатель YB1 и YB2, которые разаводят тормозные колодки. Двигатели начинают вращаться, причем на первой позиции в цепь ротора включено все сопротивление.

**2-я позиция**

Замыкаются контакты К2 и К8 командоконтроллера и часть сопротивления в цепи ротора выбрасывается, тем самым скорость двигателя становится больше.

**3-я позиция**

Замыкаются контакты К4 и К10, выбрасывается следующая часть сопротивления, скорость двигателя возрастает.

**4-я позиция**

Замыкаются контакты К6 и К12, выбрасывая следующую часть сопротивления, тем самым способствует увеличению скорости двигателя.

**5-я позиция**

Замыкаются контакты К9 и К3, тем самым выбрасывается все сопротивление и обмотка ротора замыкается накоротко.

**Назад**

**1-я позиция**

Замыкается контакт К5 командоконтроллера SA1, тем самым запитывается контактор КМ2. Через реле максимального тока питания, через силовые контакты, подается на статорную обмотку двигателя, где получает питание электрогидротолкатель YB1 и YB2, которые разаводят тормозные колодки. Двигатели начинают вращаться, причем на первой позиции в цепь ротора включено все сопротивление.

**2-я позиция**

Замыкаются контакты К2 и К8 командоконтроллера и часть сопротивления в цепи ротора выбрасывается, тем самым скорость двигателя становится больше.

**3-я позиция**

Замыкаются контакты К4 и К10, выбрасывается следующая часть сопротивления, скорость двигателя возрастает.

**4-я позиция**

Замыкаются контакты К6 и К12, выбрасывая следующую часть сопротивления, тем самым способствует увеличению скорости двигателя.

**5-я позиция**

Замыкаются контакты К9 и К3, тем самым выбрасывается все сопротивление и обмотка ротора замыкается накоротко.