



**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

**Белорусский национальный
технический университет**

**Кафедра «Электропривод и автоматизация
промышленных установок и технологических комплексов»**

С. В. Константинова

ЭЛЕКТРОПРИВОД ГОРНЫХ МАШИН

Учебно-методическое пособие

Часть 1

**Минск
БНТУ
2013**

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Белорусский национальный технический университет

Кафедра «Электропривод и автоматизация
промышленных установок и технологических комплексов»

С. В. Константинова

ЭЛЕКТРОПРИВОД ГОРНЫХ МАШИН

*Учебно-методическое пособие
для студентов дневного и заочного отделений
специальности 1-36 10 01 «Горные машины и оборудование»*

В 4 частях

Часть 1

*Рекомендовано учебно-методическим объединением
высших учебных заведений Республики Беларусь по образованию
в области горнодобывающей промышленности*

Минск
БНТУ
2013

УДК 622.232.8-83(075.8)

ББК 31.291я7

К65

Рецензенты:

В. П. Беляев, В. Н. Радкевич

Константинова, С. В.

К65 Электропривод горных машин : учебно-методическое пособие для студентов дневного и заочного отделений специальности 1-36 10 01 «Горные машины и оборудование» : в 4 ч. / С. В. Константинова. – Минск : БНТУ, 2013– . – Ч. 1. – 2013. – 66 с.
ISBN 978-985-550-206-8 (Ч. 1).

В учебно-методическом пособии рассматриваются следующие вопросы: понятие электропривода, механика электропривода, особенности эксплуатации электроприводов горных машин (для подземных и открытых разработок); электрооборудование горных машин; конструкции, принцип действия, механические и регулировочные характеристики, тормозные режимы работы электрических двигателей, некоторые вопросы систем управления электроприводами.

В части I рассмотрены конструкции, принцип действия, механические и регулировочные характеристики, тормозные режимы работы асинхронных двигателей, а также приведены примеры асинхронных двигателей, применяемых в электроприводах горных машин.

Издание предназначено в первую очередь для студентов дневного и заочного отделений факультета горного дела и экологии, обучающихся по специальности «Горные машины и оборудование».

УДК 622.232.8-83(075.8)

ББК 31.291я7

ISBN 978-985-550-206-8 (Ч. 1)

ISBN 978-985-550-207-5

© Константинова С. В., 2013

© Белорусский национальный
технический университет, 2013

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1. ЭЛЕКТРОПРИВОД	5
1.1. Составные части электропривода	5
1.2. Механика ЭП	8
1.3. Основное уравнение движения ЭП	9
1.4. Приведение статических моментов и усилий к валу электродвигателя	14
1.5. Расчет момента инерции привода J	16
2. ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ ГОРНЫХ МАШИН	18
3. ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ ГОРНЫХ МАШИН	21
3.1. Требования к электрооборудованию горных предприятий ...	22
3.2. Асинхронные машины	30
3.2.1. Принцип работы и устройство асинхронных машин	30
3.2.2. Схемы замещения АМ	31
3.2.3. Механическая характеристика АМ	34
3.2.4. Способы регулирования частоты вращения АМ	38
3.2.5. Способы пуска асинхронных двигателей	44
3.2.6. Тормозные режимы АМ	46
3.2.7. Асинхронные машины, применяемые для электроприводов горных машин	49
ЛИТЕРАТУРА	65

ВВЕДЕНИЕ

Современные горные предприятия представляют собой предприятия с высоким уровнем механизации, на которых сосредоточено большое количество машин различного функционального назначения, основные группы которых составляют горные и транспортные машины и комплексы. Способы разработки месторождений полезных ископаемых неразрывно связаны с уровнем развития, как технологии добычи, так и используемой техники.

К горным машинам (ГМ) относят машины, производящие разрушение полезных ископаемых и пород, их погрузку на транспортные средства, выдачу полезного ископаемого или породы за пределы очистного или проходческого забоя, а также машины, осуществляющие крепление в подземных условиях очистных и проходческих выработок.

Различают выемочные ГМ (очистные и проходческие), погрузочные машины, крепи (механизированные и индивидуальные), бурильные машины. К выемочным относятся очистные и проходческие комбайны, угольные струги, одно- и многоковшовые экскаваторы, земснаряды, драги. На открытых горных работах используются комплексы машин непрерывного действия, имеющие в своем составе мощные многоковшовые (роторные) экскаваторы и ленточные магистральные конвейеры; конвейерный транспорт: скребковые, ленточные, ленточно-цепные и пластинчатые конвейеры; рельсовый транспорт: локомотивы, вагоны, большегрузные вагоны, самоходные вагонетки. При подземной добыче руд получает массовое использование самоходное горное оборудование (бурильные машины, погрузочно-транспортные машины, самоходные вагонетки).

В настоящее время автоматизация работы установок и механизмов становится возможной благодаря использованию автоматизированного электропривода (АЭП). Все большее количество современных ГМ имеют электроприводы и повышение производительности, надежности работы горной техники неразрывно связано с ее автоматизацией.

1. ЭЛЕКТРОПРИВОД

1.1. Составные части электропривода

Рациональное проектирование современного автоматизированного электропривода (АЭП) требует глубокого знакомства с условиями работы производственного механизма. Оно может вестись лишь на основе тщательно разработанного технического задания, в котором должны быть учтены все особенности производственного процесса и условия работы исполнительного механизма. Электропривод (ЭП) является одним из основных элементов любой электромеханической системы. От его свойств и характеристик в значительной мере зависит производительность рабочей машины и качество выпускаемой ею продукции. Поэтому проектирование ЭП должно вестись взаимосвязано с проектированием рабочей машины.

В простейшем случае ЭП представляет собой электродвигатель (ЭД), питаемый от сети и приводящий в движение какой-либо механизм. При этом система управления может сводиться к обычному пакетному выключателю, включающему ЭД в сеть.

Электропривод это электромеханическая система, состоящая их электродвигательного, преобразовательного, передаточного и управляющего устройств, предназначенных для приведения в движение исполнительных органов рабочей машины и управления этим движением.

На рис. 1.1 изображена структурная схема автоматизированного электропривода (АЭП), где:

П – преобразователь электроэнергии – устройство, преобразующее электроэнергию сети (сеть постоянного тока характеризуется величинами напряжения U_c и тока I_c ; электрическая сеть переменного тока характеризуется величиной напряжения U_c , частотой f_c , количеством фаз m) в электроэнергию с другими параметрами – $U_{п}$, $I_{п}$, или $U_{п}$, $f_{п}$, $m_{п}$. П предназначен для питания ЭД и создания управляющего воздействия на него;

ЭД – электродвигатель (электромеханический преобразователь – преобразует электрическую энергию в механическую с параметрами M (вращающий момент), ω (угловая скорость);

ПУ – передаточное устройство (кинематическая цепь). ПУ – осуществляет преобразование движения в механической части ЭП.

При помощи ПУ можно увеличить или снизить скорость вращения, изменить вид движения (преобразовать вращательное в поступательное). К ПУ относятся редукторы, винтовые, зубчатые, реечные, ременные передачи, кривошипно-шатунные механизмы и т.д.

ПУ характеризуется коэффициентом передачи, механической инерционностью и упругостью его элементов.

УУ – устройство управления – управляет преобразователем и получает командные сигналы от задающего устройства (ЗУ), а информацию о текущем состоянии ЭП и технологического процесса – от датчиков обратной связи (ОС). УУ сравнивает показания датчиков с опорными величинами и, при наличии рассогласования, вырабатывает управляющий сигнал, воздействующий через П на ЭД в направлении устранения возникшего рассогласования с требуемой точностью и быстродействием.

РО – рабочий орган исполнительного механизма, при вращательном движении характеризуется моментом инерции J_{po} , угловой скоростью ω_{po} и моментом M_{po} ; при поступательном движении – массой m_{po} , линейной скоростью v_{po} и силой F_{po} .

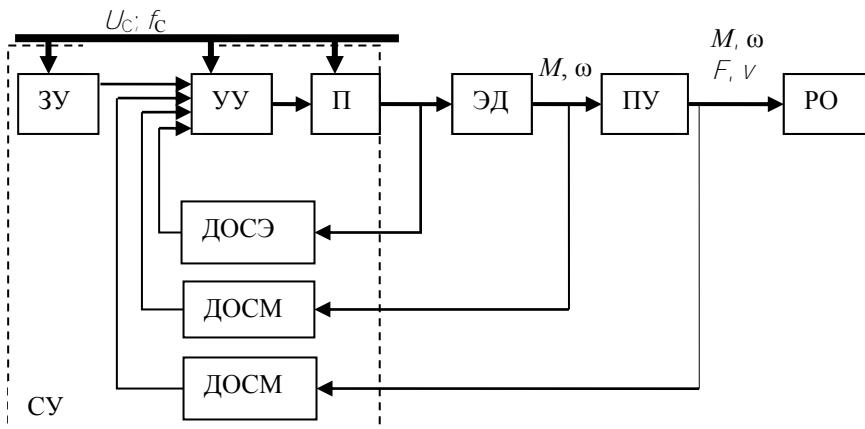


Рис. 1.1. Структурная схема автоматизированного электропривода

Жирными линиями обозначен силовой поток мощности, тонкими – слаботочные линии или провода управления.

Верхний ряд прямоугольников (рис. 1.1) отражает структуру так называемой разомкнутой системы АЭП, которая характеризуется тем, что выходные параметры системы M_{po} , ω_{po} , (F_{po}, v_{po}) не связаны электрически с входом этой системы (система не имеет обратных связей).

ОС – обратная связь – канал воздействия выходных или промежуточных параметров системы на ее управляющий вход. Для организации ОС необходимы датчики (ДОСЭ – датчики обратной связи электрические, ДОСМ – датчики обратной связи механические). С помощью этих датчиков ток, напряжение, скорость, момент или усилие, положение (перемещение) исполнительного органа рабочей машины, преобразуются в пропорциональные этим параметрам электрические сигналы.

В структурной схеме АЭП можно выделить три части:

- 1) электрический двигатель;
- 2) механическая часть – для передачи механической энергии от ЭД к исполнительному органу и для изменения вида, скорости движения;

- 3) система управления (СУ).

Электроприводы различают:

- по виду движения: вращательного и поступательного, однонаправленного и реверсивного, возвратно-поступательного; эти движения могут иметь как непрерывный, так и дискретный характер;

- по принципам регулирования скорости и положения: нерегулируемый; регулируемый; следящий (с помощью ЭП воспроизводится перемещение РО); программно-управляемый (ЭП обеспечивает перемещение РО в соответствии с заданной программой); адаптивный (ЭП автоматически обеспечивает наиболее выгодный режим движения РО); позиционный (ЭП обеспечивает регулирование положения РО);

- по способу передачи механической энергии: **индивидуальный** – когда каждый РО рабочей машины приводится в движение своим отдельным ЭД (является основным ЭП, так как при этом упрощается кинематическая передача от ЭД к РО, упрощается автоматизация технологического процесса, улучшаются условия обслуживания рабочей машины); **взаимосвязанный ЭП** – содержит два или несколько электрически или механически связанных между собой ЭП, например, **многодвигательный ЭП**, при котором не-

сколько ЭД работают на общий вал, приводя в движение один РО, или РО одной машины приводится в движение несколькими ЭД, т.е. по разным координатам движение обеспечивается одиночными ЭД; **групповой ЭП** – от одного ЭД приводится в движение несколько РО одной или нескольких рабочих машин, имеет разветвленную кинематическую цепь (трансмиссию).

1.2. Механика ЭП

Механическая часть ЭП может представлять собой сложную кинематическую цепь с большим числом движущихся элементов. Она передает механическую энергию с помощью ПУ от вала ЭД к рабочему органу производственной машины, где эта энергия реализуется в полезную работу. Конструктивное выполнение механической части может быть различным, но имеет определенные звенья:

– ЭД как звено механической части – источник или потребитель механической энергии. В механическую часть привода входит лишь вращающаяся часть ЭД – его ротор, который обладает определенным моментом инерции и может вращаться с некоторой угловой скоростью Ω и развивать движущий или тормозящий момент M ;

– элементы ПУ вращаются или движутся поступательно с разной скоростью, имеют определенный момент инерции (массу), соединения между ними в общем случае содержат зазоры. Наличие этих свойств элементов ПУ вносит определенные искажения в процесс передачи движения и требует соответствующего учета. Анализ механического движения осуществляется с помощью расчетных схем ЭП.

Для облегчения расчетов переходят к расчетной схеме, т.е. обычно приводят все инерционные массы механических звеньев, все внешние моменты и силы к валу ЭД. Движущие моменты, инерционные массы, моменты сопротивления должны быть пересчитаны так, чтобы сохранились кинематические и динамические свойства исходной системы. Расчетную схему можно свести к одному обобщенному жесткому звену, имеющему эквивалентную массу с моментом инерции \mathcal{J} , на которую воздействует электромагнитный момент двигателя M и суммарный, приведенный к валу двигателя, момент сопротивления (статический момент M_c), включающий все механические потери в системе, в том числе механиче-

ские потери в двигателе. Считаем, что система абсолютно жесткая (рис. 1.2).

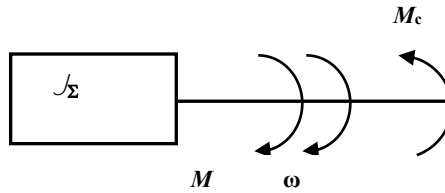


Рис. 1.2. Расчетная схема ЭП

В соответствии с основным законом динамики для вращающегося тела векторная сумма моментов, действующих относительно оси вращения, равна производной момента количества движения. Движение материального тела определяется вторым законом Ньютона:

$$\Sigma \vec{F} = m \frac{d\vec{v}}{dt}; \quad \Sigma_{i=1}^n \vec{M}_i = J \frac{d\vec{\omega}}{dt}$$

– для поступательного и вращательного

движения соответственно, где ΣM_i , ΣF – векторные суммы моментов и сил, действующих на тело, $\frac{d\vec{\omega}}{dt} = \vec{\epsilon}$, $\frac{d\vec{v}}{dt} = \vec{a}$ – угловое ускорение и ускорение поступательно движущегося тела соответственно, ω , V – угловая и линейная скорости тел, движущихся вращательно и поступательно.

Момент сопротивления M_c , возникающий на валу рабочей машины, состоит из двух слагаемых: полезной работы РО (связана с выполнением соответствующей технологической операции) и работы сил трения.

1.3. Основное уравнение движения ЭП

Для приведения к валу ЭД момента или усилия нагрузки РО производственной машины используют баланс мощностей в механической части ЭП.

Баланс мощностей для ЭП можно записать в виде формулы 1.1.

$$P = P_C + P_D, \quad (1.1)$$

где P – мощность, развиваемая ЭД (Вт);

P_C – мощность статической нагрузки, в т.ч. и мощность, затрачиваемая на преодоление сил трения;

P_D – мощность, обусловленная изменением кинетической энергии системы.

Выражения определения мощностей для вращательного движения имеют вид:

$$P = M\omega;$$

$$P_C = M_C\omega;$$

$$P_D = \frac{dA_k}{dt} = M_D\omega,$$

где M – вращающий момент ЭД;

ω – угловая скорость вала ЭД, рад/с;

M_C – момент статической нагрузки, приведенный к валу ЭД;

P_D, M_D – динамическая мощность и динамический момент, учи-

тывающие изменение кинетической энергии $A_k = \frac{J_\Sigma \omega^2}{2}$;

$\frac{dA_k}{dt}$ – скорость нарастания кинетической энергии системы.

Исходя из вышеизложенного, можно записать следующее уравнение для определения динамической мощности:

$$P_D = \frac{dA_k}{dt} = J_\Sigma \omega \frac{d\omega}{dt} + \frac{\omega^2}{2} \left(\frac{dJ_\Sigma}{dt} \right); \quad (1.2)$$

$$P_D = J_\Sigma \omega \frac{d\omega}{dt} + \frac{\omega^2}{2} \frac{dJ_\Sigma}{d\alpha} \cdot \frac{d\alpha}{dt},$$

где $d\alpha$ – угол поворота вала ЭД за время dt , $\omega = \frac{d\alpha}{dt}$;

J_{Σ} – суммарный момент инерции системы, приведенный к валу ЭД.
Динамический момент можно выразить следующим образом:

$$M_{\text{Д}} = \frac{P_{\text{Д}}}{\omega} = J_{\Sigma} \frac{d\omega}{dt} + \frac{\omega^2}{2} \frac{dJ_{\Sigma}}{d\alpha}. \quad (1.3)$$

Тогда в соответствии с (1.1) можно записать:

$$M = M_{\text{С}} + M_{\text{Д}}.$$

Уравнение движения ЭП, в общем виде, имеет вид:

$$M = M_{\text{С}} + J_{\Sigma} \frac{d\omega}{dt} + \frac{\omega^2}{2} \frac{dJ_{\Sigma}}{d\alpha}, \quad (1.4)$$

где M и ω – текущие значения момента и угловой скорости ЭД. Зависимость момента M от угловой скорости ω называется механической характеристикой.

Вместо момента инерции часто вводится понятие махового момента (GD^2):

$$GD^2 = 4gJ, \quad J = \frac{GD^2}{4g},$$

где G – вес системы (сила тяжести), Н;

D – диаметр инерции, м;

g – ускорение свободного падения, $g = 9,81$ м/с².

В этом случае уравнение движения ЭП принимает следующий вид:

$$M = M_{\text{С}} + \frac{GD^2}{375dt} \frac{dn}{dt} + \frac{n^2}{7200} \frac{dGD^2}{d\alpha}, \quad (1.5)$$

где n – частота вращения вала ЭД (об./мин). Следует отметить, что n связана с угловой скоростью ω (рад/с) соотношением $\omega = \frac{2\pi n}{60}$.

В ряде случаев M_C определяется угловой скоростью производственного механизма (вентилятора, насоса, компрессора). Момент инерции привода J_Σ для большинства машин (кривошипных) является периодической функцией, явно зависящей от угла α или времени t . Если момент инерции J_Σ не зависит от угла α , уравнение движения приобретает вид:

$$M - M_C = J_\Sigma \frac{d\omega}{dt}. \quad (1.6)$$

Для поступательного движения выражения определения мощностей имеют вид:

$$P = Fv;$$

$$P_C = F_C v;$$

$$P_D = \frac{dA_k}{dt},$$

где F – движущая сила, Н;

v – линейная скорость перемещения точки приложения этой силы, м/с;

F_C – сила сопротивления;

$A_k = \frac{m_\Sigma v^2}{2}$ – кинетическая энергия;

m_Σ – масса системы, приведенная к скорости точки приложения силы. Тогда уравнение движения ЭП будет иметь вид:

$$F = F_C + m_\Sigma \frac{dv}{dt} + \frac{v^2}{2} \frac{dm_\Sigma}{dL}, \quad (1.7)$$

где L – путь, пройденный точкой приложения силы.

Если масса системы остается неизменной $m_{\Sigma} = const$, то уравнение движения ЭП для поступательного движения запишется в виде:

$$F = F_C + m_{\Sigma} \frac{dv}{dt}. \quad (1.8)$$

Статические моменты (моменты сопротивления) делятся:

– на активные – обусловленные потенциальными силами и не меняющие своего направления при изменении направления движения (при подъеме и опускании груза), они могут быть движущими, и могут препятствовать движению;

– реактивные – всегда направленные против движения (моменты, обусловленные силами трения).

При установившемся режиме работы скорость привода постоянна ($M = M_C$). Переходный режим работа ЭП – это режим работы при переходе от одного установившегося состояния к другому. Причинами возникновения переходных режимов в ЭП являются изменение нагрузки, связанное с производственным процессом, либо воздействие на ЭП при управлении им, т.е. пуск, торможение, изменение направления движения, а также нарушения нормальных условий электроснабжения (изменение напряжения, частоты сети).

Уравнение движения ЭП должно учитывать все силы и моменты, действующие в переходных режимах. С учетом вышесказанного, уравнение движения электропривода представим в виде:

$$\pm M \mp M_C = J_{\Sigma} \frac{d\omega}{dt}. \quad (1.9)$$

Уравнение движения ЭП (1.9) показывает, что развиваемый двигателем вращающий момент M уравновешивается моментом сопротивления M_C на его валу и динамическим (инерционным) моментом

$M_D = J_{\Sigma} \frac{d\omega}{dt}$. Знаки «+» и «-» говорят о двигательном и тормозном режимах работы.

1.4. Приведение статических моментов и усилий к валу электродвигателя

Обычно ЭД приводит в действие производственный механизм через систему передач. При расчетах все моменты и усилия необходимо привести к одному валу (чаще к валу ЭД), учитывая при этом потери на трение и КПД (η) передач. В качестве примера рассмотрим кинематическую схему (рис. 1.3).

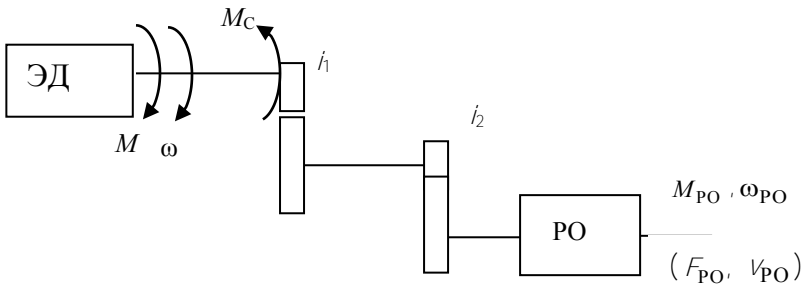
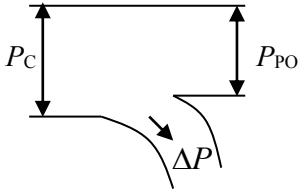
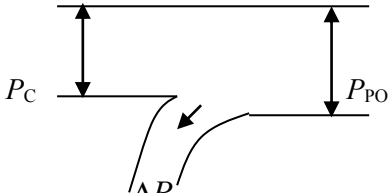


Рис. 1.3. Кинематическая схема механизма

Мощность РО исполнительного механизма P_{PO} , в соответствии с вышеизложенным, определяется по формулам: $P_{PO} = M_{PO} \cdot \omega_{PO}$ (M_{PO} – вращающий момент на РО) или $P_{PO} = F_{PO} v_{PO}$ (F_{PO} – сила, действующая на РО при поступательном движении), $i_{PO} = \frac{\omega}{\omega_{PO}} = i_1 i_2$ – передаточное отношение ($i_1 = \frac{\omega}{\omega_1}$, $i_2 = \frac{\omega_1}{\omega_{PO}}$ – передаточные отношения редукторов).

Выражения приведения статических моментов и усилий к валу ЭД в зависимости от режима работы ЭП, с учетом КПД, сведены в табл. 1.1.

Таблица 1.1

1. Двигательный режим (подъем груза)	2. Тормозной режим (спуск груза)
	
$P_C = P_{PO} + \Delta P; P_C = \frac{P_{PO}}{\eta}$	$P_C = P_{PO} - \Delta P, P_C = P_{PO}\eta$
<p>для вращательного движения:</p> $M_C \omega = \frac{M_{PO} \omega_{PO}}{\eta},$	<p>для вращательного движения:</p> $M_C \omega = M_{PO} \omega_{PO} \eta,$
<p>тогда $M_C = \frac{M_{PO}}{\eta} \frac{\omega_{PO}}{\omega} = \frac{M_{PO}}{\eta} \frac{1}{i_p};$</p>	<p>тогда $M_C = \frac{M_{PO} \eta}{i_p};$</p>
<p>для поступательного движения:</p> $M_C \omega = \frac{F_{PO} V_{PO}}{\eta},$	<p>для поступательного движения:</p> $M_C \omega = F_{PO} V_{PO} \eta,$
<p>тогда $M_C = \frac{F_{PO} \rho}{\eta}$</p>	<p>тогда $M_C = \frac{F_{PO} V_{PO} \eta}{\omega};$ $M_C = F_{PO} \rho \eta$</p>

В табл. 1.1 приняты следующие обозначения:

ΔP – мощность потерь в механических звеньях;

ω – угловая скорость вала ЭД, $\omega = \frac{\pi n}{30};$

η – КПД механической части ЭП, $\eta = \eta_1 \eta_2;$

$\rho = \frac{V}{\omega}$ – радиус приведения усилия на грузки к валу ЭД.

Необходимо отметить, что i_{PO} и ρ определяются по конструктивным параметрам ПУ.

Общее выражение для приведения статических моментов к валу ЭД имеет вид:

$$M_C = M_P + \sum_{i=1}^n \frac{M_i}{l_i \eta_i} + \sum_{k=1}^l \frac{F_k V_k}{\eta_k \omega}, \quad (1.9)$$

где M_P – статический момент сопротивления на роторе ЭД. Второе и третье слагаемые учитывают моменты всех частей движущихся вращательно и поступательно соответственно.

1.5. Расчет момента инерции привода J

Инерционное действие вращающихся частей механизма, находящихся на промежуточных валах, можно заменить действием воображаемого маховика, расположенного на валу ЭД и обладающего запасом кинетической энергии, равным запасу кинетической энергии действующих частей.

Приведение инерционных масс и моментов инерции механических звеньев к валу ЭД заключается в том, что эти массы и моменты инерции заменяются одним эквивалентным моментом инерции J_Σ на валу ЭД (т.е. расчет J_Σ производится исходя из условия равенства кинетических энергий, запасенных во всех движущихся элементах ЭП и кинетической энергии, которая должна быть запасена в эквивалентном маховике).

Рассчитаем суммарный момент инерции ЭП для примера на рисунке 1.3. Кинетическая энергия, запасенная искомым моментом инерции J_Σ определяется по формуле $J_\Sigma \frac{\omega^2}{2}$; кинетические энергии, записанные в движущихся элементах ЭП:

$$J_1 \frac{\omega_1^2}{2} = J'_1 \frac{\omega^2}{2}, \quad J_2 \frac{\omega_2^2}{2} = J'_2 \frac{\omega^2}{2},$$

где J'_1, J'_2 – моменты инерции, приведенные к валу ЭД. Тогда

$$J'_1 = J_1 \frac{\omega_1^2}{\omega^2} = J_1 \frac{1}{i_1^2}; \quad J'_2 = J_2 \frac{\omega_2^2}{\omega^2} = J_2 \frac{1}{i_2^2}.$$

При наличии поступательного движения элементов, деталь механизма с массой m , движущуюся поступательно со скоростью V , заменяем воображаемой деталью с моментом инерции J''_{Π} , расположенной валу ЭД:

$$J''_{\Pi} \frac{\omega^2}{2} = m \frac{V^2}{2} \Rightarrow J''_{\Pi} = m \frac{V^2}{\omega^2}.$$

Запас кинетической энергии ЭП остается неизменным, на основании чего можно записать:

$$J_{\Sigma} \frac{\omega^2}{2} = J_{\text{Д}} \frac{\omega^2}{2} + \sum_{i=1}^n J_i \frac{\omega_i^2}{2} + \sum_{k=1}^l m_k \frac{V_k^2}{2}, \quad (1.10)$$

где $J_{\text{Д}}$ – момент инерции двигателя, определяемый из каталога.

Уравнение для расчета суммарного момента инерции ЭП получим, разделив выражение (1.10) на $\omega^2/2$:

$$J_{\Sigma} = J_{\text{Д}} + \sum_{i=1}^n J_i \frac{1}{i_i} + \sum_{k=1}^l m_k \left(\frac{V_k}{\omega} \right)^2, \quad (1.11)$$

где второе и третье слагаемые уравнения являются суммарными моментами инерции всех вращательно и поступательно движущихся элементов ЭП соответственно.

2. ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ ГОРНЫХ МАШИН

Выемочные и транспортные ГМ, применяемые в подземных и на открытых горных работах, эксплуатируются в сложных условиях. Поэтому необходимо учитывать эти условия для рационального использования и бесперебойной работы ЭП. Специфическими условиями, в которых работают ЭП ГМ в **подземных** выработках, характеризуется следующими факторами:

- наличием (часто) взрывоопасной атмосферы (в виде метана в смеси с воздухом в угольных шахтах);
- наличием (часто) взрывоопасной атмосферы водорода и метана в смеси с воздухом в калийных шахтах;
- наличием угольной и других видов пыли во взвешенном состоянии;
- размещением электрооборудования в выработках, подверженных воздействию горного давления;
- ограниченным пространством, обусловленным размерами горных выработок;
- наличием влаги за счет подземных вод;
- недостаточностью освещения;
- перемещением машин и оборудования по неровной почве выработок вслед за продвижением горных работ;
- широким применением взрывных работ, вызывающих опасность повреждения машин;
- повышенной опасностью поражения электрическим током;
- разобщенностью горных работ, ведущихся на значительных территориях.

ЭП шахтных стационарных машин, расположенных в закрытых помещениях на поверхности, эксплуатируются в более благоприятных условиях, чем подземные.

Для **открытых** горных разработок специфическими являются следующие факторы:

- производство работ на открытом воздухе, что связано с неблагоприятными атмосферными явлениями (воздействиями);
- перемещение рабочих машин, механизмов, электрооборудования в процессе работы, связанные с подвиганием забоя по мере развития вскрышных и добычных работ;

- значительная территория и разобченность горных работ, что усложняет систему подвода и распределения электроэнергии;
- широкое применение взрывных работ;
- повышенная опасность поражения электрическим током;
- наличие тряски, вибрации, ускорений.

Характерным условием работы большинства ЭП ГМ (как в подземных выработках, так и открытых разработках) является изменение нагрузок в широких пределах, часто с пикообразным характером. Особенно большие динамические моменты в двигателях и передачах машин могут возникать при переходных электромагнитных процессах, возникающих при резком и частом изменении скорости или нагрузки:

- из-за различных физико-механических свойств пород и полезных ископаемых;
- неоднородности пород;
- наличия разнообразных включений;
- частых пусков ЭП;
- частых реверсов ЭП.

Перечисленные специфические условия работы ГМ и механизмов, предъявляют к их электроприводам ряд требований:

- взрывобезопасность исполнения электрооборудования, предназначенные для применения в подземных горных выработках;
- высокая механическая прочность и надежность конструкций ГМ и электрооборудования;
- безопасность обслуживания;
- защищенность электрооборудования от проникновения пыли и влаги;
- влагостойкость изоляционных материалов;
- антикоррозийность покрытий наиболее ответственных частей;
- минимальные габаритные размеры и масса электрооборудования;
- использование специальных устройств для подвода электроэнергии к подвижным частям ГМ;
- возможность быстрого и удобного перемещения электрооборудования в безопасное место перед началом взрывных работ;
- возможность монтажа и демонтажа электрооборудования в стесненных и полевых условиях.

Основными требованиями, предъявляемые к ЭП добычных, проходческих, транспортных и ряда стационарных ГМ, являются возможность регулирования угловой скорости ЭД и уменьшение пусковых токов. Основными требованиями к главным ЭП ГМ для открытых разработок являются:

- бесступенчатое регулирование скорости (в пределах технических условий);

- ограничение момента в «тяжелых» переходных процессах, когда статический и динамический моменты в сумме больше M_{max} допустимого;

- ограничение ускорения;

- ограничение рывка $\frac{dM}{dt}$ в переходных процессах;

- минимальное время переходных процессов для механизмов с интенсивным повторно-кратковременным режимом работы;

- сохранение работоспособности ЭП при глубоких просадках напряжения;

- обеспечение безаварийного останова ГМ при аварийных режимах (отключения питающей сети).

Задачами систем управления ЭП являются: осуществление пуска и торможения, регулирование скорости, реверс рабочей машины, поддержание режимов работы машины в соответствии с требованиями технологического процесса, управление положением рабочего органа машины. При этом должны быть обеспечены минимальные капитальные затраты, расход электроэнергии и максимальная производительность ГМ. Повышение производительности тесно связано с усовершенствованием автоматизированного электропривода ГМ. Автоматика также защищает рабочие машины от поломок, сокращая тем самым число ремонтов, уменьшая расход энергии и материалов, уменьшает себестоимость продукции.

3. ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ ГОРНЫХ МАШИН

Основное электрооборудование механизмов и машин горных предприятий приведено на рис. 3.1.

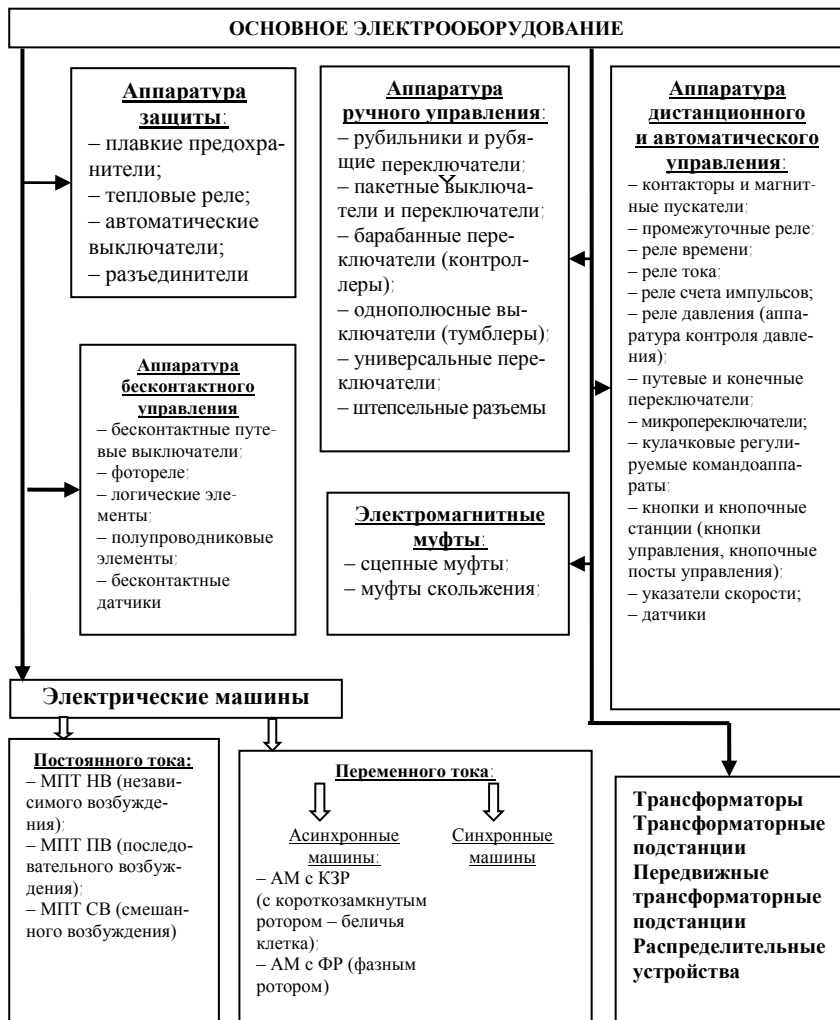


Рис. 3.1. Основное электрооборудование, используемое в горной технике

Применяемое электрооборудование должно обеспечивать: выполнение технологической операции; безопасность и удобство работы; требуемую производительность труда при высоком качестве продукции; высокую надежность в эксплуатации.

Электрооборудование устанавливается в соответствии с положениями по ТБ и ПУЭ. По условиям эксплуатации к электрооборудованию предъявляются определенные требования.

3.1. Требования к электрооборудованию горных предприятий

Согласно действующему нормативному документу ПУЭ в главе 7.3 выделяют следующие классы взрывоопасных зон:

- зоны класса В-1 – расположены в помещениях, в которых выделяются горючие газы или пары легковоспламеняющихся жидкостей (ЛВЖ) в таком количестве и с такими свойствами, что могут образовывать с воздухом взрывоопасные смеси при нормальных режимах работы;

- зоны класса В-1а – расположены в помещениях, в которых взрывоопасные смеси горючих газов (независимо от нижнего концентрационного предела воспламенения) или паров ЛВЖ с воздухом не образуются при нормальной эксплуатации, а только в результате аварий или неисправностей;

- зоны класса В-1б – аналогичны В-1а, но отличаются от них тем, что при авариях горючие газы обладают высоким нижним пределом воспламенения (15 % и выше), а также при опасных концентрациях резким запахом. В этот класс входят зоны лабораторных и других помещений, в которых горючие газы и ЛВЖ имеются в малых концентрациях, недостаточных для создания взрывоопасной смеси и где работа производится без применения открытого пламени. Зоны не относятся к взрывоопасным, если работы с опасными веществами производятся в вытяжных шкафах или под вытяжными зонтиками;

- зоны класса В-1г – пространства у наружных установок: технологических установок, содержащих горючие газы или ЛВЖ, открытых нефтеловушек, надземных и подземных резервуаров с ЛВЖ или горючими газами (газгольдеров), эстакад для слива и налива ЛВЖ;

- зоны класса В-2 – расположены в помещениях, где выделяются переходящие во взвешенное состояние горючие пыли или волокна в таком количестве и с такими свойствами, что могут создавать с вздухом взрывоопасные смеси при нормальных режимах работы;

- зоны класса В-2а – такие, где опасные условия при нормальной работе не возникают, но могут возникнуть в результате аварий или неисправностей.

Оборудование, предназначенное для работы в пределах зоны того или иного класса, должно иметь соответствующий уровень взрывозащищенности.

Защита оборудования. По области применения оборудование делится на следующие группы:

- I – оборудование, предназначенное для применения в подземных выработках шахт, рудников, опасных в отношении рудничного газа и (или) горючей пыли, а также в тех частях их наземных строений, в которых существует опасность присутствия рудничного газа и (или) горючей пыли;

- II – оборудование, предназначенное для применения во взрывоопасных зонах помещений и наружных установок;

- III – оборудование, предназначенное для применения во взрывоопасных пылевых средах.

По опасности стать источником воспламенения и условий его применения во взрывоопасных средах оборудование классифицируется по уровням взрывозащиты:

- особо взрывобезопасный (очень высокий) – оборудование, которое обеспечивает необходимый уровень взрывозащиты даже при маловероятных отказах. Остается функционирующим при наличии взрывоопасной среды. При отказе одного средства защиты взрывозащита обеспечивается вторым независимым средством защиты или необходимый уровень взрывозащиты обеспечивается при двух независимых отказах средств защиты;

- взрывобезопасный (высокий) – оборудование обеспечивающее необходимый уровень взрывозащиты и функционирование в нормальном режиме работы при одном повреждении;

- повышенная надежность против взрыва (повышенный) – оборудование, обеспечивающее функционирование только в нормальном режиме работы.

Уровни взрывозащищенности электрооборудования имеют в классификации обозначения 2, 1 и 0:

- уровень 2 – электрооборудование повышенной надежности против взрыва: в нем взрывозащита обеспечивается только в нормальном режиме работы;

- уровень 1 – взрывобезопасное электрооборудование: взрывозащищенность обеспечивается как при нормальных режимах работы, так и при вероятных повреждениях, зависящих от условий эксплуатации, кроме повреждений средств, обеспечивающих взрывозащищенность;

- уровень 0 – особо взрывобезопасное оборудование, в котором применены специальные меры и средства защиты от взрыва.

Методы обеспечения взрывобезопасности оборудования. Все известные и применяемые на практике методы защиты направлены на уменьшение риска взрыва до приемлемого уровня. При этом если система сконструирована правильно, то единичная неисправность в любом ее компоненте не должна приводить к возникновению взрыва. В общем случае все методы обеспечения взрывозащиты можно условно разделить на группы:

а) методы взрывозащиты, направленные на снижение вероятности возникновения электрической искры:

б) методы взрывозащиты, направленные на изоляцию электрических цепей от взрывоопасных смесей. Метод подразумевает заключение электрических цепей в специальные оболочки, заполненные газообразным, жидкостным или твердым диэлектриком так, чтобы взрывоопасная смесь не находилась в контакте с электрическими цепями;

в) методы взрывозащиты, направленные на сдерживание взрыва. Данный метод подразумевает, что электрические цепи помещены в специальную прочную оболочку с малым зазором. При этом не исключается контакт электрических цепей с взрывоопасной смесью и возможность ее воспламенения, но при этом гарантируется, что оболочка сдерживает возникшее в результате взрыва избыточное давление, т.е. вспышка не выходит за пределы ограничений взрывонепроницаемой оболочки. Поскольку раскаленные газы имеют различную проникающую способность, то здесь принимаются во внимание подгруппы газов. По данному методу реализована взрывозащита вида d (взрывозащитная оболочка).

В существующей классификации **категории взрывоопасности смеси** ССEx в ГОСТ предусмотрены две категории: I и II. Категория I определяет требования к оборудованию, предназначенному для работы в шахтах и рудниках, где имеется опасность взрыва рудничного метана. К категории II относится оборудование, применяемое для работы в условиях возможного образования промышленных взрывоопасных смесей газов и пыли. Существуют три подкатегории категории II: IIA, IIB, IIC. Каждая последующая подкатегория включает (может заменить) предшествующую, то есть, подкатегория C является высшей и соответствует требованиям всех категорий – A, B и C. Она, таким образом, является самой «строгой».

В системе NEC и CEC предусмотрена более расширенная классификация взрывоопасных смесей газов и пыли для обеспечения большей безопасности по классам и подгруппам (табл. 3.1). Так, например, для угольных шахт электрооборудование изготавливается с двойной маркировкой: Class I Group D (для метана); Class II Group F (для угольной пыли).

Таблица 3.1

Характеристики взрывоопасных смесей

ВЗРЫВООПАСНЫЕ СМЕСИ	КЛАССИФИКАЦИЯ АППАРАТУРЫ	
	ATEX, ГОСТ	NEC, CEC
Метан	Группа I (шахты)	Class I Group D
Ацетилен	Группа IIC	Class I Group A
Водород	Группа IIC	Class I Group B
Этилен	Группа IIB	Class I Group C
Пропан	Группа IIA	Class I Group D
Металлическая пыль	Группа II	Class I, Group E
Угольная пыль	–	Class II Group F


В соответствии с директивой Евросоюза 94/9/ЕС с 1 июля 2003 года введен новый стандарт **взрывозащищенного оборудования** ATEX (ATmospheres Explosibles – взрывоопасные смеси газов), вместо CENELEC. Требования ATEX распространяются на механическое, электрическое оборудование и защитные средства, которые предполагается использовать в потенциально взрывоопасной атмосфере, как под землей, так и на поверхности земли. В стан-

дарте АТЕХ ужесточены требования стандартов EN50020/EN50014 в части IS (Intrinsically Safe) оборудования.

Классификационную маркировку взрывозащищенного оборудования по АТЕХ рассмотрим на примере, приведенном в табл. 3.2.

Таблица 3.2

Маркировка взрывозащищенного оборудования

Область применения оборудования				Маркировка взрывобезопасности оборудования			
1	2	3	4	5	6	7	8
	II	1	G	EEx	ia	IIB	T3

В таблице 3.2 выделены 8 столбцов, в соответствии с маркировкой, каждый столбец обозначает следующее.

1. Взрывозащищенное оборудование имеет сертификаты одной из испытательных лабораторий стран ЕС. Ex в шестиграннике – маркировка взрывозащищенного оборудования по АТЕХ.

2. Область применения:

I – подземные выработки (шахтное);

II – наземное применение (хим. индустрия, НХЗ, НПЗ и т.п.).

3. Категория зоны:

0 – постоянное присутствие взрывоопасных веществ (более 1000 ч в год). Используется при частом возникновении взрывоопасных или воспламеняющихся концентраций опасных газов или смесей (газов, взвесей);

1 – частое: 10–1000 ч в год. Используется при возникновении взрывоопасных или воспламеняющихся концентраций опасных газов или смесей (газов, взвесей) лишь время от времени (при аварийных ситуациях);

2 – краткосрочные: менее 10 ч в год. Используется при редких случаях возникновения аварийных ситуаций.

4. Окружающая атмосфера:

G – газ;

D – пыль (для горючих пылей, волокон и взвесей).

5. E – согласно евронормам (требования CENELEC);

Ex – взрывозащищенное оборудование.

6. Классификация видов защиты:

d – взрывонепроницаемая оболочка;

e – защита вида «е» (повышенная);

o – масляное заполнение;

p – заполнение или продувка оболочки под избыточным давлением;

q – кварцевое заполнение;

m – заполнение компаундом;

i – искробезопасная электроцепь: (данный тип взрывозащиты гарантирует, что опасная ситуация не может возникнуть в результате искры (при коротком замыкании), либо в случае внезапного обрыва цепи питания (энергия внутренней индуктивности прибора), либо в результате нагрева токонесущих проводов);

ia – опасная ситуация не может возникнуть при нормальной эксплуатации при помехах на линии и при любой комбинации двух возможных неисправностей;

ib – опасная ситуация не может возникнуть при нормальной эксплуатации, при помехах на линии и одной неисправности.

7. Область применения:

I – подземные работы;

II – наземное применение;

8. Температура воспламенения:

Температурный класс электрооборудования определяется предельной температурой в градусах Цельсия, которую могут иметь при работе поверхности взрывозащищенного оборудования:

T1 > 450 °C;

T2 = 300–450 °C;

T3 = 200–300 °C;

T4 = 135–200 °C;

T5 = 100–135 °C;

T6 = 85–100 °C.

Режимы работы электрооборудования горных машин. Под термином «режим работы» понимается график нагрузки машины с учетом продолжительности и порядка чередования. Применительно к двигателям забойных машин и механизмов режимы их работы зависят не только от назначения, принципа действия машины и технологического процесса, но в значительной мере от организации труда и квалификации лиц, обслуживающих машину. Поэтому для

надежной работы двигателей и других элементов ЭП, а так же ГМ в целом необходимо знать режимы работы, для которых они спроектированы. Различают следующие номинальные режимы работы электрооборудования:

S1 – продолжительный режим (поставляется по умолчанию);

S2 – кратковременный режим работы с длительностью периода неизменной номинальной нагрузки 10, 30, 60, и 90 мин (если в стандартах или технических условиях не установлена иная);

S3 – повторно-кратковременный режим с продолжительностью включения (ПВ) 15, 25, 40 и 60 %: продолжительность одного цикла 10 мин (если в стандартах или технических условиях не установлена иная);

S4 – повторно-кратковременный режим с частными пусками с продолжительностью включения (ПВ) 15, 25, 40 и 60 %; числом включений в час 30, 60, 120 и 240 (если в стандартах или технических условиях не установлено иное) при коэффициенте инерции F1 1,2; 1,6; 2,0; 2,5; 4,0; 6,3 и 10;

S5 – повторно-кратковременный режим с частными пусками и электрическим торможением с продолжительностью включения (ПВ) 15, 25, 40 и 60 % числом включений в час 30, 60, 120 и 240 (если в стандартах или технических условиях не установлено иное) при коэффициенте инерции F1 1,2; 1,6; 2,0; 2,5 и 4,0;

S6 – перемежающийся режим с продолжительностью нагрузки (ПН) 15, 25, 40 и 60 %; продолжительность одного цикла принимают равной 10 мин (если в стандартах или технических условиях не установлена иная);

S7 – перемежающийся режим с частными реверсами при электрическом торможении с числом реверсов в час 30, 60, 120 и 240 (если в стандартах или технических условиях не установлено иное) при коэффициенте инерции F1 1,2; 1,6; 2,0; 2,5; и 4,0;

S8 – перемежающийся режим с двумя или более частотами вращения с числом циклов в час 30, 60, 120 и 240 (если в стандартах или технических условиях не установлено иное) при коэффициенте инерции F1 1,2; 1,6; 2,0; 2,5 и 4,0;

S9 – продолжительность нагрузки на каждой частоте вращения устанавливается по согласованию между потребителем и изготовителем. Допускаются другие номинальные режимы работы или использование электрических машин в нескольких режимах работы,

что должно устанавливаться в стандартах или технических условиях на отдельные виды машин.

Классификация степеней защиты, обеспечиваемой оболочками, в которые помещается электрооборудование, их код **IP** установлены ГОСТ 14254, там же изложены требования для каждого обозначения, приведены методы контроля и испытаний оболочек. Требования стандарта распространяются на электрооборудование напряжением не более 72,5 кВ.

По степени защиты персонала от соприкосновения с токоведущим или движущимися частями, находящимися внутри машины, и попадания твердых посторонних тел и воды внутрь машины также существуют различные формы исполнения. Обозначение по способу защиты состоит из латинских букв IP («International Protection» (международная защита)) и двух цифр, первая из которых (от 0 до 6) указывает на степень защиты персонала от соприкосновения и попадания посторонних предметов внутрь машины, а вторая (от 0 до 8) – на степень защиты от попадания воды. В соответствии с ГОСТ 17494–72 для защиты электрических машин могут применяться 15 исполнений от IP00 до IP56. Если первая цифра равна 0, оболочка не обеспечивает защиту ни от доступа к опасным частям, ни от проникновения внешних твердых предметов; 1 – оболочка обеспечивает защиту от доступа к опасным частям тыльной стороны руки, 2 – пальцем, 3 – инструментом, 4, 5 и 6 – проволокой (при первой цифре, равной 1, 2, 3 и 4, оболочка обеспечивает защиту от внешних твердых предметов диаметром больше или равным соответственно 50, 12,5, 2,5 и 1,0 мм; при цифре 5 оболочка обеспечивает частичную, а при цифре 6 – полную защиту от пыли). Вторая цифра указывает степень защиты оборудования от вредного воздействия воды, которую обеспечивает оболочка. Если вторая цифра равна 0, оболочка не обеспечивает защиту от вредного воздействия воды; 1 – оболочка обеспечивает защиту от вертикально падающих капель воды; 2 – от вертикально падающих капель воды (когда оболочка отклонена на угол до 15°); 3 – от воды, падающей в виде дождя; 4 – от сплошного обрызгивания; 5 – от водяных струй; 6 – от сильных водяных струй; 7 – от воздействия при временном (непродолжительном) погружении в воду; 8 – от воздействия при длительном погружении в воду).

3.2. Асинхронные машины

3.2.1. Принцип работы и устройство асинхронных машин

По сравнению с другими электродвигателями (ЭД), асинхронные двигатели (АД) отличаются простотой, надежностью и меньшей стоимостью. Большинство механизмов горных машин приводится в движение АД.

Трехфазный асинхронный двигатель состоит из неподвижной части (статора) и подвижной части (ротора), разделенных воздушным зазором. В пазы статора укладывается обмотка, состоящая из трех фаз (А, В, С), сдвинутых относительно друг друга на 120 градусов. При подаче напряжения на обмотку статора, по ней начинает протекать ток, создающий круговое вращающееся магнитное поле (Φ). В момент пуска ротор неподвижен. При этом вращающееся магнитное поле, созданное обмотками статора, пересекает обмотку неподвижного ротора с угловой скоростью ω_0 и наводит в ней ЭДС, под действием которой в обмотке ротора начинают протекать токи. По закону Ленца эти токи стремятся своим магнитным полем ослабить вызвавшее их магнитное поле. Механическое взаимодействие токов ротора с вращающимся магнитным полем приводит к тому, что ротор начинает вращаться в ту же сторону, что и магнитное поле со скоростью ω . В установившемся номинальном режиме скорость вращения ротора составляет $(0,99-0,95) \omega_0$.

Чтобы уменьшить потери на вихревые токи, сердечник статора набирают из тонких штампованных листов (0,5 мм) электротехнической стали. Собранный сердечник статора закрепляют в корпусе. В пазы статора закладывают обмотку из медной проволоки. Фазовые обмотки статора электродвигателя соединяются «звездой» или «треугольником», для чего все «начала» и «концы» обмоток выводятся на специальный изоляционный щиток, расположенный на корпусе. Ротор АД, подобно статору, набирается из штампованных листов электротехнической стали. В зависимости от конструкции ротора асинхронные электродвигатели делятся на двигатели с короткозамкнутым ротором (КЗР) и фазным ротором (ФР).

Общий вид асинхронной машины с КЗР приведен на рис. 3.2.

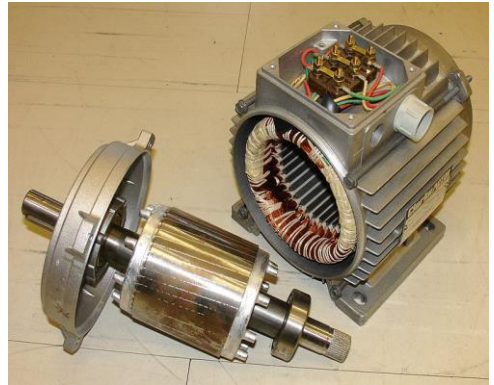
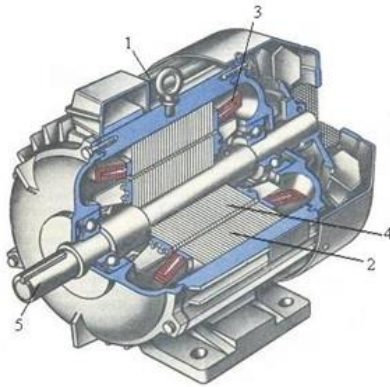


Рис. 3.2. Общий вид асинхронной машины с короткозамкнутым ротором [7]:
 1 – станина; 2 – сердечник статора; 3 – обмотка статора; 4 – сердечник ротора с короткозамкнутой обмоткой; 5 – вал

Обмотка КЗР сделана из медных стержней, закладываемых в пазы ротора. Торцы стержней соединены при помощи кольца (короткозамыкающего). Такая обмотка называется обмоткой типа «беличьей клетки». В машинах с мощностью до 100 кВт стержни обычно изготавливаются путем заливки ротора алюминием. Фазные роторы (рис. 3.3) применяются в АД для улучшения пусковых и регулировочных свойств. На роторе укладывается трехфазная обмотка. Фазы обмотки соединяются «звездой» и концы их присоединяются к трем контактными кольцам (4), насаженным на вал и электрически изолированным как от вала, так и друг от друга. С помощью щеток (5), находящихся в скользящем контакте с кольцами (4), имеется возможность включать в цепи фазных обмоток регулировочные реостаты.

3.2.2. Схемы замещения АМ

В АМ скорость вращения магнитного поля ($\omega_0 = f/p$, рад/сек) и скорость вращения ротора (ω) различны. Относительная разность скоростей вращения поля и ротора называется скольжением s :

$$s = \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0}. \quad (3.1)$$

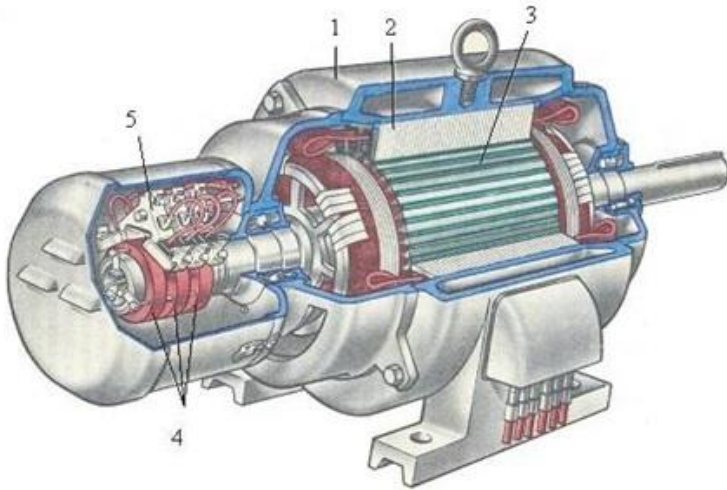


Рис. 3.3. Асинхронный двигатель с фазным ротором [10]:
 1 – станина; 2 – сердечник статора; 3 – ротор; 4 – контактные кольца;
 5 – щеткодержатель со щетками

На рис. 3.4 представлена физическая схема замещения статорной и роторной цепей АМ, где χ_1, r_1 – индуктивное и активное сопротивления обмотки фазы статора; χ_2, r_2 – индуктивное и активное сопротивления фазы ротора; $\Phi_{б1}, \Phi_{б2}$ – магнитный поток рассеяния статора и ротора соответственно; E_1 – ЭДС, наведенная в статоре потоком Φ ; E_2 – ЭДС, наведенная в роторе потоком Φ ; Φ – магнитный поток в воздушном зазоре между статором и ротором. Схема замещения составляется всегда для одной фазы.

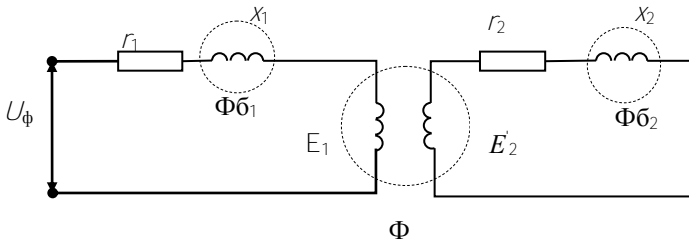


Рис. 3.4. Физическая схема замещения первичной и вторичной цепи АМ

Для упрощения математического описания электромагнитных процессов, происходящих в АМ, на основании физической схемы замещения составляют Т-образную схему замещения АМ. Эта схема составляется по определенным правилам. Ротор реальной АМ вращается, и для приведения схемы замещения АМ к неподвижному ротору (для учета вращения ротора в расчетах), во вторичную цепь вводится добавочное активное сопротивление $r_2'(1-s)/s$. Полная Т-образная схема замещения АМ приведена на рис. 3.5. Здесь r_2' , X_2' – активное и индуктивное сопротивления фазы обмотки ротора, приведенные к обмотке статора согласно выражениям:

$$X_2' = k_e k_j X_2; \quad r_2' = k_e k_j r_2; \quad E_2' = k_e E_2; \quad I_2' = I_2 / k_j,$$

где k_e, k_j – коэффициенты трансформации АМ по ЭДС и току;
 r_m, X_m – параметры намагничивающей цепи схемы замещения.

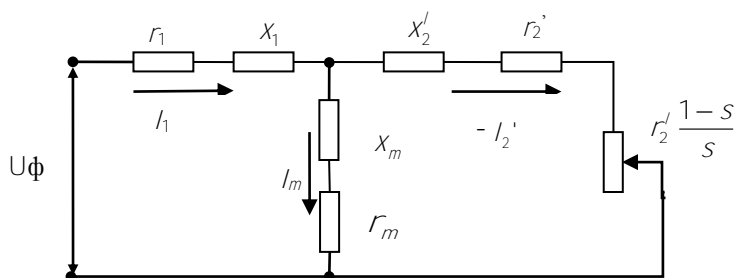


Рис. 3.5. Т-образная схема замещения АМ

С помощью Т-образной схемы замещения можно найти точные расчетные формулы для всех величин, характеризующих электромагнитные процессы в машине. Однако в ряде случаев в практических инженерных расчетах, Т-образную схему целесообразно преобразовать в эквивалентную ей Г-образную схему замещения.

На рис. 3.6 приведена Г-образная схема замещения АМ.

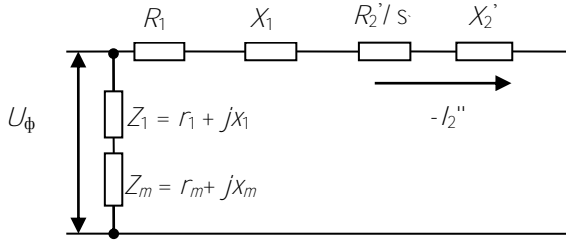


Рис. 3.6. Г-образная схема замещения АМ

Параметры Г-образной и Т-образной схем замещения связаны следующими соотношениями:

$$R_1 = C_1 r_1;$$

$$X_1 = C_1 X_1';$$

$$R_2' = C^2 r_2';$$

$$X_2' = C^2 X_2',$$

где $C = 1 + Z_1/Z_m$ – коэффициент преобразования Т-образной схемы замещения в Г-образную. Обычно коэффициент C находится в пределах 1,05–1,25.

3.2.3. Механическая характеристика АМ

Весьма важным показателем, характеризующим свойства двигателя, является его механическая характеристика. Механической характеристикой называется зависимость, связывающая момент, развиваемый двигателем (M) и угловую скорость (ω) электродвигателя (ЭД). Для асинхронной машины механическая характеристика может быть представлена также зависимостью момента M от скольжения (s). Положение точки на плоскости (M, ω) характеризует режим работы ЭД (рис. 3.7).

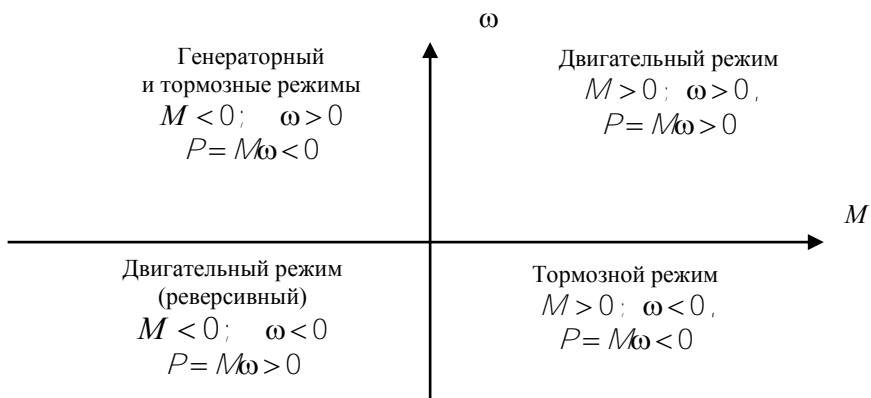


Рис. 3.7. Области режимов работы ЭД в плоскости (M, ω)

Электрические машины (ЭМ) обладают свойством обратимости – они могут работать как в двигательном, так и в генераторном режимах. Характеристика, соответствующая номинальным данным ЭД, называется естественной. Если же хотя бы один из параметров отличается от номинального, характеристика называется искусственной. На основании Г-образной схемы замещения (рис. 3.6) получаем выражение для тока I_2'' ($I_2' = C I_2''$):

$$I_2'' = \frac{U_\phi}{Z} = \frac{U_\phi}{\sqrt{(R_1 + \frac{R_2'}{s})^2 + (X_1 + X_2')^2}}. \quad (3.2)$$

Подставив (3.2) в выражения для мощности и момента АМ $P_{\text{элм}} = (I_2')^2 \frac{R_2'}{s}$, $M = \frac{P_{\text{элм}}}{\omega_0}$, получим уравнение механической характеристики асинхронной машины (3.3).

$$M = \frac{3(I_2'')^2 R_2'}{\omega_0 s} = \frac{3}{\omega_0} \left(\frac{U_\Phi}{\sqrt{(R_1 + \frac{R_2'}{s})^2 + (X_1 + X_2')^2}} \right)^2 \frac{R_2'}{s} = \frac{3U_\Phi^2 \frac{R_2'}{s}}{\omega_0 \left[(R_1 + \frac{R_2'}{s})^2 + (X_1 + X_2')^2 \right]} \quad (3.3)$$

Механическая характеристика АМ имеет вид, представленный на рис. 3.8.

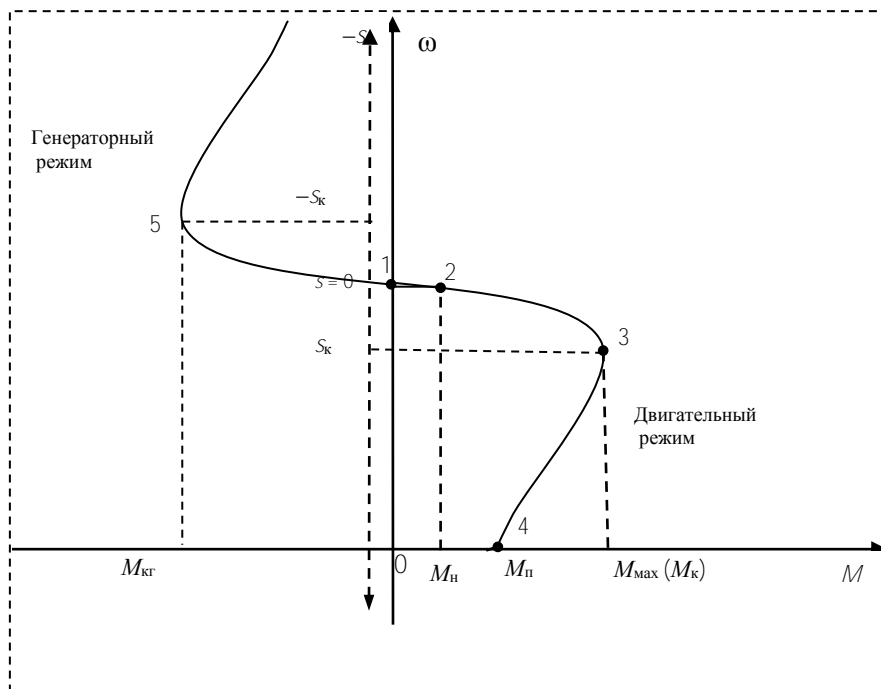


Рис. 3.8. Механическая характеристика АМ

Устойчивая работа АД возможна на участке характеристики, заключенной в пределах от $s = 0$ до $s = s_k$. При работе на этом участке всякое увеличение нагрузки вызовет снижение скорости вращения и будет сопровождаться увеличением крутящего момента двигателя. Когда момент двигателя станет равным моменту нагрузки, дальнейшее снижение скорости прекратится.

В теории электропривода, при питании АД от сети с неизменной частотой, используют упрощенную Г-образную схему, принимая $C = 1$ (коэффициент перевода Т-образной схемы замещения в Г-образную). При этом параметры Т-образной и Г-образной схем замещения становятся численно равными.

Механическая характеристика АМ имеет два максимума: в генераторном и в двигательном режиме. Рассмотрим ее характерные точки:

- 1) $s = 0$; $M = 0$; $\omega = \omega_0$ – режим идеального холостого хода;
- 2) $s = s_{\text{НОМ}}$; $M = M_{\text{НОМ}}$ – номинальный режим работы;
- 3) $s = s_k$; $M = M_k$ – критическая точка двигательного режима (критический момент M_k также называют максимальным (M_{max}) или опрокидывающим);
- 4) $M = M_{\text{кз}} = M_n$; $s = 1$; $\omega = 0$; $I_1 = I_{\text{кз}} = I_n$ – точка пуска (момент короткого замыкания), где M_n , I_n – пусковые момент и ток; $M_{\text{кз}}$, $I_{\text{кз}}$ – момент и ток короткого замыкания;
- 5) $s = -s_k$; $M = M_{\text{кр}}$ – критическая точка генераторного режима.

Величину критического скольжения можно найти, решив уравнение $\frac{dM}{ds} = 0$:

$$s_k = \pm \frac{R_2'}{R_1 \pm \sqrt{(X_1 + X_2')^2 + R_1^2}}. \quad (3.4)$$

Для упрощения расчетов и построения механической характеристики используют формулу Клосса (без учета активных сопротивлений статора):

$$M = \frac{2M_{\text{к}}}{\frac{s}{s_{\text{к}}} + \frac{s_{\text{к}}}{s}}, \quad (3.5)$$

где $s_{\text{к}} = \pm \frac{R_2'}{X_{\text{к}}}$ – критическое скольжение, соответствующее критическому моменту $M_{\text{к}}$ ($M_{\text{макс}}$):

$$M_{\text{к}} = \pm \frac{3U_{\Phi}^2}{2\omega_0 X_{\text{к}}}; \quad (3.6)$$

$$X_{\text{к}} = X_1 + X_2'.$$

Следует отметить, что в двигательном и генераторном режиме численные значения критического скольжения $|s_{\text{к}}|$ одинаковы (согласно выражению 3.4), а моментов разные (3.6).

Асинхронная машина характеризуется:

– коэффициентом перегрузочной способности $k_{\text{м}} = \frac{M_{\text{н}}}{M_{\text{ном}}} \approx 1,7 \div 2,2$;

– кратностью пускового момента $k_{\text{п}} = \frac{M_{\text{м}}}{M_{\text{ном}}} \approx 0,7 \div 1,8$;

– кратностью пускового тока $k_{\text{п/}} = \frac{I_{1\text{п}}}{I_{1\text{н}}} \approx 5,5 \div 7,0$.

3.2.4 Способы регулирования частоты вращения АМ

Согласно выражению (3.1), учитывая $n_0 = 60 f / p$, запишем:

$$n = 60 f (1 - s) / p, \quad (3.7)$$

где n – скорость вращения ротора (об./мин).

Из выражения (3.7) следует, что частота вращения АД может быть изменена тремя способами: изменением скольжения, измене-

нием числа пар полюсов, изменением частоты сети. На практике нашли применение следующие способы регулирования частоты вращения АД.

1. Введением добавочных сопротивлений в цепь ротора $R_2'_{\Sigma}$. Основное достоинство – простота реализации. При этом $\omega_0 = const$, s_k увеличивается, $M_k = const$ (согласно выражениям (3.4)–(3.6)). Плавность регулирования определяется плавностью изменения величины дополнительного резистора (рис. 3.9).

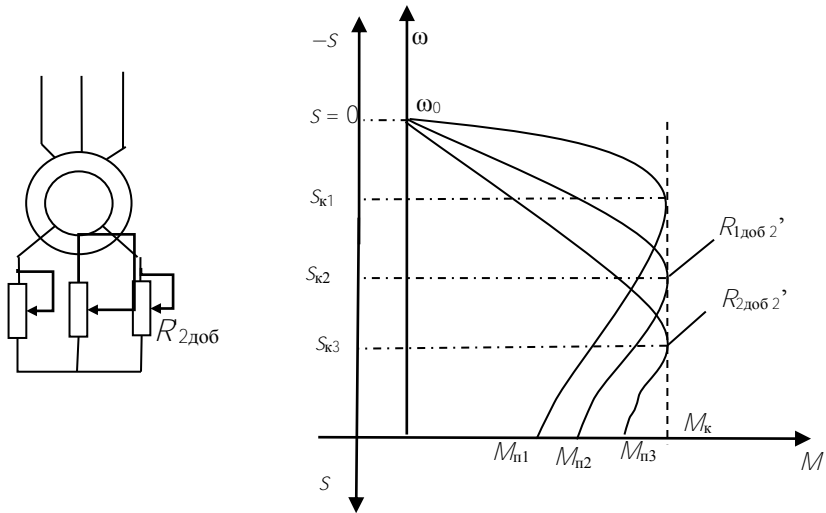


Рис. 3.9. Регулирование скорости вращения АД введением добавочного сопротивления в цепь ротора $R_{2доб}'$, $R_{2доб1}' < R_{2доб2}'$

Этот способ регулирования частоты вращения применяется когда требуется небольшой диапазон регулирования скорости и работа на пониженных скоростях непродолжительна (ЭП подъемно-транспортных машин и механизмов). С помощью введения $R_{2доб}'$ также осуществляется ограничение пускового тока.

2. Введением добавочных сопротивлений в цепь статора ($R_{1доб}$, $X_{1доб}$). В основном применяется для АД с КЗР. Согласно выражениям (3.4)–(3.6) значения M_k и s_k уменьшаются с увеличением $X_{1доб}$ и $R_{1доб}$. Этот способ применяется редко для регулирования скорости. В основном этот способ регулирования частоты вращения нашел

применение для двигателей, имеющих повышенное скольжение в номинальном режиме. Диапазон регулирования скорости ($\omega_{\max}/\omega_{\min}$) составляет приблизительно 1,15–1,2. При введении индуктивных сопротивлений в статор снижается не только КПД двигателя, но и его коэффициент мощности. Согласно вышесказанному, механические характеристики в этом случае, будут иметь вид, представленный на рис. 3.10.

3. *Изменением величины напряжения питания, при неизменной частоте сети переменного тока.* В этом случае критическое скольжение s_k и скорость ω_0 не зависят от напряжения и остаются неизменными при его регулировании, согласно выражениям (3.4)–(3.6), изменяется только величина критического момента АД. Вид механических характеристик показан на рис. 3.11.

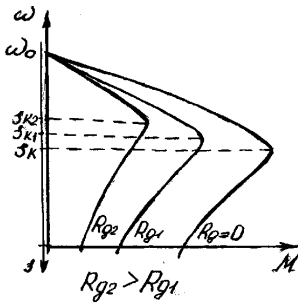


Рис. 3.10

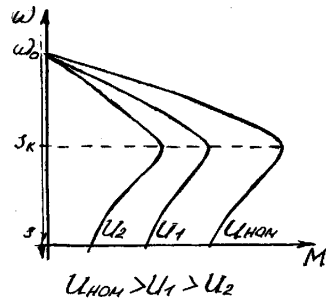


Рис. 3.11

Способ малоприменим для целей регулирования скорости, так как при уменьшении напряжения резко уменьшается M_k ($M_{кр} \approx U^2$). АД очень чувствителен к перенапряжениям и колебаниям напряжения сети. При снижении напряжения до $0,7U_n$ критический момент достигает $0,49M_n$. Особенно это актуально для ЭД, работающим с большим статическим моментом на валу.

4. *Изменением частоты.* Наиболее перспективный и широко используемый способ регулирования скорости АД. Регулирование скорости изменением частоты является бесступенчатым. Это регулирование является также более экономным. Частотное управление

основывается на законе частотного регулирования (законе Костенко) (3.8).

$$\frac{U_1}{U_H} = \frac{f_1}{f_H} \sqrt{\frac{M_1}{M_H}}. \quad (3.8)$$

При этом управляя двигателем при ненасыщенной магнитной системе можно сохранить практически неизменными $\cos\varphi, \eta$. Принцип реализации частотного управления основан на соотношении $\omega_0 = 2\pi f_1 / \rho$, где f_1 – частота источника питания; ρ – число пар полюсов обмотки статора. Изменяя частоту тока статора можно плавно регулировать скорость вращения ротора в широких пределах, что подходит практически для любого механизма. В этом случае регулирование частоты вращения ЭД сводится к регулированию параметров питающей сети. Виды нагрузки определяют различные формы взаимосвязанного статического управления напряжением и частотой. Из всего многообразия статических нагрузок механизмов рассмотрим три основных типа:

1) при постоянном моменте нагрузки: $M_c = \text{const}$,

$$\frac{U_1}{U_H} = \frac{f_1}{f_H}; \Rightarrow \frac{U_i}{f_i} = \text{const} \quad (\text{согласно закону Костенко}), \text{ т.е. в этом}$$

случае, для поддержания постоянного момента ЭД необходимо изменять напряжение на статоре пропорционально его частоте. Для частоты ниже номинальной ($f_1 < f_H$) критический момент АД постоянен, что обеспечивает неизменную перегрузочную способность двигателя. При частоте f_1 свыше f_H , когда по техническим условиям напряжение статора не может быть увеличено ($U = \text{const} = U_H, f_1 > f_H$), критический момент M_k снижается (рис. 3.12);

2) для момента нагрузки с «вентиляторным» характером (частотное управление осуществляется при квадратичном статическом моменте) $M/M_H = (\omega/\omega_H)^2$, тогда $M = M_H (\omega/\omega_H)^2$. Для чего необходимо соблюдение условия $U_1/f_1^2 = \text{const}$. В этом случае механические характеристики имеют вид, представленный на рис. 3.13;

3) для нагрузки с постоянной мощностью $P_c = M_c \omega = \text{const}$. При управлении АД в этом случае, критический момент изменяется обратно пропорционально частоте (рис. 3.14).

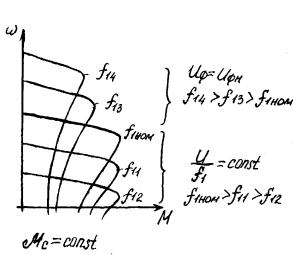


Рис. 3.12

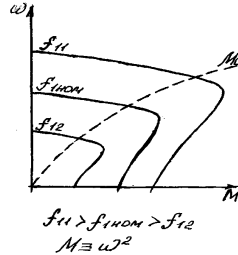


Рис. 3.13

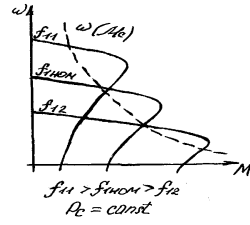


Рис. 3.14

5. Изменением скорости вращения АМ изменением числа пар полюсов (применяется в основном для регулирования скорости многоскоростных АД с короткозамкнутым ротором). Многие механизмы, выполняющие простые технологические операции, не требуют плавного регулирования скорости. К их числу относятся грузовые и пассажирские лифты, центробежные сепараторы. Для них достаточно иметь привод с 2,3 ступенями скорости.

1. Выпускаются АД с уложенными на статоре несколькими обмотками (не связанными друг с другом), имеющими разное число пар полюсов p_1 и p_2 и, соответственно, разную синхронную угловую скорость:

$$\omega_{01} = \frac{2\pi f_1}{p_1}; \quad \omega_{02} = \frac{2\pi f_2}{p_2}.$$

2. Выпускаются многоскоростные АД у которых изменение пар полюсов вращающегося магнитного поля достигается за счет изменения схемы соединения статорной обмотки (рис. 3.15). Для чего каждая фаза статора разделена на две одинаковые части – полуобмотки.

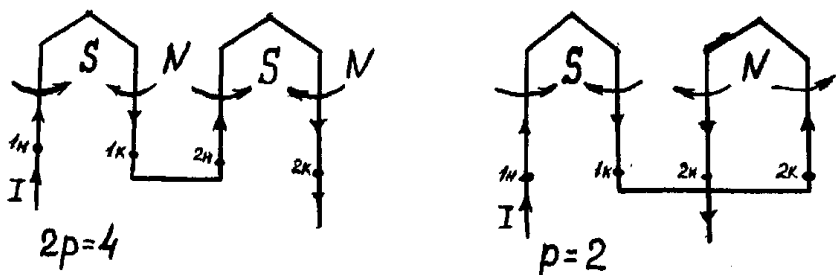


Рис. 3.15

3. Наиболее часто применяются схемы переключения обмотки статора: треугольник (p_1) – двойная звезда (p_2) и звезда (p_1) – двойная звезда (p_2), число пар полюсов $p_1 = 2p_2$. В первом случае регулирование частоты вращения происходит с небольшим изменением ($p_1 \approx 1,15p_2$) мощности. Поэтому часто эту схему переключения называют схемой переключения с постоянной мощностью (рис. 3.16).

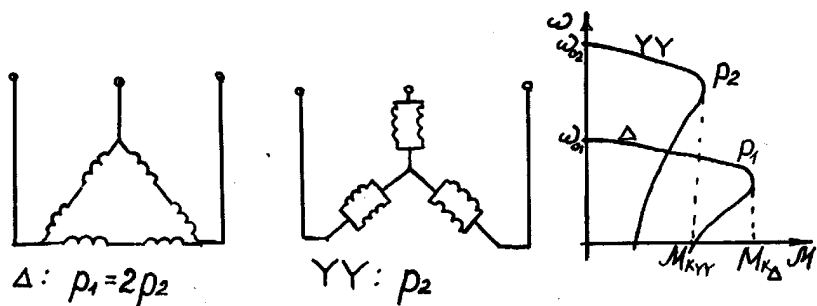


Рис. 3.16. Схема переключения с постоянной мощностью

Во втором случае при переходе от меньшей скорости вращения к большей допустимая мощность увеличивается в 2 раза, но момент остается постоянным $M_1 = p_1/\omega_1 = M_2 = p_2/\omega_2$ (схема переключения с постоянным моментом) (рис. 3.17).

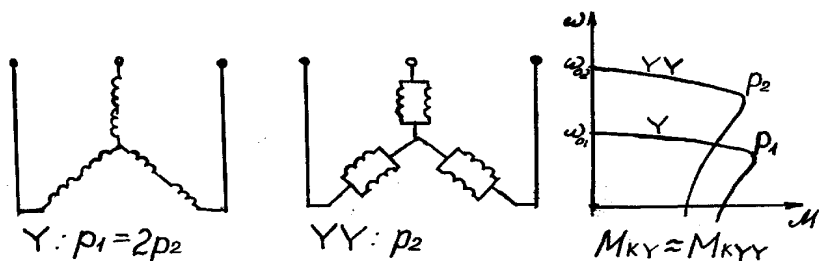


Рис. 3.17. Схема переключения с постоянным моментом

3.2.5. Способы пуска асинхронных двигателей

При пуске АД с короткозамкнутым ротором пусковой ток I_n достигает $(4-8)I_n$. Толчок пускового тока I_n вызывает в сети, к которой присоединяется АД, понижение напряжения. Момент АД пропорционален квадрату напряжения ($M \cong U^2$). Практически понижение напряжения сказывается ещё больше при пуске АД из-за большого пускового тока. Поэтому для крупных АД (или длинных линиях питания), мощности которых соизмеримы с мощностью трансформаторных подстанций, необходимо выполнять специальные расчеты, подтверждающие возможность нормального пуска АД и работы с пониженным U . Установлен специальный ГОСТ 13109-87 на качество электроэнергии, который предусматривает послеаварийное изменение напряжения в промышленной сети в пределах $U \approx \pm 10\% U_n$. Особенно опасно снижение U для электроприводов, которые по условиям эксплуатации должны запускаться под нагрузкой (приводы транспортеров, грузоподъемных устройств). Например, при пуске без нагрузки статический момент транспортера не превышает $M_c = (0,2-0,3)M_n$; а с нагрузкой $M_c \approx M_n$.

Если запускается АД большой мощности, напряжение сети может сильно снизиться, и другие потребители (работающие в это время с перегрузкой) могут остановиться. Поэтому пуск АД без применения средств, ограничивающих I_n , допускается лишь в случае, если номинальная мощность АД не превышает 25 % мощности трансформаторов, питающих данную сеть. Если от этого же трансформатора питается осветительная нагрузка, то $P_{\text{наД}}$ не должна превосходить 5 % от мощности трансформаторов.

Так как пусковой ток обычно кратковременный, он не представляет опасности для АД в тепловом отношении, если пуски не очень часты и длительность разгона не слишком велика. При частых пусках (порядка нескольких сотен в час) или при большой длительности пуска АД могут перегреваться. Поэтому применяют меры для уменьшения I_n :

1) введение реостатов и дросселей в цепь статора (см. 2 в п. 3.2.4). Применение дросселей дает значительно меньшие потери мощности, но уменьшает $\cos\varphi$ установки. Применение таких схем целесообразно для двигателей большой мощности при тяжелых условиях эксплуатации, когда использование сложной пусковой аппаратуры понижает надежность ЭП;

2) введение реостатов в цепь ротора (для АД с ФР, см. 1 в п. 3.2.4). При этом пусковой ток уменьшается до $(1,5-2,5)I_n$, начальный пусковой момент увеличивается. Применение реостатов сопровождается потерями мощности в них. Обычно применяют для приводов главного движения, вспомогательных перемещений. Эти ЭД пускают в ход под значительной нагрузкой, обусловленной силами трения неподвижного механизма. Часто пуск осуществляется ступенями;

3) уменьшение напряжения (см. 3 в п. 3.2.4), подводимого к статору (при этом происходит уменьшение пускового момента M_n ($M \cong U^2$)), что осуществляется следующими способами:

а) с помощью автотрансформатора. При уменьшении напряжения, подводимого к ЭД, в \sqrt{k} раз, пусковой момент снижается в k раз (согласно выражению 3.3). Недостатком метода является стоимость. Этот метод применяется при значительных мощностях АД. При пуске АД питается пониженным напряжением, а при $\omega = \omega_n$ автотрансформатор отключается и АД получает питание непосредственно от сети;

б) переключение со звезды на треугольник. Если при нормальной работе обмотка статора ЭД включена по схеме треугольник, то переключение обмоток статора в момент пуска с треугольника на звезду уменьшает напряжение, питающее обмотку статора в $\sqrt{3}$, фазные токи в $\sqrt{3}$, пусковые моменты в 3 раза. Такое уменьшение момента не всегда приемлемо;

4) частотный пуск (см. 4 в п. 3.2.4) осуществляется с помощью преобразователей. В последнее время даже мощные машины с ФР вытесняются из традиционных сфер их применения частотно-управляемыми короткозамкнутыми двигателями, которые имеют меньшие потери, более надежны и экономичны. В настоящее время широкое применение находят «устройства плавного пуска».

3.2.6. Тормозные режимы АМ

Тормозные режимы для многих ЭП имеют более важное значение, чем режимы пуска в отношении предъявляемых к ним требованиям надежности и безотказности. Часто требуется точная остановка в заданном положении, или торможение привода в течение определённого времени. Для АД используют следующие виды электрического торможения:

1) рекуперативное (генераторное) с отдачей энергии в сеть. Особенностью рекуперативного торможения является то, что оно не обеспечивает остановки двигателя, а лишь ограничивает скорость его вращения. Механическая характеристика АД для этого случая представлена рис. 3.18.

При увеличении скорости ротора выше скорости вращения магнитного потока, АД переходит в режим генератора. Этот вид торможения применяется в подъемных транспортных механизмах – спуск грузов с установившейся скоростью, а также применяется в двигателях с переключением пар полюсов, когда двигатель, работая с меньшим числом пар полюсов и большей скоростью n_1 , переключили на большее число пар полюсов, тогда его скорость уменьшается, согласно выражению $n_2 = f / p_2$. В этом случае осуществляется генераторное торможение до установившейся скорости – n_2 (от точки *A* до точки *B* – тормозной режим);

2) противовключение. Осуществляется сменой чередования фаз обмотки статора (рис. 3.19). Смена чередования фаз означает смену направления вращения поля статора. В этом случае ротор вращается в сторону, противоположную направлению вращения поля статора. Когда скорость АД достигает нулевого значения (от точки *A* до точки *B* – тормозной режим), необходимо отключить его от сети для избежания реверса. Недостатком тормозных характеристик проти-

вовключения является их большая крутизна и значительные потери энергии, которая полностью превращается в теплоту, рассеиваемую во вторичной цепи двигателя. Вследствие большой крутизны механических характеристик возможны большие колебания скорости привода при незначительных изменениях нагрузки;

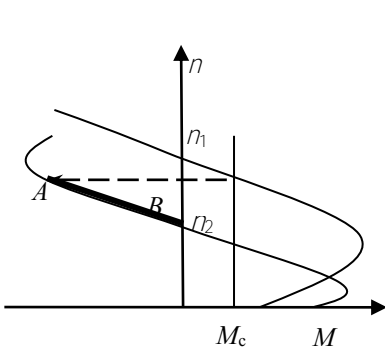


Рис. 3.18. Рекуперативное торможение

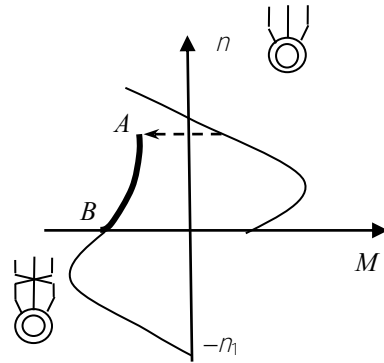


Рис. 3.19. Торможение противовключением

3) динамическое торможение. Осуществляется путем отключения статора АД от сети и подачи на две фазы статора постоянного тока от постороннего источника. При этом АД работает как синхронный генератор, вырабатывающий электроэнергию, которая обращается в тепло в цепи ротора. Этот вид торможения применяется в подъемно-транспортных и в станочных приводах (рис. 3.20);

4) торможение конденсаторное. АД отключают от сети. На обмотку статора подключаются конденсаторы. При достижении ротором определенной скорости (с учетом которой рассчитаны конденсаторы) наступает самовозбуждение и машина переходит в режим генератора. В этом случае не требуется внешнего источника электроэнергии. Для осуществления торможения при различных скоростях необходим определенный набор конденсаторных батарей. В последнее время этот вид торможения применяется все чаще (рис. 3.21).

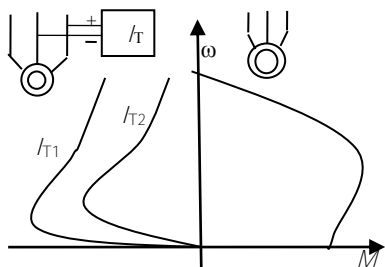


Рис. 3.20. Динамическое торможение, $I_{T1} > I_{T2}$

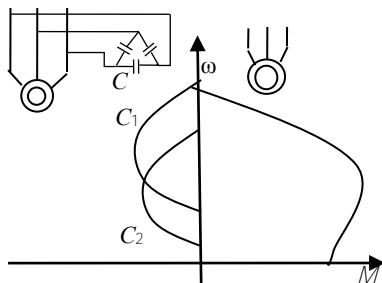


Рис. 3.21. Конденсаторное торможение, $C_2 > C_1$

Все тормозные режимы применяются для АМ с короткозамкнутым ротором и фазным ротором.

В связи с использованием мощных силовых полупроводниковых приборов появились новые схемы реализации типовых тормозных режимов асинхронных приводов.

Повышение эффективности торможения можно достичь применением комбинированных способов его реализации. Следует отметить, что большинство комбинированных способов торможения являются полностью управляемыми. Это еще больше увеличивает их эффективность. Наиболее эффективными являются: противовключение и конденсаторно-динамическое торможение. Конденсаторно-динамическое торможение имеет много схемных решений и рекомендуется для приводов с большим моментом инерции J , например превышающий двукратный момент инерции ЭД. Для отдельных приводов применяется двух ступенчатое торможение (противовключение – динамическое торможение) и трех ступенчатое торможение: конденсаторное торможение, динамическое и магнитное торможение.

Комбинированные способы торможения оказываются эффективными для получения полной остановки привода.

3.2.7. Асинхронные машины, применяемые для электроприводов горных машин

На предприятиях горной промышленности применяются электродвигатели различного исполнения в зависимости от условий эксплуатации: от нормального исполнения до взрывозащищенного. В соответствии с особенностями эксплуатации горного оборудования основное количество используемых АД являются взрывозащищенными. Двигатели во взрывозащитном исполнении надежно работают в достаточно экстремальных условиях очень длительное время (срок эксплуатации до 30 лет). Все электродвигатели могут быть адаптированы для управления от преобразователя частоты и включать в себя самый широкий набор опций, аксессуаров и исполнений. При разработке двигателей основное внимание уделяется высокому КПД и малошумности, защищенным от коротких замыканий и надежными кабельными соединениями, удобству в обслуживании и долговечности. Взрывозащищенные двигатели производятся в соответствии с ТУ 3341-008-72453807-07 с КПД 85–95 % и повышенной точностью установочных и присоединительных размеров. Применение таких ЭД позволяет обеспечивать длительную работу машин при отклонениях напряжения от номинального $\pm 10\%$, эксплуатировать двигатели без снижения нагрузки в сетях с существенными колебаниями напряжения, а также при значительном колебании температуры окружающей среды. Установка контрольных датчиков позволяет измерять и отслеживать изменения вибрации, температуры, тока двигателя и скорости вращения вала, температуру тормозов и опорных подшипников, выявлять износы электромеханических узлов и состояния смазочных материалов в режиме реального времени. Постоянный мониторинг состояния двигателя позволяет выявить неисправности на ранней стадии их возникновения, снизить затраты на техническое обслуживание и дорогостоящий ремонт, свести процент аварийности к минимуму.

Взрывозащищенные двигатели предназначены для использования в качестве приводов различных механизмов, в местах эксплуатации которых, по технологии производства возможно образование взрывоопасной концентрации газов, паров и пыли – горнодобывающая промышленность, среднее машиностроение (АЭС, обогатительные фабрики), добыча и транспортировка нефти и газа, нефте-

перерабатывающие заводы, химические заводы, черная и цветная металлургия, оборонная промышленность, энергетика, котельное хозяйство, водоснабжение, канализация и утилизация отходов, морской и речной транспорт.

Взрывозащищенные двигатели выпускаются: односкоростные с числом полюсов 2, 4, 6, 8 и многоскоростные с числом полюсов 2/4, 2/8, 4/6, 4/8, 4/12, 4/16, 6/8, 6/12, 6/16.

В соответствии с ГОСТ 8865–70 изоляционные материалы разделены на классы нагревостойкости: **У, А, Е, В, F, Н, С**. Для изоляции асинхронных двигателей общего назначения обычно применяются четыре класса – **Е, В, F, Н** – с допустимыми температурами изоляционного материала **120, 130, 155, 180 °С** соответственно. Обозначение способа охлаждения АМ состоит из латинских букв **IC**, следующей за ними прописной буквы, обозначающей вид, и цифрового индекса, который указывает тип цепи для циркуляции хладагента и способ его перемещения (например: **IC410** – пассивное воздушное охлаждение, **IC411** – воздушное охлаждение с помощью вентилятора).

Условное обозначение двигателя по форме исполнения и способу монтажа состоит из латинских букв **IM** и четырехзначного числового индекса, первая цифра которого (от 1 до 9) определяет конструктивное исполнение, вторая и третья (от 00 до 99) – способ монтажа, четвертая (от 0 до 9) – условное обозначение конца вала (например: **IM 1081** – на лапах с двумя подшипниковыми щитами с одним цилиндрическим концом вала; **IM 2081** – то же, что и **IM 1081**, но с фланцем на подшипниковом щите; **IM 3081** – без лап с двумя подшипниковыми щитами, фланцем на подшипниковом щите и одним цилиндрическим концом вала со стороны привода).



В табл. 3.3 приведены основные типы АД, применяемых для ЭП горной техники.


Структура условного обозначения:


АИММ 160 М2 У2,5: АИММ – обозначение серии; 160 – высота оси вращения (габарит), мм; S, M, L – установочный размер по длине станины; А, В – длина сердечника статора (отсутствие буквы обозначает только одну длину сердечника); 2, 4, 6 – число полюсов; У, УХЛ, Т, ОМ – климатическое исполнение по ГОСТ 15150–69; 2,5 – категория размещения по ГОСТ 15150–69.



Таблица 3.3

Основные типы асинхронных машин, применяемых для ЭП горной техники


Вид	Характеристики	Применение
<p data-bbox="229 247 387 269">АИМ, АИМР</p> 	<p data-bbox="464 247 1085 486">АД с КЗР взрывозащищенные, закрытые во взрыво-непроницаемой оболочке с наружным обдувом и охлаждаются воздухом от собственного вентилятора. Степень защиты: коробки выводов от внешних воздействий, соответствует IP 54; способ охлаждения: ICA 0141 по ГОСТ 20459–75. Маркировка взрывозащиты: 1ExdeIIBT4 / 2ExdeIICT4, 1ExdIIBT4, 1ExdIICT4, 1ExdIIBT4 / 2ExdIICT4 по ГОСТ 12.2.020–76</p>	<p data-bbox="1110 247 1445 486">Для работы в качестве привода стационарных машин и механизмов во взрывоопасных производствах химической, газовой, нефтеперерабатывающей, угольной и других отраслей промышленности</p>
<p data-bbox="213 493 403 516">АИУМ, АИММ</p> 	<p data-bbox="464 493 1085 960">АД с КЗР взрывозащищенные с повышенными энерго-механическими характеристиками. Исполнение по взрывозащите: АИММ225 М4 – 1ExdIIBT4; АИУМ225 М4; АИУМ225 МС4 – РВ-ЗВ. Вид климатического исполнения: АИУМ – У5; АИММ – У2. Конструктивное исполнение по способу монтажа: АИУМ225М, АИММ225М – IM 1001, M 9701; АИУМ225 МС4 – IM 4001. Степень защиты: корпуса и коробки выводов – IP54, кожуха наружного вентилятора – IP20. Способ охлаждения: ICA 0141. Режим работы: S1, от сети переменного тока частотой 50 Гц. Для двигателей АИУМ225 МС допускается режим работы, отличный от режима S1. Структура условного обозначения АИУМ225 МС4: АИУМ – обозначение серии; 225 – высота оси вращения, мм; М – условная длина станины; С – специальная (для скребковых конвейеров), 4 – число полюсов</p>	<p data-bbox="1110 493 1445 736">АИУМ225 предназначены для эксплуатации в подземных выработках угольных и сланцевых шахт, опасных по метану и угольной пыли; АИММ225 – во взрывоопасных зонах помещений и наружных установок</p>



Вид	Характеристики	Применение
<p data-bbox="181 210 434 237">BAO2, BAO3, BAOY</p> 	<p data-bbox="466 210 1082 602">АД с КЗР взрывозащищенные. Серии BAO2 имеют исполнения по взрывозащите РВ-4В (ExdI), IExdIIBT4, серии BAOY – РВ-4В (ExdI). Вид климатического исполнения: У2; Т2; ХЛ2; У5; Т5. Конструктивное исполнение по способу монтажа: IM 1001, режим работы S1. Степень защиты: корпуса и коробки выводов – IP 54, изоляция класса нагревостойкости F и H. Структура условного обозначения BAO4-450 S6, BAOY-450 LB6: BAO – взрывозащищенный асинхронный обдуваемый; 2,3 – номер серии; У – для углесосов; 450, 560, 630 – габарит (высота оси вращения, мм); S, M, L, LA, LB – условная длина станины; 4, 6, 8 – число полюсов</p>	<p data-bbox="1114 210 1449 512">Для привода стационарных машин и механизмов (насосов, вентиляторов, компрессоров и др.) во взрывоопасных зонах шахт, рудников и в их наземных строениях опасных по рудничному газу, горючей пыли, а также категорийных помещениях согласно ПУЭ</p>
<p data-bbox="271 610 347 637">BAO4</p> 	<p data-bbox="466 610 1082 969">АД с КЗР взрывозащищенные. Для режима работы S1 от сети переменного тока напряжением 6 кВ (10 кВ), частотой 50 Гц. Исполнения по взрывозащите: ExdIIBT4 или РВ-4В (ExdI). Вид климатического исполнения: У2; У5; Т2; Т5. Степень защиты: корпуса и коробки выводов – IP 54; кожуха наружного вентилятора – IP 20. Структура условного обозначения BAO4-450 SH6: BAO – взрывозащищенный асинхронный обдуваемый; 4 – номер серии; 450 – габарит, мм; S, M, L, LA, LB, LH, SH, MH – условная длина станины (H – повышенные энергетические параметры); 2, 4, 6, 8 – число полюсов</p>	<p data-bbox="1114 610 1449 790">Для привода стационарных машин и механизмов в шахтах, опасных по газу и пыли, а также во взрывоопасных зонах помещений и наружных установок</p>


Вид	Характеристики	Применение
<p data-bbox="209 213 406 236">ВАО4К, ВАОК4</p> 	<p data-bbox="464 213 1083 661">АД с ФР обдуваемые взрывозащищенные (крупные). Изоляционные материалы обмотки статора класса нагревостойкости F. Степень защиты корпуса и коробки выводов: IP 54 Исполнение по взрывозащите: ВАО4К-450 PBEхdI или PB-3B; ВАО4К-560 PBEхdI или PB-4B. Климатическое исполнение: У2; У5; Т2; Т5. Монтажное исполнение: IM1001 на лапах. Режим работы: S1 от сети частотой 50 Гц. Для электродвигателей ВАО4К-450L8, ВАОК4-450 L8 возможен режим работы S8. Структура условного обозначения: ВАО4К-450 S-6У2: ВАО – взрывозащищенный асинхронный обдуваемый, 4 – номер серии, К – с фазным ротором, 450 – высота оси вращения, мм, S – условная длина станины, 6 – число полюсов, У2 – климатическое исполнение</p> <p data-bbox="464 673 1083 841">Структура условного обозначения ВАОК4-450 L8 У2: ВАОК – взрывозащищенный асинхронный обдуваемый с контактными кольцами; 4 – четвертая серия; 450, 560 – габарит (высота оси вращения, мм), S, L, M, LA, LB – условная длина станины, 6, 8 – число полюсов; У2 – климатическое исполнение</p>	<p data-bbox="1112 213 1444 785">Для работы в качестве привода механизмов, требующих плавного пуска: шахтных подземных лебедок, подъемных машин, ленточных конвейеров, а также для комплектации двухдвигательных приводов. В шахтах, опасных по газу и пыли, а также во взрывоопасных зонах помещений и наружных установок, где могут образовываться взрывоопасные смеси газов, паров или пыли с воздухом, отнесенные по взрывоопасности к категории IIА и группам воспламеняемости Т1, Т2, Т3, Т4</p>

Вид	Характеристики	Применение
<p>BAO 7</p> 	<p>АД с КЗР взрывозащищенные обдуваемые. Исполнения по взрывозащите: 1ExdIIВТ4; РВExdI; РВ4В Конструктивное исполнение по способу монтажа: IM 1001. Способ охлаждения: ICA 0151 – BAO7A-560-4,6,8; BAO7A-560 LA, LB-2; BAO7A-630; BAO7M-630 ICA 0141 – BAO7A-450; BAO7A-560 S, M-2. Вид климатического исполнения: Y2; Y5; T2; T5. Степень защиты: корпуса и коробки выводов – IP 54. Изоляционные материалы обмотки статора класса нагревостойкости: F. Режим работы: S1</p>	<p>Для работы в шахтах, опасных по газу и пыли, а также во взрывоопасных зонах помещений и наружных установок. Электродвигатели комплектуются прибором контроля температуры</p>
<p>ВАСО</p> 	<p>АД с КЗР взрывозащищенные обдуваемые вертикальные специальные. Исполнение по взрывозащите: 1ExdeIIВТ4 (ExdeIIВТ4). Вид климатического исполнения: У1, ХЛ1, Т1. Конструктивное исполнение по способу монтажа: М9633. Степень защиты: IP54. ВАСО4-13-12. Класс нагревостойкости изоляции: F. Исполнение по взрывозащите: 1ExdIIВТ4. Для работы от сети переменного тока напряжением 380 В (режим работы S1)</p>	<p>Для безредукторного привода аппаратов воздушного охлаждения. ВАСО4-13-12 – в местах, где возможно образование взрывоопасных смесей газов, паров или пыли с воздухом, отнесенных по взрывоопасности к категориям 11А, 11В, группам Т1, Т2, Т3, Т4</p>

Продолжение табл. 3.3


Вид	Характеристики	Применение
<p data-bbox="229 213 386 238">В, 2В, 3В, ВР</p> 	<p data-bbox="464 213 1083 359">АД с КЗР взрывобезопасные. Исполнение двигателей по уровню и виду взрывозащиты: 1ЕХДПВТ4, РВ-3В. Степень защиты электродвигателей и коробок выводов: IP54, вентиляторов наружного обдува со стороны входа воздуха: IP20; выхода: IP10</p>	<p data-bbox="1109 213 1444 389">Для работы в качестве привода стационарных машин и механизмов во взрывоопасных производствах угольной и других отраслей промышленности.</p> <p data-bbox="1109 396 1444 631">ВР – для привода стационарных и передвижных забойных машин и механизмов, применяемых в угольных и сланцевых шахтах, помещениях и наружных установках, опасных по газу (метану) и угольной пыли</p>
<p data-bbox="261 642 357 667">ВРК280</p>	<p data-bbox="464 642 1083 908">Трехфазные АД с ФР (с контактными кольцами), взрывозащищенные. Исполнение двигателей по взрывозащите: РВ 3В (ExdI); изготавливаются на напряжение 380/660, 400, 415, 440, 500 В переменного тока частотой 50 Гц (380/660, 440 и 500 В – при частоте 60 Гц). Степень защиты двигателей: IP54. Класс нагревостойкости изоляции обмотки статора: F и H. Режим работы: S1 и S8 (с двумя частотами вращения $n_{ном}$ и $0,1n_{ном}$)</p>	<p data-bbox="1109 642 1444 759">Для обеспечения работы стационарных машин и механизмов в шахтах, опасных по газу и пыли</p>

Вид	Характеристики	Применение
ВРМ280S4, 2ВР2М280S4 ЗВР	Трехфазный АД с КЗР для эксплуатации от трехфазной сети переменного тока частотой 50 Гц и 60 Гц на напряжение 380/660 В с синхронной частотой вращения 3000 об./мин. Исполнение по взрывозащите: РВЗВ (ExdI). Исполнение по способу монтажа: IM4001. Двигатели ЗВР предназначены для работы от сети трехфазного переменного тока частотой 50 и 60 Гц, напряжением 380, 660 и 1140 В. Режим работы: S1	ВРМ280S4, 2ВР2М280S4 – для привода стационарных вентиляторов местного проветривания; ВМЭ2-10, ЗВР – для привода различных машин и механизмов (насосов, вентиляторов) в угольных и сланцевых шахтах, опасных по газу, угольной пыли
АИР 90 LA8 	АД с КЗР, искробезопасный	Применяются в условиях, где могут образоваться взрывоопасные смеси воздуха и горючего газа и требуется повышенная защита механизмов
АИУ180М2 IM2081 	АД с КЗР, взрывозащищенный. Маркировка взрывозащиты: РВ ЗВ. По способу монтажа по ГОСТ 2479: на лапах – IM1081; на лапах с фланцем – IM2081; без лап с фланцем – IM3081. Для работы от сети трехфазного переменного тока частотой 50 и 60 Гц, на одном из стандартных напряжений от 220 В до 660 В. Режим работы: S1, допускается работа двигателей в режимах S2, S3, S4	Для привода стационарных машин во взрывоопасных производствах угольной промышленности

Вид	Характеристики	Применение
<p data-bbox="280 213 336 236">ЭКВ</p>  <p data-bbox="188 516 432 572">ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ ТИПА 2ЭКВ3,5-90, 2ЭКВ3,5-100</p>	<p data-bbox="464 213 1082 236">АД с КЗР взрывозащищенные.</p> <p data-bbox="464 241 1082 264">ЭКВ2,5-7,5. Степень защиты: IP54 (S1).</p> <p data-bbox="464 269 1082 421">2ЭКВ3,5-90, ЭКВ3,5-200М ЭКВ3,5-180, 2ЭКВ3,5-100 (класс нагревостойкости изоляции – Н «монолит»). ЭКВ3-55, ЭКВ5-200-2 (класс нагревостойкости – F «монолит»). ЭКВ4-250 (класс нагревостойкости – Н «монолит»), (режим работы S4 – 60 % при 30 вкл./ч). Для работы от сети переменного тока частотой 50 Гц на напряжение 500, 660, 1000 или 1140 В с синхронной частотой вращения 1500 об./мин. Степень защиты: IP54. Уровень взрывозащиты РВ-3В (ExdI).</p> <p data-bbox="464 549 1082 701">ЭКВ4-30-6, ЭКВ4-45-6, ЭКВ4-60-6 – для работы от сети переменного тока частотой 50 Гц на напряжение 1140 В с синхронной частотой вращения 1000 об./мин. Класс нагревостойкости изоляции – Н «монолит» (режим работы S1).</p> <p data-bbox="464 706 1082 857">ЭКВ4-150, ЭКВ5-250В, ЭКВ6-355 – для работы на одно из напряжений 660 В или 1140 В с синхронной частотой вращения 1500 об./мин. Двигатели допускают до 20 вкл./ч без снижения мощности. Класс нагревостойкости изоляции – Н «монолит» (S1).</p>	<p data-bbox="1114 213 1442 297">ЭКВ2,5-7,5 – для привода гидросистемы очистного комбайна КДК500;</p> <p data-bbox="1114 303 1442 387">2ЭКВ3,5-90, 2ЭКВ3,5-100 – для привода комбайна К103М;</p> <p data-bbox="1114 393 1442 477">ЭКВ3,5-200М, ЭКВ3,5-180 – для привода комбайнов КА80, 1К101УД;</p> <p data-bbox="1114 482 1442 566">ЭКВ3-55 – для привода грузчика комбайна «Кировец», буровой машины «Стрела 77»;</p> <p data-bbox="1114 572 1442 656">ЭКВ4-250 – для привода комбайна ГШ500;</p> <p data-bbox="1114 661 1442 745">ЭКВ5-200-2 – для привода комбайна 2КШЗ;</p> <p data-bbox="1114 751 1442 835">ЭКВ4-30-6, ЭКВ4-45-6, ЭКВ4-60-6 – для привода подачи очистных комбайнов УКДЗООБ, КДК500, КДК700, для привода гидросистемы комбайна КДК700(ЭКВ4-30-6)</p>

Вид	Характеристики	Применение
	<p>ЭКВ4-140-3, ЗЭКВ4УС2, 4ЭКВ4УС2 (S1) 2ЭКВЭ4-200 2ЭКВЭ4-200-2 – для работы от сети переменного тока частотой 50 Гц., на одно из напряжений 660, 1000, 1140 В с синхронной частотой вращения 1500 об./мин. Степень защиты: IP54. Класс нагревостойкости изоляции: Н «монолит».</p> <p>ЭКВ4-140, ЭКВ4-185 – для работы от сети переменного тока частотой 50 Гц, на одно из напряжений: ЭКВ4-140 – 500, 660 В; ЭКВ4-185 – 1140, 1000 В с синхронной частотой вращения 1500 об./мин. Степень защиты: IP54. Класс нагревостойкости изоляции: F «монолит»</p>	<p>ЭКВ4-150, ЭКВ5-250В, ЭКВ6-355 – для привода исполнительного органа очистных комбайнов УКД300Б, КДК500, КДК700.</p> <p>ЭКВ4-140-3, ЗЭКВ4УС2, 4ЭКВ4УС2 – для привода агрегата 1АЩМ, струговых установок УСВ СО75, СН75, УС-2У, УСВ.</p> <p>2ЭКВЭ4-200 2ЭКВЭ4-200-2 – для привода комбайнов РКУ10, РКУ13, ГШ200Б, ГШ200В.</p> <p>ЭКВ4-140, ЭКВ4-185 – для привода комбайнов 1ГШ 68, МК 67 и МК 67И 1ГШ 68Е (режим работы: S4 60 % при 30 вкл./ч) и других механизмов, применяемых в угольных и сланцевых шахтах, опасных по газу (метан) и угольной пыли</p>


Продолжение табл. 3.3


Вид	Характеристики	Применение
<p>ЭДКВФ250</p>	<p>Трехфазные АД с КЗР, взрывозащищенные. Режим работы: S1 от сети переменного тока частотой 50 и 60 Гц напряжением 1140/660 В на 1500 и 1800 об./мин. Допускается эксплуатация двигателей в режиме S3, в режиме S4 – 60 % при 20 вкл./ч. Исполнение по взрывозащите: РВ 3В (ExdI). Степень защиты двигателей: IP54. Класс нагревостойкости изоляции: Н «монолит»</p>	<p>Для многодвигательного привода скребковых и ленточных конвейеров и проходческих комбайнов в угольных шахтах, опасных по газу и угольной пыли.</p>
<p>ЭДК4-75</p>  <p>ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ ТИПА ЭДК4.75</p>	<p>АД с КЗР, взрывозащищенный. ЭДК4-75. Для работы в режиме S4 – 60 % при 30 вкл./ч от сети переменного тока частотой 50 Гц на напряжение 380 и 660 В, с синхронной частотой вращения 1500 об./мин. Вид и уровень взрывозащиты: РВ 3В (ExdI). ЭДК4-40. Для работы в режиме S4 – 60 % при 30 вкл./ч от сети переменного тока частотой 50 и 60 Гц на одно из напряжений 500, 660 В с синхронной частотой вращения 1500 или 1800 об./мин. Степень защиты: IP54 Класс нагревостойкости изоляции: Н. Двигатель обеспечивает вид и уровень взрывозащиты РВ-3В (ExdI)</p>	<p>ЭДК4-75 – для привода комбайнов 2КЦТГ, «Кировец». ЭДК4-40 – для привода комбайна «Темп» и других механизмов, применяемых в угольных и сланцевых шахтах, опасных по газу (метан) и угольной пыли</p>

Вид	Характеристики	Применение
ЭДКВФ355-4 ЭДКВФ355-12/4	АД с КЗР, взрывозащищенные. Выполнены в исполнении: односкоростные и двухскоростные. Двигатели работают в режиме S1 от сети трехфазного переменного тока частотой 50 Гц на напряжение 1140 В. Исполнение по взрывозащите: РВ-ЗВ (ExdI). Степень защиты: IP55. Класс нагревостойкости изоляции: Н «монолит»	Для привода скребковых и ленточных конвейеров, перегружателей, проходческих комбайнов и других механизмов, работающих в угольных и сланцевых шахтах, опасных по содержанию газа и угольной (сланцевой) пыли
ЭДКОФВ315	АД с КЗР, взрывозащищенные. Режим работы: S1 от сети трехфазного переменного тока частотой 50 Гц на напряжение 1140/66 В. Допускается эксплуатация двигателей в режиме S4 – 60 % при 20 вкл./ч. Степень защиты электродвигателей: IP54	Для привода скребковых и ленточных конвейеров, выемочных агрегатов и проходческих комбайнов, работающих в угольных и сланцевых шахтах, опасных по газу и пыли
5ЭДКОФР250	АД с КЗР являются изделием специального назначения и изготавливаются в рудничном нормальном исполнении РН2. Номинальный режим работы: S3 (ПВ составляет 25 %), допускается работа в режиме S1 а также в режиме S4 (ПВ составляет 25 % при коэффициенте инерции (FJ) равным 2 с числом включений в час до 20). Степень защиты двигателя и коробки выводов от внешних воздействий: IP54. Класс нагревостойкости обмотки статора: Н	Для работы в качестве привода добычных комбайнов КДР-5, КДР-6 в горнорудной промышленности при невзрывоопасных условиях эксплуатации

Продолжение табл. 3.3

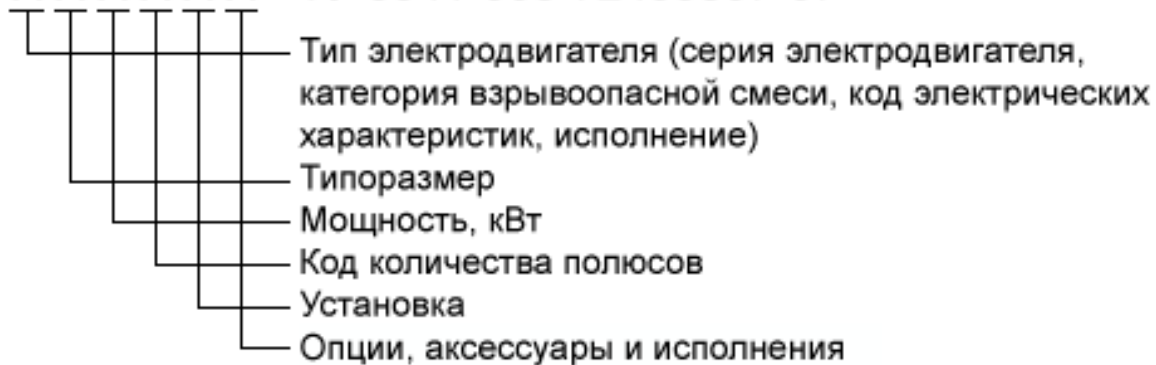
Вид	Характеристики	Применение
2ЭДКОФ(В)2502 ЭДКЛОФ250	<p>Трехфазные АД с КЗР, взрывозащищенные.</p> <p>2ЭДКОФ(В)2502. Режим работы: S1 от сети трехфазного переменного тока частотой 50 Гц и 60 Гц на 1500 и 1800 об./мин. Допускается эксплуатация двигателей в режиме S2 (ПВ 60 %), а также в режимах S3, S4 (ПВ 60 %). Степень защиты электродвигателей: IP54. Класс нагревостойкости изоляции: H.</p> <p>2ЭДКЛОФ250. Режим работы: S1. Допускается эксплуатация двигателей в режимах S3 и S4 (ПВ 60 %) при 20 вкл./ч . Степень защиты электродвигателей: IP54. Класс нагревостойкости изоляции: H</p>	<p>2ЭДКОФ(В)2502 – для многодвигательного привода скребковых и ленточных конвейеров, перегружателей и проходческих комбайнов.</p> <p>ЭДКЛОФ250 – для привода ленточных конвейеров эксплуатируемых в угольных и сланцевых шахтах, опасных по газу (метан) и угольной или сланцевой пыли</p>
4ЭДКО4-110 и 4ЭДКО4-120 4ЭДКО4-110-2	<p>Трехфазные АД с КЗР, взрывозащищенные</p>	<p>4ЭДКО4-110 и 4ЭДКО4-120 – для привода очистных комбайнов: 1К101У, 2К52МУ, КШКГУ.</p> <p>4ЭДКО4-110-2 – для привода проходческих комбайнов типа 4ПП и других механизмов, применяемых в угольных и сланцевых шахтах, опасных по газу (метан) и угольной пыли</p>

Вид	Характеристики	Применение
ЭДКВ400И2/4	<p>Трехфазные асинхронные взрывозащищенные с короткозамкнутым ротором, взрывобезопасные. Для режима работы S1 от сети переменного тока частотой 50 Гц. Исполнение двигателей по взрывозащите: РВ ЗВ (Exdl). Степень защиты двигателей: IP54. Класс нагревостойкости изоляции: Н «монолит»</p>	<p>Для привода шахтных скребковых конвейеров КДС-27 в подземных выработках угольных шахт, опасных по содержанию газа (метан) и угольной пыли</p>
<p>АОК2, АОК4</p> 	<p>АД обдуваемый с ФР (с контактными кольцами). Режим работы: продолжительный S1 от сети переменного тока. Вид климатического исполнения: У1. Степень защиты: корпуса и коробки выводов – IP44 или IP54; кожуха наружного вентилятора – IP20. Структура условного обозначения АОК2-560L8: АОК – асинхронные обдуваемый с фазным ротором; 2, 4 – номер серии; 560, 630 – габарит (высота оси вращения, мм); L, МА, LA, LH, LB – условная длина станины; 6, 8, 10 – число полюсов</p>	<p>Для главного привода механизмов с тяжелыми условиями пуска – прессов, ленточных транспортеров и других</p>
<p>ВАПК-280</p>	<p>Трехфазные АД с КЗР, взрывозащищенные Режим работы: S1, допускается работа электродвигателей в режиме S4 (ПВ 25 %) до 30 вкл./ч от сети трехфазного переменного тока частотой 50 Гц, напряжением 380/660 В и 500 В частотой 60 Гц. Степень защиты электродвигателей: IP54. Класс нагревостойкости изоляции: F. Исполнение по способу монтажа: IM1001</p>	<p>Для привода проходческих комбайнов ПК-8, ПК-10, ШБН и других, эксплуатируемых в угольных, сланцевых и соляных шахтах</p>

Вид	Характеристики	Применение
ЭВ5УС	Трехфазный АД с КЗР, взрывозащищенный. Режим работы: S4 (ПВ 90 %) при 150 вкл./ч от сети переменного тока частотой 50 Гц на одно из напряжений 660, 1000, 1140 В с синхронной частотой вращения 1500 об./мин. Степень защиты – IP54. Класс нагревостойкости изоляции: Н «монолит»	Для привода струговой установки УСЗ и других механизмов, применяемых в угольных и сланцевых шахтах, опасных по газу (метан) и угольной пыли
АВ, ДВ, НВ, АН 	Взрывозащищенные АД с КЗР серии АВ, АС, с видом защиты d, de; серии ДВ, ДС, НВ, НС: с видом защиты d, de с тормозом; неискрящие АД серии АН, АQ, АР	Среднее машиностроение (АЭС, обогатительные фабрики и т.д.)

ФОРМИРОВАНИЕ МАРКИРОВКИ

X X X X X X - ТУ 3341-008-72453807-07



Пример: HB50 CG 100LB 1,5 6 B3 /энкодер /датчики подшипника – ТУ 3341-008-72453807–07.

Тип электродвигателя: HB50CG. Тип базы: 100LB. Мощность, кВт: 1,5. Код количества полюсов: 6 (6 полюсов). Установка: B3. Опции, аксессуары и исполнения: **энкодер, датчики подшипника.**

ЛИТЕРАТУРА

1. Светличный, П. Л. Электропривод и электроснабжение горных машин / П. Л. Светличный. – М.: Недра, 1968. – 312 с.
2. Солод, В. И. Горные машины и автоматизированные комплексы / В. И. Солод, В. И. Зайков, К. М. Первов. – М.: Недра, 1981. – 502 с.
3. Москаленко, В. В. Автоматизированный электропривод / В. В. Москаленко. – М.: Высшая школа, 1986. – 460 с.
4. Чиликин, М. П. Основы автоматизированного электропривода / М. П. Чиликин [и др.]. – М.: Энергия, 1974. – 568 с.
5. Костенко, М. П. Электрические машины / М. П. Костенко, Л. П. Пиотровский; под ред. И. П. Копылова, Б. К. Клокова. – Л.: Энергия, 1973. – 500 с.
6. Справочник по электрическим машинам / под ред. И. П. Копылова, Б. К. Клокова. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 605 с.
7. Режим доступа: http://model.exponenta.ru/electro/IMG1/li_08006.jpg.
8. Режим доступа: http://electricalschool.info/uploads/posts/2009-03/1238260645_fazny1.jpg.
9. Режим доступа: http://electricalschool.info/uploads/posts/2009-03/1238261075_fazny2.jpg.
10. Режим доступа: <http://electricalschool.info/maschiny/259-asinkhronnye-jelektrodvigateli-s-faznym.html>.
11. Режим доступа: <http://el-mashin.narod.ru/pic/010.jpg>.

Учебное издание

КОНСТАНТИНОВА Светлана Валерьевна

**ЭЛЕКТРОПРИВОД
ГОРНЫХ МАШИН**

*Учебно-методическое пособие
для студентов дневного и заочного отделений
специальности 1-36 10 01 «Горные машины и оборудование»*

В 4 частях

Часть 1

Технический редактор *Д. А. Исаев*
Компьютерная верстка *Д. А. Исаева*

Подписано в печать 02.07.2013. Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага офсетная. Ризография.
Усл. печ. л. 3,84. Уч.-изд. л. 3,0. Тираж 100. Заказ 356.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет. ЛИ № 02330/0494349 от 16.03.2009. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.