

622.7(075)

С-91

А.П.СУХОРУЧКИН

# ЭЛЕКТРО- ОБОРУДОВАНИЕ ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ ФАБРИК

СРЕДНЕТЕХНИЧЕСКОЕ ОБРАЗОВАНИЕ



622.7 | 47227  
С-91 Суворовский А.П.  
Электрооборудова-  
ние самолётов  
на парашютах

Книга должна быть возвращена не  
позже указанного здесь срока

Количество предыдущих выдач \_\_\_\_\_

2005

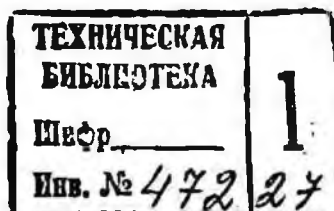
622.7(075)  
С-91

А.П.СУХОРУЧКИН

---

# ЭЛЕКТРО- ОБОРУДОВАНИЕ ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ ФАБРИК

*Допущено  
Главным управлением кадров  
и социального развития Министерства цветной  
металлургии СССР  
в качестве учебника  
для горно-металлургических техникумов*



МОСКВА "НЕДРА" 1989

---

ББК 31.29 : 33.4

С 91

УДК 622.7.002.5 — 83(075.32)

---

Рецензенты: кандидаты техн. наук *В.П. Забелин, В.И. Гудима*

С  $\frac{2501000000-373}{043(01)-89}$   
ISBN 5-247-00772-7

28-89 св. план  
для сред. спец.  
уч. заведений

© Издательство "Недра", 1989

Электрическая энергия—основной вид энергии, используемый для осуществления энергоемких процессов обогащения руд цветных металлов. Установленная мощность оборудования современных обогатительных фабрик достигает 150 тыс. кВт, мощность единиц оборудования продолжает наращиваться. Поэтому процессы совершенствования и развития применяемого на фабриках электротехнического и обогатительного оборудования тесно взаимосвязаны.

Так, создание более мощных и производительных дробилок (ККД-1500/160-250, КМДТ-2200Т<sub>2</sub>, КИД-1750 и др.), мельниц с самоизмельчением вместимостью до 200 м<sup>3</sup>, насосов типа ГРА, тяжелых конвейеров протяженностью до 2 км и крутонаправленных с углом наклона до 60° приводит к необходимости применения более мощных преобразователей электроэнергии, коммутационной и пусковой аппаратуры, электродвигателей, в том числе тихоходных и совмещенных с механическим оборудованием.

В свою очередь непрерывное совершенствование и создание новых видов электротехнического оборудования—доставляющего, преобразующего, распределяющего, регулирующего и потребляющего электроэнергию—позволяет более надежно и эффективно осуществлять процессы обогащения, улучшать условия труда на обогатительных фабриках, повышать квалификационный уровень эксплуатационного персонала.

Использованию электроэнергии на обогатительных фабриках предшествовали процессы создания и совершенствования источников электроэнергии, электрических двигателей и аппаратов.

Первый электрический двигатель был создан в 1834 г. проф. Б. С. Якоби. Работал он от источника постоянного тока. Однако трудности преобразования и передачи электроэнергии постоянного тока, несовершенство принципов управления первыми двигателями сдерживали массовое применение их в производстве. Открытие затем вращающегося магнитного поля, создаваемого переменным током, положило начало разработке многофазных систем.

М. О. Доливо-Добровольским в 1888—1891 гг. созданы трехфазная система переменного тока и первый трехфазный асинхронный электрический двигатель. Трехфазный двигатель получил широкое применение в нерегулируемых механизмах благодаря своей простоте, дешевизне и надежности. На действующих предприятиях системы электроснабжения стали переводить на переменный ток, на вновь строящихся фабриках применяли исключительно системы переменного тока. Для

механизмов с регулируемой скоростью использовали двигатели постоянного тока, но работающие уже в системе генератор—двигатель с приводным двигателем переменного тока.

Далее процессы совершенствования двигателей постоянного и переменного тока шли параллельно.

В начале 40-х годов появляются модульные конструкции систем постоянного тока, когда приводной двигатель с генератором и регулирующей аппаратурой объединены в общий блок.

К этому времени в СССР уже получили развитие система энергетического снабжения и отечественное аппаратостроение. Соответственно росла энерговооруженность труда, совершенствовались принципы управления электродвигателями постоянного и переменного тока, совершенствовались и сами электродвигатели.

Для управления двигателями постоянного тока стали применять электронные системы управления (газонаполненные выпрямители—тиратроны), совершенствовалась и система питания этих двигателей. Создаются электронно-вакуумные выпрямители. В 50-е годы для этой цели использовались полупроводниковые приборы—кремниевые диоды и управляемые вентили-тиристоры. С начала 60-х годов, когда появились мощные тиристоры, во всех электроприводах постоянного тока тиристорные преобразователи вытеснили существовавшую в течение полувека электромашинную систему генератор—двигатель.

В этот же период расширялись возможности управления электродвигателями переменного тока, что позволило применять их и для регулируемых механизмов. Росла мощность двигателей. На современных фабриках используют электродвигатели мощностью до 16 000 кВт.

Сегодня электрооборудование обогатительных фабрик представляет собой достаточно сложное хозяйство, технический уровень которого соответствует резко возросшим требованиям к качеству, эффективности и производительности обогатительных процессов. Чтобы максимально реализовать возможности технологического оборудования, технолог-обогатитель должен знать состав электрооборудования, принципы его действия и экономичного использования, условия его надежности и безопасной эксплуатации.

Ознакомить технолога-обогатителя с этими вопросами и является задачей книги.

# 1. ОСНОВЫ ТЕОРИИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

## 1.1. ПОНЯТИЕ ОБ ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ

Электроприводом называется электромеханическое устройство, состоящее из электродвигателя, передаточного механизма, аппаратуры управления, предназначенных для приведения в движение механизмов и машин.

Развитие электропривода связано с его разукрупнением, характеризуемым переходом от группового привода к одиночному.

При групповом приводе (рис. 1, *а*) исполнительные органы нескольких производственных машин *ПМ* или позднее отдельные исполнительные органы одной машины приводились в движение от одного электродвигателя *ЭД*. Осуществлялось это в первом случае посредством системы шкивов и ременных передач (трансмиссий), во втором — посредством громоздких механических связей.

Переход к одиночному приводу (рис. 1, *б, в*) означает расчленение оборудования на производственные машины *ПМ* или *ПМ* на ряд механизмов — исполнительных органов *ИО*, приводимых в движение отдельными электродвигателями *ЭД*. Примером этого может служить посекционный привод транспортера большой длины. Эти изменения привода привели к большому упрощению его кинематической схемы. Однако упрощение кинематики привода естественно привело к усложнению электропривода в целом.

## 1.2. НАЗНАЧЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Основные элементы электропривода: электродвигатель, передаточный механизм, аппаратура управления.

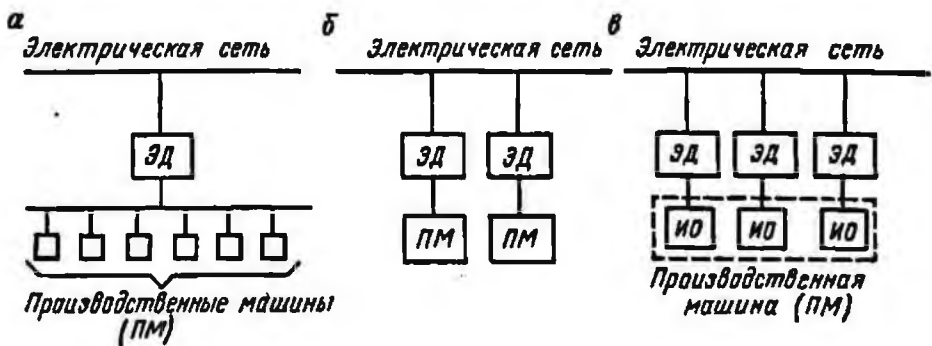


Рис. 1. Структурная схема электропривода

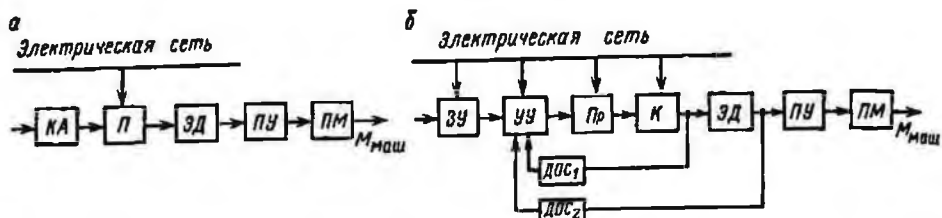


Рис. 2. Структурная схема управления электроприводом

*Электрический двигатель* предназначен для преобразования электрической энергии в механическую.

Переход к одиночному приводу позволил более полно использовать возможности каждой производственной машины или ее отдельного узла. Это, в свою очередь, привело к увеличению номенклатуры и числа применяемых электродвигателей.

Электродвигатели различаются: по роду тока (постоянного тока, переменного тока); величине питающего напряжения (до 1000 и выше 1000 В); исполнению (открытые, защищенные, закрытые и взрывозащищенные); способу монтажа (со щитовыми, стоячковыми, щитовыми и стоячковыми подшипниками, с вертикальным валом, спаренные); мощности; частоте вращения.

*Передаточный механизм.* Основное направление развития современного электропривода — переход к непосредственному соединению электродвигателя с производственной машиной без промежуточных передаточных механизмов. Однако большинство производственных машин работают на сравнительно невысоких частотах вращения (300 об/мин и менее). Электродвигатели, наоборот, по соображениям экономичности конструируют на значительно более высокие частоты — от 750 до 3000 об/мин. Кроме того, в отличие от электродвигателя, имеющего вращательное движение, рабочий орган машины может иметь поступательное движение. Поэтому производственная машина с электродвигателем в большинстве случаев соединяется промежуточным передаточным механизмом.

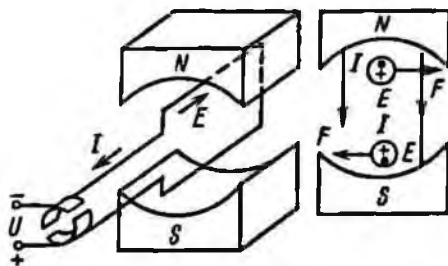
В зависимости от назначения и предъявляемых требований передаточный механизм может представлять собой: редуктор, ременную передачу, редуктор с барабаном или кривошипно-шатунным механизмом, различные виды соединительных муфт и др.

*Аппаратура управления.* Основные функции аппаратуры управления: включение и отключение электродвигателей; электрическая защита от перегрузки и коротких замыканий, от понижения напряжения и самозапуска; торможение и реверсирование электродвигателя; изменение и регулирование частоты вращения электродвигателя.

В зависимости от способа выполнения этих функций привод может быть неавтоматизированным и автоматизированным.



Рис. 3. Схема электрического двигателя



При неавтоматизированном приводе (рис. 2, а) указанные функции управления электродвигателем ЭД производственной машины ПМ реализуются оператором с помощью простейших командоаппаратов КА, пускателей П, передаточного узла ПУ, при автоматизированном приводе (рис. 2, б) — под влиянием физических процессов в электрических цепях. В этом случае оператор может осуществлять начальный запуск работы системы, состоящей из задающего ЗУ и управляющего УУ устройств, силового преобразователя Пр, коммутирующего аппарата К, датчиков обратной связи ДОС<sub>1</sub> и ДОС<sub>2</sub> электродвигателя ЭД, передаточного узла ПУ и производственной машины ПМ. В обоих случаях  $M_{\text{маш}}$  — момент на валу производственной машины.

### 1.3. МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ МАШИН

Упрощенная схема электрического двигателя (рис. 3) представляет собой проводник с током в виде рамки, вращающейся между полюсами N и S, создающими постоянное магнитное поле. Рамка вместе со стальным сердечником, в который она уложена, называется якорем двигателя. Концы рамки соединены с полукольцами, к которым прикладывается внешнее напряжение U.

Под действием приложенного напряжения U в рамке будет протекать ток I. В результате взаимодействия этого тока с магнитным полем полюсов возникает электромагнитная сила F. Под влиянием этой силы и соответствующего момента M верхний проводник рамки при данном направлении тока будет перемещаться вправо, нижний — влево (правило левой руки<sup>1</sup>). Когда проводники поменяются местами, направление тока в них изменится, а направление силы F и момента M останется прежним и т. д. Двигатель начнет вращаться с частотой  $n$ . По закону электромагнитной индукции при движении рамки с током в магнитном поле в верхнем

<sup>1</sup> Если расположить ладонь левой руки так, чтобы линии магнитного поля входили в ладонь, а вытянутые пальцы указывали направление тока в проводнике, то отведенный большой палец укажет направление движения проводника с током в магнитном поле.

и нижнем проводниках рамки индуктируются электродвижущие силы (ЭДС)  $E$ , направленные против тока  $I$ .

Электродвижущая сила  $E$  ограничивает ток  $I$  и обеспечивает необходимое равновесие между подводимой электрической энергией и получаемой механической энергией вращения. При этом часть подводимой электрической энергии расходуется еще и на нагрев проводников цепи рамки, обладающих определенным сопротивлением, называемым сопротивлением цепи якоря  $R_a$ . Строго говоря, существуют еще потери на нагрев стали якоря и потери на трение в подшипниках, но с достаточной для технических целей точностью этими потерями в дальнейшем можно пренебречь.

Реальный двигатель отличается от упрощенного числом пар полюсов, числом рамок и витков в рамках, способами соединения концов рамок и способами подведения внешнего питающего напряжения  $U$ . Общие же закономерности превращения энергии сохраняются и в равной степени относятся к двигателям постоянного и переменного тока.

Конструкция реального двигателя определяет зависимость частоты вращения двигателя от развиваемого им момента, т. е. его механическую характеристику  $n=f(M)$ .

Различают механические характеристики естественные и искусственные.

Естественной механической характеристикой называют зависимость  $n=f(M)$  при номинальных параметрах питающей сети, нормальной схеме включения и отсутствии добавочных сопротивлений в цепях двигателя.

Искусственная механическая характеристика представляет собой зависимость  $n=f_1(M)$  при условиях, отличных от номинальных: при питающем напряжении, отличном от номинального; при наличии добавочного сопротивления в цепях двигателя или включении двигателя по специальной схеме.

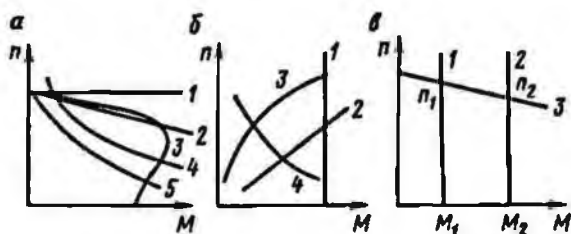
Механические характеристики различают по жесткости, т. е. по степени изменения частоты вращения двигателя при увеличении вращающего момента. Критерием оценки жесткости служит крутизна  $\beta$ , %:

$$\beta = \frac{\Delta n}{\Delta M} 100.$$

Механические характеристики различных типов двигателей могут быть разбиты на три группы (рис. 4, а):

1. Абсолютно жесткая — синхронных двигателей (кривая 1);
2. Жесткая характеристика со сравнительно небольшим падением частоты вращения при возрастании момента,  $\beta = 1 \div 10\%$ , — двигателей постоянного тока с независимым возбуждением (кривая 2) и линейная часть характеристики асинхронных двигателей (кривая 3);
3. Мягкая характеристика с большим падением частоты

Рис. 4. Механические характеристики двигателей и производственных механизмов



вращения при увеличении момента,  $\beta > 10\%$ , — двигателей постоянного тока с последовательным возбуждением (кривая 4), постоянного тока со смешанным возбуждением (кривая 5), нелинейная часть характеристики асинхронных двигателей (кривая 3). Механическая характеристика двигателя должна обеспечить наиболее благоприятное протекание режимов работы производственной машины. Для этого необходимо знать еще и механическую характеристику производственной машины, т. е. зависимость частоты вращения от статического момента сопротивления машины  $n = f^i(M_{ст. маш})$  или приведенную к валу двигателя  $n = f(M_{ст.})$ .

Механические характеристики производственных машин также могут быть разбиты на четыре группы (рис. 4, б):

1. Характеристика не зависит от частоты вращения — подъемные краны, лебедки, поршневые насосы при неизменной высоте подачи, конвейеры с постоянной массой передвигаемого материала, а также механизмы, у которых основной момент сопротивления — это момент трения, мало изменяющийся в пределах рабочих частот вращения (кривая 1);

2. Характеристика с линейным возрастанием момента с увеличением частоты вращения — генераторы, работающие на постоянную нагрузку (кривая 2);

3. Нелинейно-возрастающая характеристика с параболической зависимостью от частоты вращения — вентиляторы, центробежные насосы, гребные винты (кривая 3);

4. Нелинейно-спадающие характеристики с обратно-пропорциональной зависимостью от частоты вращения — некоторые токарные и фрезерные станки (кривая 4).

Установившемуся режиму совместно работающих электродвигателя и производственной машины соответствует равновесие момента сопротивления машины и вращающего момента двигателя при определенной частоте вращения, т. е.  $M = M_{ст.}$ . На рис. 4, в приведена механическая характеристика двигателя постоянного тока с независимым возбуждением (прямая 3) и механическая характеристика конвейера в холостом режиме (прямая 1). Данный график означает, что момент двигателя  $M$  равен моменту сопротивления  $M_1$  конвейера в холостом режиме и двигатель работает с частотой вращения  $n_1$ .

Если конвейер нагрузить, то его механическая характеристика сместится вправо и будет иметь вид прямой 2, т. е. момент сопротивления его возрастет и станет равным  $M_2$ .

При этом с увеличением нагрузки частота вращения двигателя начнет уменьшаться. В связи с этим начинает уменьшаться и ЭДС, направленная против тока якоря. При неизменном напряжении питания это приведет к возрастанию тока якоря и соответственно момента, развиваемого двигателем. Ток и момент будут возрастать до тех пор, пока не наступит равновесие  $M=M_2$ , т. е. установится режим, соответствующий точке  $n_2$ .

Таким образом, установившийся режим всегда соответствует точке пересечения механических характеристик электродвигателя и производственной машины.

#### 1.4. МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА С НЕЗАВИСИМЫМ ВОЗБУЖДЕНИЕМ

В двигателях постоянного тока с независимым возбуждением якорь двигателя и обмотка возбуждения получают питание от разных источников напряжения (рис. 5, а). При наличии сети постоянного тока обмотка возбуждения может питаться от того же источника, что и якорь двигателя. Такой двигатель называют двигателем с параллельным возбуждением. Но и в этом случае ток возбуждения  $I_b$  не зависит от тока  $I$  якоря двигателя.

Аналитическое выражение механической характеристики двигателя получают из уравнения равновесия напряжений в якорной цепи схемы (см. рис. 5, а). При установившемся режиме работы двигателя приложенное напряжение  $U$  уравновешивается падением напряжения в якорной цепи  $IR$  и наведенной в якоре ЭДС  $E$ :

$$U = IR + E, \quad (1)$$

где  $R$  — суммарное сопротивление якорной цепи, включающее внешнее сопротивление резистора  $R_{вн}$  и внутреннее сопротивление якоря двигателя  $R_a$ .

Величина ЭДС  $E$  функционально связана с магнитным потоком полюсов  $\Phi$  и частотой вращения  $n$ :

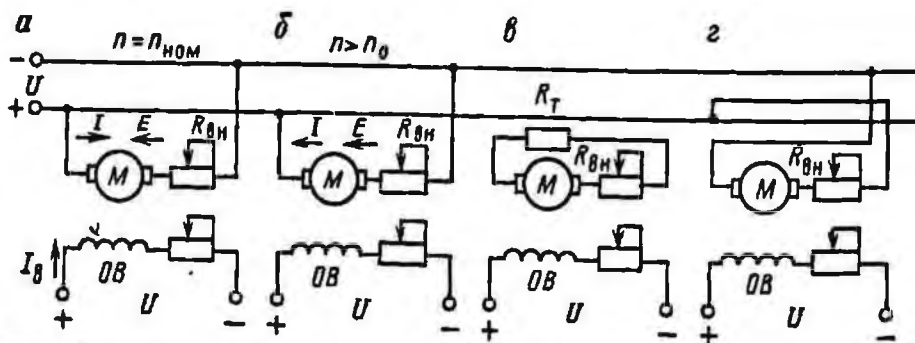


Рис. 5. Схемы включения двигателя постоянного тока независимого возбуждения при разных режимах работы

$$E = k_E \Phi n, \quad (2)$$

где  $k_E$  — коэффициент, зависящий от конструкции двигателя.

Подставим уравнение (2) в уравнение (1):

$$U = IR + k_E \Phi n, \quad (3)$$

откуда для частоты вращения  $n$  будем иметь

$$n = \frac{U - IR}{k_E \Phi}. \quad (4)$$

Полученная зависимость частоты вращения от тока якоря называется электромеханической характеристикой двигателя.

Момент, развиваемый двигателем, связан с магнитным потоком полюсов и током якоря зависимостью:

$$M = k_M \Phi I, \quad (5)$$

откуда

$$I = M / (k_M \Phi), \quad (6)$$

где  $k_M$  — коэффициент, зависящий от конструкции двигателя.

Подставив значение  $I$  из (6) в формулу (4), получим выражение механической характеристики двигателя:

$$n = \frac{U}{k_E \Phi} - \frac{R}{k_E k_M \Phi^2} M.$$

При неизменных  $U$ ,  $\Phi$  и  $R$  механическая характеристика двигателя постоянного тока с независимым или параллельным возбуждением будет иметь вид прямой линии.

В случае, если  $R_{вв} = R_{вв1} = 0$  механическая характеристика называется естественной механической характеристикой (рис. 6, квадрант I, прямая 1). На этом же рисунке представлены механические характеристики этого двигателя при различных сопротивлениях  $R_{вв2}$  и  $R_{вв3}$  в якорной цепи (прямые 2 и 3). Эти характеристики называют искусственными механическими характеристиками.

Если момент сопротивления производственной машины и соответствующий ему момент двигателя  $M_{ст} = 0$ , то ток в двигателе  $I = 0$ , приложенное напряжение  $U$  уравновешивается ЭДС  $E$ , а скорость двигателя равна  $n_0$  и называется скоростью идеального холостого хода.

При появлении момента сопротивления на валу двигателя частота вращения его будет падать. Следствием этого будет уменьшение ЭДС в соответствии с уравнением (2) и увеличение тока якоря в соответствии с уравнением (3). Частота вращения будет уменьшаться до величины  $n_1$ , когда момент двигателя сравняется с моментом сопротивления (точка A на рис. 6). Величина  $\Delta n = n_0 - n_1$  называется статическим падением частоты вращения электропривода.

Точка  $M_n$  соответствует режиму короткого замыкания

двигателя, когда частота вращения его равна нулю. Такой режим возникает при пуске двигателя.

В зависимости от назначения привода двигатель может также работать в трех режимах торможения:

1. С отдачей энергии в сеть, или рекуперативное торможение (схема включения двигателя та же, что и в двигательном режиме, см. рис. 5, а, б);

2. Динамическое (схема включения, см. рис. 5, в);

3. Противовключением (схема включения, рис. 5, г).

*Торможение с отдачей энергии в сеть* (см. рис. 5, б) осуществляется, когда частота вращения двигателя оказывается выше частоты вращения идеального холостого ( $n > n_0$ ). При этом ЭДС  $E$  становится больше напряжения  $U$  и ток в якоре меняет направление:

$$U = E + IR; \quad I = -(E - U)/R.$$

Следовательно, меняет знак и момент двигателя, т. е. он становится тормозным:

$$M = -k_M \Phi I = M_T.$$

Двигатель при этом работает в режиме генератора, отдавая энергию в сеть.

Такой способ торможения возможен, например в подъемных механизмах при спуске груза, когда груз разгоняет двигатель до частоты вращения  $n > n_0$ . Данному режиму соответствует участок механической характеристики двигателя, расположенный в квадранте II (см. рис. 6):

$$n = \frac{U}{k_E \Phi} + \frac{R}{k_E k_M \Phi^2} M_T.$$

Чем больше сопротивление в цепи якоря, тем больше скорость в генераторном режиме при том же тормозном моменте.

*Динамическое торможение* (см. рис. 5, в) происходит при отключении двигателя от сети и замыкании его на тормозное сопротивление  $R_T$ . В этом случае двигатель также работает в генераторном режиме, только запасенная в двигателе кинетическая энергия отдается не в сеть, а выделяется в виде тепла в резисторах цепи якоря:

$$U = 0; \quad I = -E/R; \quad M = -k_M \Phi I = M_T.$$

Механические характеристики двигателя в режиме динамического торможения при различных тормозных сопротивлениях  $R_{T1}$ ,  $R_{T2}$  и  $R_{T3}$  тоже расположены во II квадранте, но проходят через начало координат (см. рис. 6, прямые 4, 5, 6):

$$n = \frac{R}{k_E k_M \Phi^2} M_T.$$

Динамическое торможение также применяется при спусках груза в подъемных механизмах.

Торможение противоключением (см. рис. 5, з) осуществляется в случае, когда якорь двигателя вращается в том же направлении, в каком он вращался в двигательном режиме, а напряжение  $U$  на зажимах якоря меняет знак. В этом случае меняет знак и ток якоря:

$$-U = E - IR; \quad I = (U + E)/R$$

и двигатель будет развивать тормозной момент  $M_T$ .

Уравнение механической характеристики будет иметь вид

$$n = -\frac{U}{k_E \Phi} + \frac{R}{k_E k_M \Phi^2} M_T$$

и характеристика проходит через точку  $-n_0$ , соответствующую частоте вращения идеального холостого хода при данной полярности напряжения на зажимах якоря двигателя (см. рис. 6). Режим работы двигателя будет соответствовать точке  $B$  этой характеристики (квадрант II). При данном режиме необходимо включить в цепь якоря дополнительное сопротивление для ограничения тока и тормозного момента.

Под влиянием тормозного момента частота вращения начнет падать по прямой  $BC$  до нуля. В это время необходимо двигатель отключить. Если его не отключить, то он начнет разгоняться в обратном направлении до частоты вращения  $-n_2$ , соответствующей  $-M_{ст}$  (см. рис. 6, квадрант III).

Торможение противоключением, как и два предыдущих режима торможения, может использоваться при опускании груза. При этом момент сопротивления  $M'_{ст} > M_n$  и режим работы двигателя соответствует точке  $D$  механической характеристики (см. рис. 6, квадрант IV) и частоте вращения  $-n_3$ .

### 1.5. МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА С ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫМ ВОЗБУЖДЕНИЕМ

Уравнение электромеханической характеристики двигателя постоянного тока с последовательным возбуждением (рис. 7, а) будет иметь тот же вид, что и для двигателя с независимым возбуждением:

$$n = \frac{U - IR}{k_E \Phi},$$

где  $R$  — суммарное сопротивление якорной цепи, включающее

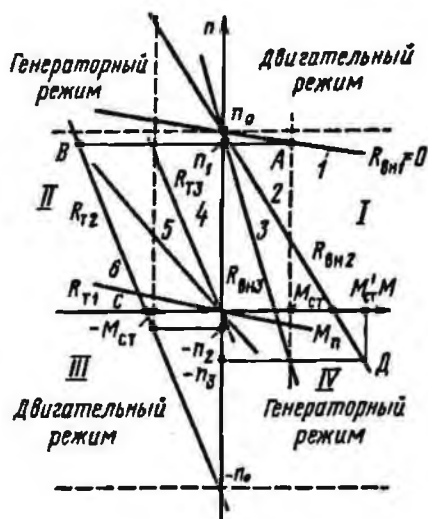


Рис. 6. Механические характеристики двигателя постоянного тока независимого возбуждения при разных режимах работы

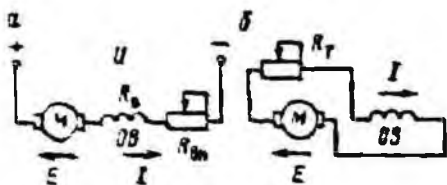


Рис. 7. Схемы включения двигателя постоянного тока последовательного возбуждения при разных режимах

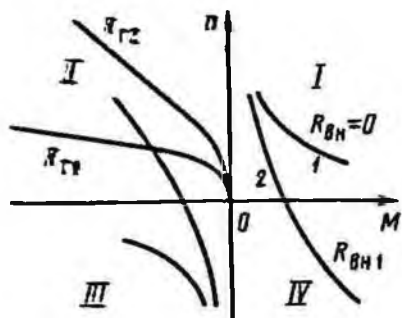


Рис. 8. Механические характеристики двигателя постоянного тока последовательного возбуждения при разных режимах

внешнее сопротивление резистора  $R_{вн}$ , сопротивление обмотки возбуждения  $R_{в}$  и внутреннее сопротивление якоря  $R_a$  двигателя.

Однако здесь магнитный поток есть функция тока якоря

$$\Phi = \alpha I.$$

Тогда для момента двигателя получим

$$M = k_M \Phi I = \alpha k_M I^2$$

и уравнение механической характеристики будет иметь вид

$$n = \frac{U}{\alpha k_E \sqrt{M / \alpha k_M}} - \frac{R}{\alpha k_E} = \frac{A}{\sqrt{M}} - B. \quad (7)$$

На рис. 8 приведены естественная ( $R_{вн}=0$ , кривая 1) и искусственная ( $R_{вн}=R_{вн1}$ , кривая 2) характеристики двигателя постоянного тока с последовательным возбуждением (квадранты I и III). Для механической характеристики двигателя с последовательным возбуждением характерна ее большая крутизна в области малых значений момента. Работа двигателя при нагрузках меньших 15—20% номинальной невозможна из-за чрезмерного увеличения частоты вращения якоря.

Уравнение (7) дает лишь представление о механической характеристике двигателя с последовательным возбуждением. Реальные характеристики отличаются от неё из-за специфики



магнитных систем современных двигателей и строятся графо-аналитическим способом по каталожным естественным характеристикам двигателей.

Для двигателей последовательного возбуждения возможны два тормозных режима: противовключением и динамическое.

Механические характеристики, соответствующие режиму противовключения, находятся во II и IV квадрантах и строятся по тому же принципу, что и для двигателя с независимым возбуждением.

Механические характеристики, соответствующие режиму динамического торможения и разным тормозным сопротивлениям  $R_{т1}$  и  $R_{т2}$ , расположены во II квадранте. Схема включения двигателя в этом режиме приведена на рис. 7, б. Во избежание размагничивания обмотки возбуждения ее следует включать так, чтобы ток в ней не изменял направления.

Торможение с отдачей энергии в сеть в данном случае невозможно, так как в соответствии с выражением

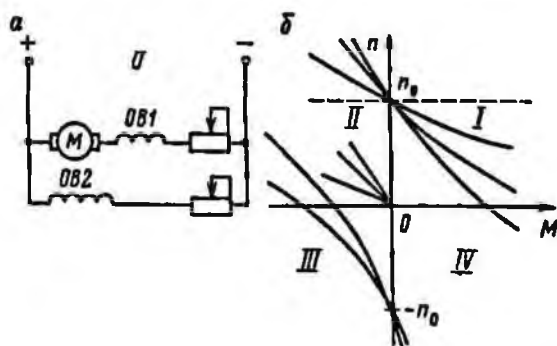
$$E = k_E \Phi n = k_E \alpha \sqrt{M / \alpha k_M n},$$

при увеличении  $n$  уменьшается  $M$  и ЭДС  $E$  не может быть больше напряжения в сети.

## 1.6. МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА СО СМЕШАННЫМ ВОЗБУЖДЕНИЕМ

Двигатель  $M$  постоянного тока со смешанным возбуждением имеет две обмотки возбуждения (рис. 9, а): последовательную  $OB1$  и независимую  $OB2$ . Поскольку магнитный поток возбуждения меняется с изменением нагрузки, механическая характеристика двигателя не имеет аналитического выражения и занимает промежуточное положение между соответствующими характеристиками двигателей независимого и последовательного возбуждения (квадранты I, III, рис. 9, б). Естественные характеристики двигателей со смешанным возбуждением приводятся в соответствующих каталогах. В отличие от двигателя с последовательным возбуждением двигатель со смешанным возбуждением имеет конечное значение частоты вращения идеального холостого хода. Эта частота вращения определяется

Рис. 9. Схема включения и механические характеристики двигателя постоянного тока смешанного возбуждения



магнитным потоком  $\Phi_{н.0}$ , созданным независимой обмоткой,

$$n_0 = \frac{U}{k_E \Phi_{н.0}}$$

Для двигателей со смешанным возбуждением возможны все три режима торможения: противовключением (квадранты II, IV), динамическое (квадрант II) и с отдачей энергии в сеть (квадранты II, IV).

Чтобы избежать размагничивания последовательной обмотки в режиме торможения с отдачей энергии в сеть (т. е. при изменении направления тока якоря), в момент перехода частоты вращения через точку  $n = n_0$  последовательную обмотку возбуждения шунтируют. Поэтому эта часть механической характеристики двигателя линейна. Механическая характеристика в режиме динамического торможения также линейна, так как торможение осуществляется лишь с независимой обмоткой возбуждения.

Характеристики при торможении противовключением, как и в двигательном режиме, нелинейны вследствие изменения магнитного потока возбуждения при изменяющейся нагрузке.

## 1.7. МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Трехфазные асинхронные двигатели переменного тока широко применяются на обогатительных фабриках и имеют ряд существенных преимуществ по сравнению с другими типами двигателей. Они просты и надежны в эксплуатации, дешевле и легче двигателей постоянного тока.

Механическая характеристика асинхронного двигателя характеризуется выражением

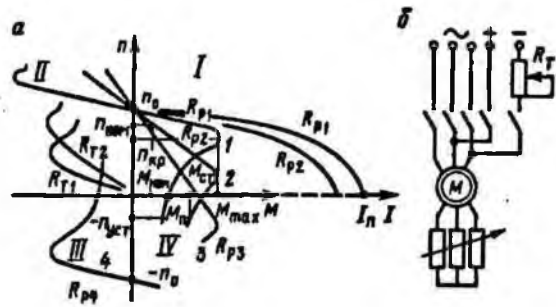
$$M = \frac{3U_\phi^2 R_2'}{n_0 [(R_1 + R_2'/s)^2 + (X_1 + X_2')^2] s}, \quad (8)$$

где  $U_\phi$  — фазное питающее напряжение;  $R_1$ ,  $R_2'$  — приведенные сопротивления, характеризующие активные сопротивления статора и ротора двигателя;  $X_1$ ,  $X_2'$  — приведенные сопротивления, характеризующие индуктивные сопротивления рассеяния;  $s = (n - n_0)/n_0$  — скольжение двигателя, характеризующее жесткость механической характеристики.

Механические характеристики асинхронного двигателя в двигательном режиме при разных сопротивлениях.  $R_{p1}$ ,  $R_{p2}$ ,  $R_{p3}$  и  $R_p$  представлены в квадрантах I, III рис. 10, а (кривые 1, 2, 3 и 4). В точке, соответствующей  $n_{кр}$ , двигатель имеет максимальный момент  $M_{max}$ . Этой точке соответствует критическое скольжение  $s_{кр}$ :

$$s_{кр} = \frac{R_2'}{\sqrt{(X_1 + X_2')^2 + R_1^2}} \quad (9)$$

Рис. 10. Механические характеристики и схема включения асинхронного двигателя



К другим характерным точкам механической характеристики относятся следующие:

1.  $s=0$ , когда скорость двигателя равна синхронной  $n_0$ , а момент  $M=0$ ;
2.  $s=s_{ном}$ , что соответствует номинальной частоте вращения  $n_{ном}$  и номинальному моменту  $M_{ном}$ ;
3.  $s=1$ , когда момент двигателя равен пусковому моменту

$$M_{п} = \frac{3U_{\phi}^2 R_2'}{n_0 [(R_1 + R_2')^2 + (X_1 + X_2')^2]}, \text{ а частота вращения } n=0.$$

С уменьшением активного сопротивления ротора уменьшается номинальное скольжение и соответственно увеличивается жесткость характеристики. Поэтому наименьшее номинальное скольжение, или наибольшую жесткость, при прочих равных условиях имеют двигатели с короткозамкнутым ротором. У этих двигателей сопротивление короткозамкнутой обмотки ротора, напоминающей беличью клетку, имеет небольшое значение. По этой же причине у этих двигателей меньше и критическое скольжение  $s_{кр}$ .

Если подставим уравнение (9) в (8), то получим выражение для максимального момента

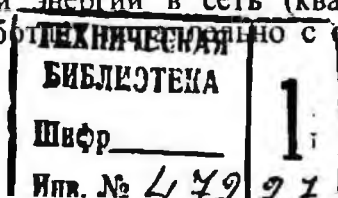
$$M_{max} = \frac{3U_{\phi}^2}{2n_0 [R_1 + \sqrt{R_1^2 + (X_1 + X_2')^2}]},$$

из которого следует, что максимальный момент от активного сопротивления ротора  $R_2'$  не зависит (рис. 10, а).

Необходимо отметить еще два важных для практики свойства асинхронного двигателя, вытекающие из его механической характеристики. Как видно из уравнения (8), при данном скольжении момент двигателя пропорционален квадрату напряжения, т. е. двигатель этого типа чувствителен к колебаниям напряжения сети. Синхронная частота вращения и критическое скольжение не зависят от напряжения.

Для асинхронного двигателя возможны все три известных тормозных режима: с отдачей энергии в сеть, динамическое и противовключением.

В режиме с отдачей энергии в сеть (квадранты II и IV рис. 10, а) двигатель работает совместно с сетью с частотой вращения  $n > n_0$ .



Динамическое торможение осуществляется подключением двух фаз обмотки статора к сети постоянного тока. Обмотка ротора при этом замыкается на тормозное сопротивление (рис. 10, б), механическая характеристика для этого режима и разных тормозных сопротивлений приведена в нижней части квадранта II (см. рис. 10, а).

Режим торможения противовключением может быть получен в двух случаях:

1. При статическом моменте сопротивления  $M_{ст}$  большем пускового момента  $M_{п}$  и сопротивлении  $R_{р2}$ , включаемом в цепь ротора для ограничения тока и момента; этому режиму (см. рис. 10, а, квадрант IV) может соответствовать установившееся движение со скоростью  $-n_{уст}$ .

2. При переключении двух фаз статорной обмотки — механическая характеристика расположена в II квадранте (см. рис. 10, а, кривая 4).

На практике чаще применяют торможение противовключением или динамическое, в основном для подъемных механизмов.

## 1.8. МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Синхронные двигатели работают с постоянной частотой вращения. Поэтому их применяют для приводов, не требующих регулирования частоты вращения. К таким приводам относятся приводы компрессоров, дробилок и др.

Частота вращения синхронного двигателя  $M$ , схема включения которого приведена на рис. 11, а, не зависит от нагрузки на валу и равна синхронной частоте вращения двигателя

$$n_0 = 60f/p,$$

где  $p$  — конструктивный параметр двигателя, определяющий число пар полюсов;  $f$  — частота сети.

Поэтому механическая характеристика синхронного двигателя имеет вид, представленный на рис. 12, а.

Если момент нагрузки превысит  $M_{max}$  для данного двигателя, то последний может выпасть из синхронизма и показанная на рис. 12, а зависимость  $n$  от  $M$  нарушится. В этом обстоятельстве важную роль играет угол  $\theta$ , на который ЭДС двигателя отстает по фазе от напряжения сети (рис. 12, б) из-за потерь электроэнергии в активном сопротивлении статора  $R_1$  и потерь, связанных с рассеянием его магнитного потока, характеризующихся индуктивным сопротивлением статора  $X_1$ .

Зависимость момента синхронного двигателя от угла  $\theta$  носит название угловой характеристики (рис. 12, в), которая описывается уравнением  $M = M_{max} \sin \theta$ . С увеличением нагрузки растут потери и угол  $\theta$  возрастает. При этом вначале

Рис. 11. Схемы включения синхронного двигателя при разных режимах

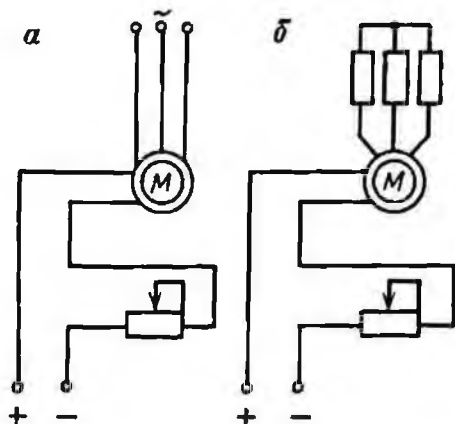
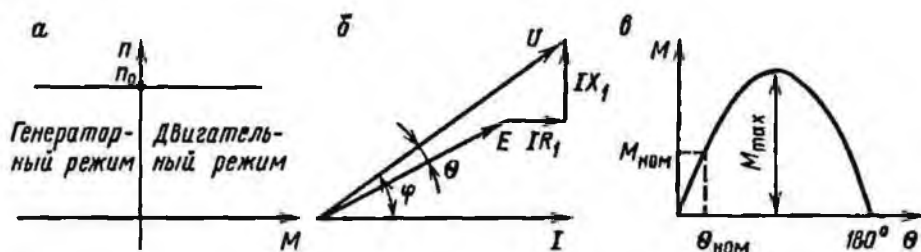


Рис. 12. Характеристики синхронного двигателя



с увеличением угла  $\theta$  растет и развиваемый двигателем момент, что удовлетворяет требованию устойчивой работы двигателя. В правой части графика (см. рис. 12, в) при  $\theta > 90^\circ$  условие устойчивой работы двигателя нарушается, так как при увеличении нагрузки угол  $\theta$  продолжает увеличиваться, а момент, развиваемый двигателем, уменьшается, вследствие чего двигатель выпадает из синхронизма.

Номинальному моменту двигателя  $M_{\text{ном}}$  практически соответствует угол  $\theta_{\text{ном}} = 30 \div 25^\circ$ . При этом кратность максимального момента к номинальному  $M_{\text{max}}/M_{\text{ном}} = 2 \div 2,5$ . В специальных двигателях это значение может достигать 3,5—4.

Из-за упомянутых выше потерь электроэнергии в двигателе ток статора отстает по фазе от напряжения сети на угол  $\varphi$  (см. рис. 12, б). Однако при перевозбуждении двигателя ток статора может стать опережающим. При этом угол  $\varphi$  станет отрицательным и двигатель будет работать генератором реактивной энергии. В этом режиме двигатель используется обычно на предприятиях для компенсации потерь электроэнергии в питающих сетях и в электроприемниках, вызванных рассеянием электромагнитных потоков.

Для торможения синхронного двигателя применяют обычно режим динамического торможения, при котором обмотка статора отключается от сети и замыкается на резисторы (см. рис. 11, б). Механические характеристики в этом случае подобны механическим характеристикам асинхронного двигателя при

динамическом торможении. Тормозной момент и соответственно время торможения зависят от сопротивления резисторов в статорной цепи.

### 1.9. ПУСК ДВИГАТЕЛЕЙ

Двигатель постоянного тока пускается при включенных в цепь ротора дополнительных пусковых сопротивлениях  $R_n$  (рис. 13, а). Это позволяет ограничить пусковой ток двигателей  $I_n$ , который можно определить из выражения (3), приняв  $R = R_n + R_n$  и  $n = 0$ :  $I_n = \frac{U}{R_n + R_n}$ . В данном случае

двигатель работает на искусственной (реостатной) характеристике. Точки пересечения реостатных характеристик с осью абсцисс соответствуют режиму короткого замыкания, при котором угловая скорость двигателя, подключенного к источнику напряжения, равна нулю.

Схематично пуск двигателя  $M$  постоянного тока независимо возбуждения представлен на рис. 13, б. Пусковой момент по условиям коммутации принимается обычно  $(2 \div 2,5) M_{ном}$ .

Пуск двигателя состоит в том, что в начале замыкается контакт контактора  $KM$  (см. рис. 13, а, б). При этом момент на валу двигателя равен  $M_n$ . Далее в соответствии с характеристикой 1—2 двигатель увеличивает частоту вращения до значения, определяемого точкой 2. В это время замыкается контакт контактора  $KM1$  и выводит первую ступень резистора. Поскольку из-за инерционности двигателя частота вращения его не может измениться мгновенно, переход на новую характеристику происходит по линии 2—3. При этом момент вновь мгновенно возрастает до значения  $M_n$ . Далее двигатель будет увеличивать угловую скорость соответственно по характеристике 3—4 до точки 4, когда замкнется контакт контактора  $KM2$  и произойдет переход на следующую характеристику. После замыкания контакта контактора  $KM3$  наступает переход на естественную характеристику 6—7.

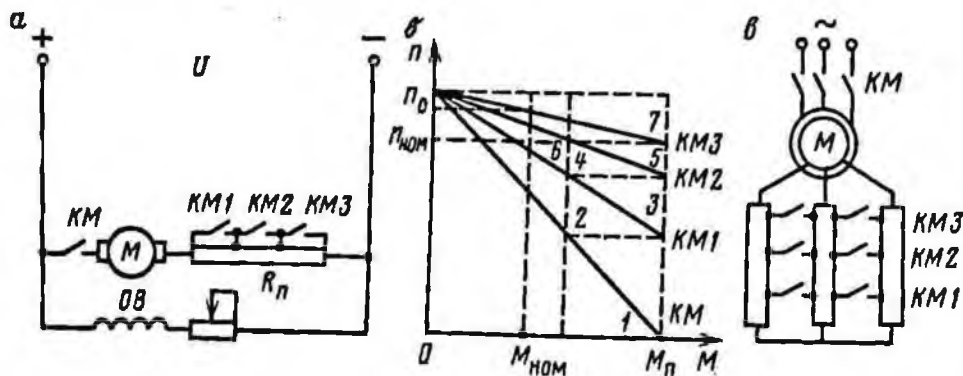
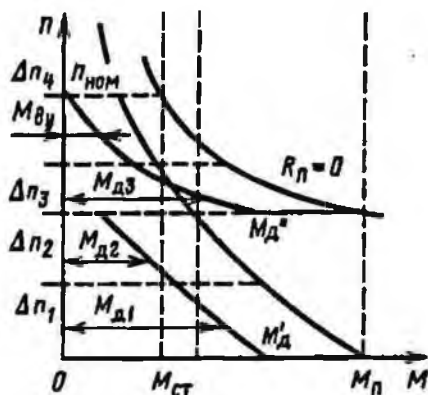


Рис. 13. Схемы пуска двигателя постоянного и переменного тока

Рис. 14. График пуска двигателя постоянного тока последовательного возбуждения



Если при пуске нагрузка на валу двигателя соответствует номинальному моменту, то двигатель по окончании пуска работает на естественной характеристике со скоростью  $n_{ном}$ .

Если двигатели работают в условиях частых пусков и остановок, то время их разбега при пуске имеет большое значение. Для двигателей постоянного тока с независимым или параллельным возбуждением, имеющих линейные механические характеристики, время разбега  $t_x$  на каждой ступени пускового сопротивления может быть определено из выражения  $t_x =$

$$= T_{м.х} \ln \frac{I_n - I_{ном}}{I_1 - I_{ном}}, \text{ где } I_n, I_{ном}, I_1 \text{ — соответственно пусковой,}$$

номинальный и ток переключения;  $T_{м.х} = J \frac{n_0}{M_{п.х}} \frac{2\pi}{60}$  — электро-

механическая постоянная времени двигателя для соответствующей ступени, характеризующая инерционность двигателя;  $J = m \frac{r^2}{2}$  — момент инерции двигателя;  $m$  — масса якоря двигателя;  $r$  — радиус якоря двигателя;  $M_{п.х}$  — момент пусковой для соответствующей ступени пускового сопротивления.

Общее время пуска двигателя получим суммированием  $t_x$  всех ступеней:  $t_n = \sum t_x$ .

Процесс пуска двигателей постоянного тока с последовательным и смешанным возбуждением аналогичен описанному выше. Поскольку механические характеристики этих двигателей нелинейны, время разбега их при пуске определяется графоаналитическим методом. При этом исходят из того, что разгон двигателя происходит под действием динамического момента, равного разности текущего момента двигателя и статического момента сопротивления (рис. 14):  $M_{дин}(n) = M(n) - M_{ст}$ .

Первой ступени пускового сопротивления  $R_n$  соответствует кривая динамического момента  $M'_d$ , второй — кривая динамического момента  $M''_d$ . Обе кривые разбивают на участки и принимают, что в пределах каждого участка динамические моменты постоянны и равны соответственно  $M_{d1}$ ,  $M_{d2}$ ,

$M_{д3}$  и  $M_{д4}$ . Тогда время разгона двигателя на каждом участке динамического момента  $\Delta t_i = J \frac{\Delta n_i}{M_{дi}} \frac{2\pi}{60}$ , где  $i=1, \dots, 4$ . Полное время разгона двигателя при пуске получаем суммированием  $\Delta t_i$ :  $t_{п} = \sum \Delta t_i$ , где  $i=1, \dots, 4$ .

Чем на большее число участков делят кривые динамического момента, тем точнее определяют время пуска  $t_{п}$ .

Асинхронный двигатель с фазным ротором, как и двигатель постоянного тока, пускается при включенных в цепь ротора дополнительных пусковых сопротивлениях (см. рис. 13, в). При этом начальный пусковой момент возрастает по мере увеличения пускового сопротивления до известных пределов (см. рис. 10, а), а пусковой ток при увеличении сопротивления уменьшается. Начальный пусковой момент может быть доведен до максимального момента  $M_{max}$ . С дальнейшим ростом сопротивления роторной цепи пусковой момент уменьшается.

Процесс пуска осуществляется с помощью контакторов  $KM, KM1-KM3$  и аналогичен пуску двигателя постоянного тока.

Асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором имеют неблагоприятное сочетание пускового момента и пускового тока. Кратность начального пускового момента у них  $k_n = M_n / M_{ном} = 1 \div 1,8$ , а кратность пускового тока  $k_I = I_n / I_{ном} = 5 \div 7$ .

Для повышения начального пускового момента и снижения пускового тока применяют двигатели с короткозамкнутым ротором специальных конструкций. Роторы таких двигателей имеют две «беличьи клетки», расположенные концентрически, или глубокие пазы с высокими и узкими стержнями. Сопротивление ротора этих двигателей в пусковой период значительно больше, чем при номинальной частоте вращения, вследствие поверхностного эффекта, обусловленного повышенной частотой тока в роторе при больших скольжениях. Поэтому при переходе к двигателям с глубоким пазом или двойной обмоткой ротора существенно увеличивается кратность пускового момента и снижается кратность пускового тока.

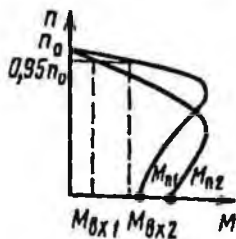


Рис. 15. Пусковые характеристики синхронного двигателя

Время разгона двигателя при пуске можно определить графоаналитическим методом.

Синхронный двигатель имеет в роторе, кроме нормальной рабочей обмотки, питаемой постоянным током, еще и специальную пусковую короткозамкнутую обмотку. С помощью этой обмотки двигатель пускается в ход как асинхронный, и поэтому в пусковых режимах он обладает асинхронной характеристикой. На пусковых характери-



ках синхронного двигателя (рис. 15) особо важными являются два значения момента:  $M_n$  — пусковой момент для обеспечения трогания привода с места и  $M_{вх}$  — входной момент, т. е. момент при скорости  $0,95 n_0$ , когда подачей возбуждения можно заставить двигатель войти в синхронизм. Для благоприятного вхождения ротора в синхронизм входной момент должен быть больше статического момента нагрузки.

Выбор конкретной пусковой характеристики зависит от момента нагрузки, создаваемого производственным механизмом. Привод шаровых мельниц характеризуется высокими пусковым и входным моментами, а центробежные насосы и вентиляторы — малым пусковым и большим входным моментами.

## 1.10. РЕГУЛИРОВАНИЕ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ

Регулированием частоты вращения двигателя называется принудительное изменение частоты его вращения в зависимости от требований технологического процесса и может быть произведено человеком или автоматическим устройством.

Основные показатели, характеризующие различные способы регулирования: диапазон, плавность, экономичность, стабильность частоты вращения, направление регулирования частоты вращения, допустимая нагрузка при различных частотах вращения.

*Диапазон регулирования частоты вращения* определяется отношением установившихся возможных максимальной и минимальной частот вращения:  $D = n_{\max}/n_{\min}$  при заданной точности регулирования.

*Плавность регулирования* характеризует скачок частоты вращения при переходе от данной частоты вращения к ближайшей возможной. Плавность тем выше, чем меньше этот скачок.

*Экономичность регулирования* характеризует затраты на сооружение и эксплуатацию электропривода. Имеют значение и затраты энергии в процессе регулирования. Так, затраты на регулирование частоты вращения двигателей постоянного тока воздействием на главные цепи значительно выше, чем при воздействии на цепи возбуждения. Это объясняется тем, что мощность цепи возбуждения составляет 1—5% мощности главных цепей.

*Стабильность частоты вращения* характеризуется величиной изменения частоты вращения при заданном отклонении момента. Стабильность уменьшается при регулировании частоты вращения включением дополнительных сопротивлений в цепь якоря двигателя постоянного тока или в цепь ротора асинхронного двигателя с фазным ротором.

*Направление регулирования частоты вращения*, т. е. уменьшение или увеличение ее по отношению к номинальной

частоте вращения. Так, регулирование частоты вращения двигателя постоянного тока включением добавочных сопротивлений в цепь якоря возможно только вниз от основной частоты вращения. А регулирование частоты вращения такого двигателя уменьшением магнитного потока возбуждения возможно только вверх от основной частоты вращения.

*Допустимая нагрузка* двигателя определяется нагревом двигателя и характеризует наибольший момент, который двигатель способен развивать длительно при работе на регулировочных характеристиках.

## 1.11. РЕГУЛИРОВАНИЕ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ ДВИГАТЕЛЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Из уравнения электромеханической характеристики двигателей постоянного тока  $n = \frac{U - IR}{k_E \Phi}$  вытекает, что возможны три различных способа регулирования частоты вращения двигателя:

1. Изменением тока возбуждения (магнитного потока);
2. Изменением сопротивления цепи якоря посредством резисторов (реостатное);
3. Изменением подводимого напряжения.

*Регулирование частоты вращения* двигателя изменением тока возбуждения — один из наиболее простых и экономичных способов регулирования. Принципиальная схема регулирования для двигателя  $M$  с независимым возбуждением представлена на рис. 16, а. Здесь  $RH$  — регулятор напряжения. Регулирование частоты вращения в этом случае осуществляется вверх от основной. Разным значениям тока возбуждения (магнитного потока) соответствуют разные значения частоты вращения идеального холостого хода:  $n_0 = U / (k_E \Phi)$ . С уменьшением тока возбуждения жесткость механических характеристик уменьша-

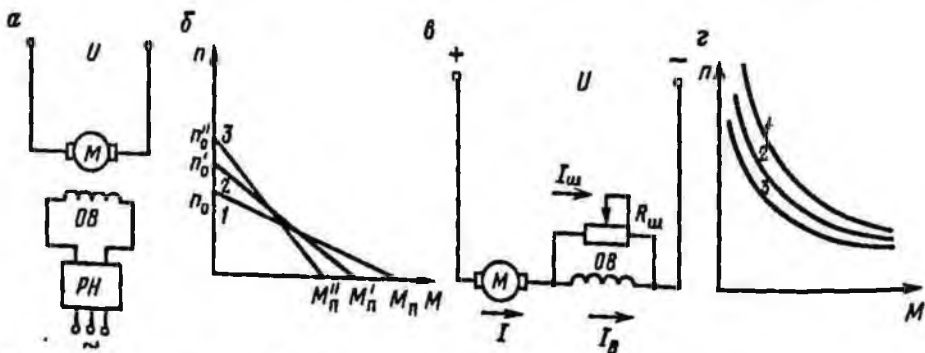


Рис. 16. Принципиальные схемы и механические характеристики двигателей постоянного тока при регулировании частоты вращения изменением магнитного потока

ется (рис. 16, б, прямые 1, 2, 3). При этом частоты вращения идеального холостого хода ( $n_0$ ,  $n'_0$ ,  $n''_0$ ) увеличиваются, а пусковые моменты ( $M_n$ ,  $M'_n$ ,  $M''_n$ ) уменьшаются.

Для двигателя с последовательным возбуждением (рис. 16, в) ток возбуждения и соответствующая частота вращения регулируются изменением сопротивления шунта  $R_{ш}$ :  $I_b = I - I_{ш}$ . В этом случае также ток возбуждения изменяется вниз от номинального, а частота вращения вверх от номинальной. Механические характеристики для разных токов возбуждения представлены кривыми 1, 2, 3 на рис. 16, г.

Диапазон регулирования для этого способа составляет от 2:1 до 5:1 и ограничен условиями коммутации на коллекторе и механической прочностью якоря при увеличении частоты вращения.

Плавность регулирования в зависимости от устройства реостатов и регуляторов напряжения (для случая независимого возбуждения) может быть получена достаточно высокой. Для двигателя с последовательным возбуждением из-за большого тока возбуждения частоту вращения можно менять только ступенчато.

Стабильность регулирования определяется относительным перепадом частоты вращения при изменении нагрузки:  $\Delta n_{ном}/n_0$ . Относительный перепад частоты вращения сохраняется одним и тем же для естественной и искусственных характеристик.

*Регулирование частоты вращения двигателя изменением сопротивления в цепи якоря* характеризуется теми же реостатными механическими характеристиками, что и пуск двигателей постоянного тока (см. рис. 13, в). В отличие от пускового реостата регулировочный должен быть рассчитан на длительную работу двигателя с заданной частотой вращения. При этом способе регулирования уменьшается жесткость характеристики и, как следствие, стабильность частоты вращения. Последняя регулируется вниз от номинальной с помощью контакторов, замыкающих отдельные ступени реостата. Такой способ не обеспечивает плавного регулирования. При небольшой мощности двигателя плавное регулирование может быть достигнуто с помощью жидкостного, ползункового реостатов или устройства бесконтактного импульсного включения добавочного сопротивления в цепи якоря.

При импульсном включении частота вращения колеблется около среднего значения, которое определяется отношением времени, когда добавочное сопротивление введено, ко времени, когда оно замкнуто накоротко (зашунтировано).

Диапазон регулирования ограничен здесь требованием к производительности механизма и составляет обычно (1,5—2,5):1. Потери мощности изменяются пропорционально перепаду частоты вращения. Однако, несмотря на большие потери в резисторах, такой способ регулирования применяют как наиболее

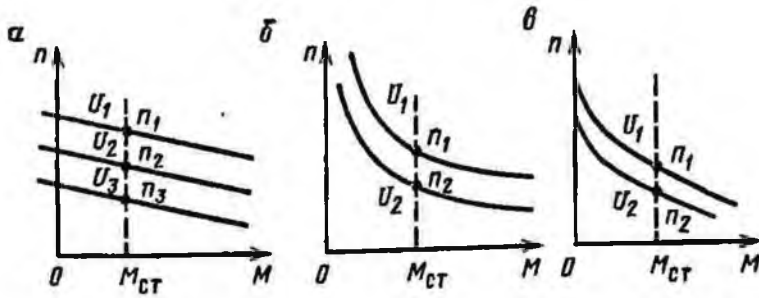


Рис. 17. Механические характеристики двигателей постоянного тока при регулировании частоты вращения изменением подводимого к якорю напряжения

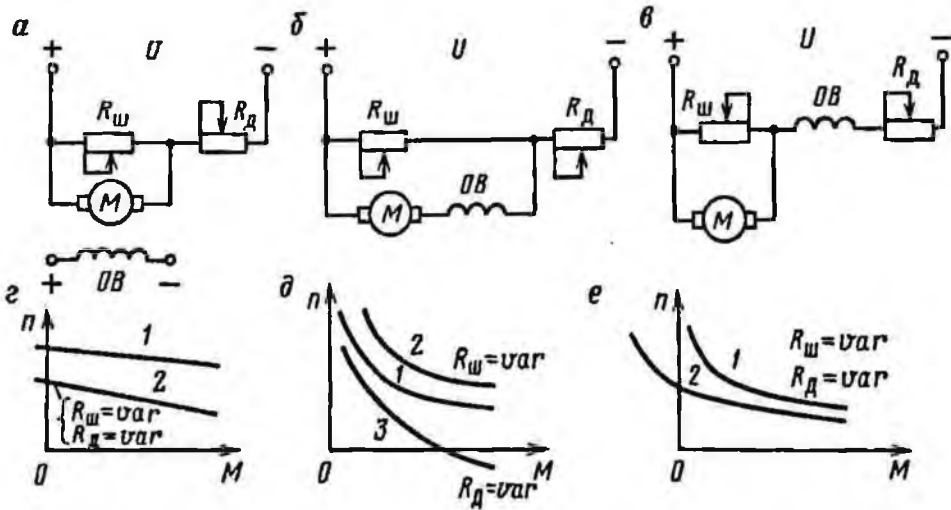


Рис. 18. Принципиальные схемы и механические характеристики двигателей постоянного тока при регулировании частоты вращения комбинированными способами

простой при использовании двигателей с последовательным возбуждением в крановых и тяговых установках.

Регулирование частоты вращения двигателя изменением подводимого к якорю напряжения осуществляется вниз от основной частоты вращения, так как напряжение может изменяться, как правило, только вниз от номинального.

Механические характеристики двигателя независимого возбуждения с уменьшением напряжения будут параллельно смещаться вниз (рис. 17, а). Это следует из выражения для механической характеристики двигателя, когда моменту сопротивления  $M_{ст}$  соответствует ток  $I$  двигателя:

$$n_1 = \frac{U_1 - IR_a}{k_E \Phi}; \quad n_2 = \frac{U_2 - IR_a}{k_E \Phi}; \quad n_3 = \frac{U_3 - IR_a}{k_E \Phi}.$$

С уменьшением напряжения смещаются вниз и механические характеристики двигателя с последовательным возбуждением (рис. 17, б).

Жесткость механической характеристики при таком способе регулирования не меняется, что определяет высокую стабильность частоты вращения. Диапазоны регулирования ограничены значениями  $(8—10):1$ . Потери мощности в якорной цепи при постоянном моменте нагрузки остаются теми же, что и при работе на естественной характеристике. Напряжение питания можно менять плавно, используя систему генератор—двигатель или управляемый выпрямитель—двигатель. В последнем случае из-за особенностей работы управляемых выпрямителей механические характеристики менее жесткие и имеют резкий подъем в области малых нагрузок (рис. 17, в).

Для двигателей с последовательным возбуждением изменение напряжения питания может быть получено последовательно-параллельным включением двух двигателей, работающих на общий вал.

*Комбинированные способы регулирования частоты вращения двигателя* представляют собой сочетание регулирования изменением подводимого к якорю напряжения и тока возбуждения с регулированием реостатным. Эти способы реализуются шунтированием обмоток якоря или одновременно обмоток якоря и возбуждения сопротивлением  $R_{ш}$ , а также изменением добавочного сопротивления  $R_{д}$ . Соответствующие схемы включения приведены на рис. 18, а, б, в. Механические характеристики занимают промежуточное положение и обладают большей жесткостью, чем при реостатном регулировании (рис. 18, г, д, е). Цифрой 1 обозначены естественные характеристики двигателей, цифрами 2 и 3—характеристики, имеющие место при изменении  $R_{ш}$  и  $R_{д}$ , т. е. при  $R_{ш} = \text{var}$  и  $R_{д} = \text{var}$ . Диапазон регулирования  $(2—3):1$ . Для схемы, соответствующей рис. 18, а, может быть получен  $(5—6):1$ .

## 1.12. РЕГУЛИРОВАНИЕ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ ДВИГАТЕЛЕЙ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

С развитием полупроводниковой техники в последнее время в регулируемых электроприводах наряду с двигателями постоянного тока все большее применение находят двигатели переменного тока—асинхронные двигатели с короткозамкнутым или с фазным ротором. В безредукторных тихоходных электроприводах большой мощности применяют также регулируемый синхронный двигатель. Из способов регулирования частоты вращения асинхронных двигателей наибольшее распространение получили: реостатный; изменением питающего напряжения; переключением пар полюсов; изменением частоты

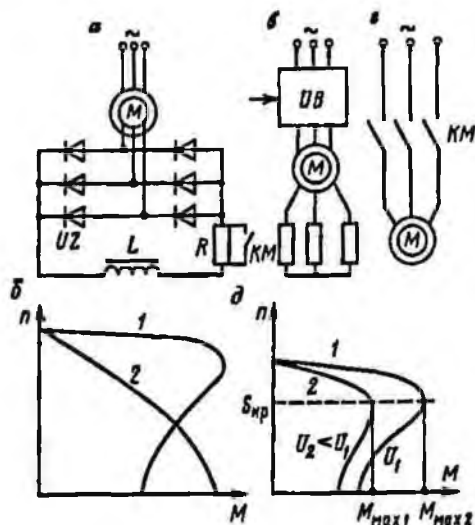


Рис. 19. Принципиальные схемы и механические характеристики асинхронных двигателей при регулировании частоты вращения импульсными устройствами

питающего напряжения; каскадным включением асинхронных двигателей.

Реостатное регулирование частоты вращения двигателя производится вниз от номинальной частоты вращения. Осуществляется оно введением резисторов в цепь ротора (см. рис. 13). Плавность регулирования определяется числом ступеней резисторов. Как и в приводе постоянного тока, реостатные характеристики обладают невысокой жесткостью, уменьшающейся с ростом сопротивления резисторов в роторной цепи (см. рис. 10, а). Диапазон регулирования (1,5—2):1. Потери мощности в роторной цепи изменяются пропорционально скольжению. При этом основная мощность теряется в регулировочном резисторе. Например, если частота вращения снижена в 2 раза по сравнению с номинальной, то половина потребляемой из сети мощности теряется в регулировочном резисторе. Потери в статоре не зависят от скольжения.

Несмотря на невысокое быстродействие и большие потери энергии, реостатное регулирование асинхронных двигателей находит применение в приводе подъемно-транспортных устройств, вентиляторов и насосов с электродвигателями мощностью до 100 кВт.

Плавное регулирование с высоким быстродействием в этом случае может быть получено использованием импульсного регулирования, т. е. импульсного включения и отключения резистора  $R$  ключом  $KM$ . Схема включения двигателя и соответствующие механические характеристики приведены на рис. 19, а, б. Дополнительный резистор  $R$  включен в роторную цепь через выпрямитель  $UZ$  и дроссель  $L$ . Средняя частота вращения двигателя будет при этом определяться величиной отношения времен введенного и выведенного состояний резистора. Характеристика 1—естественная, характеристика 2—искусственная.

Регулирование частоты вращения двигателя изменением питающего напряжения может быть получено изменением напряжения питания двигателя с помощью импульсного тиристорного устройства  $UB$  (рис. 19, *в*) или устройства, управляющего временем включенного и отключенного состояний контактов  $KM$  (рис. 19, *г*). В соответствии с механическими характеристиками для этого способа регулирования (рис. 19, *д*) максимальные моменты  $M_{\max 1}$ ,  $M_{\max 2}$  при понижении напряжения снижаются пропорционально квадрату напряжения. Критическое скольжение  $S_{гр}$  не зависит от напряжения. Механические характеристики 1 и 2 для соответствующих напряжений  $U_1$  и  $U_2$  по мере снижения напряжения становятся мягкими и не обеспечивают стабильности частоты вращения при возможном отклонении нагрузки. Частота вращения регулируется вниз от номинальной. В замкнутых системах стабильность частоты вращения может быть повышена, а диапазон регулирования может достигать (5—10):1.

Потери энергии в приводе по схеме, представленной на рис. 19, *в*, примерно такие же или несколько больше, как при реостатном регулировании. Энергетические показатели способа регулирования по схеме, представленной на рис. 19, *г*, также невысоки из-за пульсаций напряжения, частоты вращения и переходных электромагнитных процессов, вызванных включением и отключением обмоток статора двигателя. Поэтому для регулирования частоты вращения короткозамкнутого двигателя чаще применяют тиристорные регуляторы напряжения с фазовым управлением. При этом в каждой фазе статора двигателя находятся два встречно-параллельных тиристора. Управляя углом включения тиристорov, можно плавно изменять действующее значение напряжения.

Регулирование частоты вращения двигателя переключением числа пар полюсов основано на следующем:

$$n = n_0(1 - s); \quad n_0 = \frac{f \cdot 60}{p}; \quad n = \frac{f \cdot 60}{p}(1 - s),$$

где  $f$  — частота сети;  $p$  — число пар полюсов двигателя.

Поскольку число пар полюсов может быть только целым числом, регулирование будет ступенчатым. Переключение пар полюсов осуществляется изменением направления тока в отдельных половинах каждой фазной обмотки (рис. 20, *а*, *б*). Соответствующие механические характеристики (рис. 20, *в*) являются достаточно жесткими, что обеспечивает стабильность регулирования. Характеристика 1 имеет удвоенное по отношению к характеристике 2 число пар полюсов.

Диапазон регулирования составляет 6:1. С энергетической стороны данный способ регулирования экономичен. Используется он в приводах вентиляторов, насосов. В основном

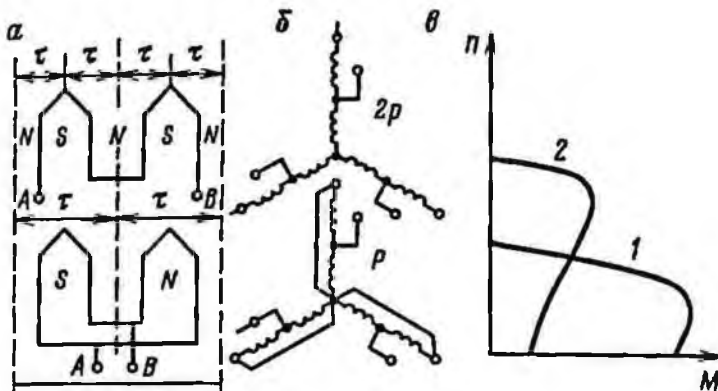


Рис. 20. Принципиальные схемы включения полуобмоток и соответствующие механические характеристики асинхронных двигателей при регулировании частоты вращения переключением числа пар полюсов

применяется для регулирования частоты вращения асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором, так как в двигателях с фазным ротором пришлось бы переключать и обмотки ротора.

Направление регулирования при этом способе условное и зависит от того, при каком числе полюсов частота вращения для механизма принята номинальной (основной).

Регулирование частоты вращения двигателя изменением частоты питающего напряжения основано на следующем выражении:  $n = \frac{f \cdot 60}{p} (1 - s)$ . Если при постоянном напряжении

изменять его частоту, то в соответствии с зависимостью  $U \approx E = k_E \Phi f$  будет обратно пропорционально меняться магнитный поток. Это приведет к отклонению параметров двигателя от заданных (уровень насыщения стали, допустимый момент, температура). Чтобы это не происходило, одновременно с изменением частоты необходимо менять и амплитуду напряжения.

Для осуществления данного способа регулирования используют электромашинные и статические преобразователи частоты и напряжения.

На практике применяют электромашинные преобразователи с промежуточным звеном постоянного тока (рис. 21, а). Такой преобразователь  $UZ$  состоит из трехфазного короткозамкнутого двигателя  $M1$ , который подключен к промышленной сети  $U_1, f_1$  и вращает генератор  $G1$ . Напряжение генератора  $G1$  меняется в зависимости от тока возбуждения. В соответствии с этим изменяется частота вращения двигателя постоянного тока  $M2$ , который вращает синхронный генератор  $G2$ . Изменение частоты вращения синхронного генератора при постоянном токе его возбуждения приводит к пропорциональному изменению амплитуды  $U_2$  и частоты  $f_2$  напряжения на выходе и соответственно к изменению частоты





При этом выпрямленный ток ротора

$$I_p = (E_{p0}s - E_{пр} - 2\Delta U) / R_z,$$

где  $E_{p0}$  — ЭДС ротора на выходе выпрямленного моста при  $s=1$  (момент пуска);  $\Delta U$  — падение напряжения на вентилях;  $R_z$  — эквивалентное сопротивление роторной цепи.

Отсюда формально при идеальном холостом ходе ( $I_p=0$ ) скольжение, отвечающее ему,

$$s_0 = (E_{пр} + 2\Delta U) / E_{p0}. \quad (10)$$

Если обозначить частоту вращения идеального холостого хода при  $I_p \neq 0$  как  $n_{01}$ , то скольжение идеального холостого хода

$$s_0 = \frac{n_0 - n_{01}}{n_0}. \quad (11)$$

Подставив (11) в уравнение (10), получим

$$n_{01} = n_0 [1 - (E_{пр} + 2\Delta U) / E_{p0}].$$

Таким образом частота вращения идеального холостого хода асинхронного двигателя  $M1$  снижается по мере увеличения противо-ЭДС  $E_{пр}$ . Механические характеристики двигателя в этом случае подобны характеристикам, возможным при частотном регулировании.

Каскадные электроприводы применяют в установках большой мощности при небольших диапазонах регулирования вниз от номинальной частоты вращения. Например, в приводах шаровых мельниц, воздуходувок, центробежных насосов.

*Регулирование частоты вращения синхронного двигателя* осуществляется изменением частоты питающего напряжения — частотное регулирование. Характеризуется оно в основном такими же показателями, что и частотное регулирование асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором. Это регулирование плавное, экономичное. Поскольку характеристики идеально жесткие, стабильность частоты вращения высокая. Допустимая нагрузка при постоянном возбуждении — номинальный момент. Диапазон регулирования вверх от основной частоты вращения ограничивается механической прочностью ротора и подшипников. Диапазон регулирования вниз от номинальной частоты вращения с учетом идеальной жесткости характеристик может быть большим [до (5—100):1 и более] при обеспечении достаточного запаса устойчивости и сохранении значения максимального момента.

### 1.13. ВЫБОР ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

Наиболее важная характеристика двигателя — его мощность, определяющая в значительной степени технические и экономические показатели электропривода в целом. Применение двигателя недостаточной мощности может вызвать нарушение

в нормальной работе механизма: снижение его производительности, аварию и выход из строя двигателя. Использование двигателя завышенной мощности приводит к неоправданному увеличению капитальных затрат, снижению электрических показателей и КПД привода, а в установках переменного тока и к ухудшению коэффициента мощности, непроизводительной нагрузке питающей сети.

Для определения мощности двигателя необходимо знать статический момент сопротивления на его валу. Определяемый им нагрев двигателя в процессе работы не должен превышать допустимый.

Другими характеристиками, определяющими выбор двигателя, являются динамический момент (и соответственно условия пуска), род тока, условия монтажа, окружающей среды, конструктивное исполнение.

### 1.13.1. Определение статического и динамического моментов на валу двигателя

Обычно двигатель приводит в действие производственный механизм через систему передач, отдельные элементы которой движутся с различными частотами вращения. Пример кинематической схемы электропривода с вращательным движением исполнительного механизма приведен на рис. 23, а. Часто один из элементов механизма совершает поступательное движение (рис. 23, б). На этих рисунках  $k_1 = n_d/n_1$ ;  $k_2 = n_1/n_2$ ; ...,  $k_n = n_{n-1}/n_n$  представляют собой передаточные коэффициенты элементов привода. Величины  $J_d$ ,  $J_1$ ,  $J_2$ , ...,  $J_n$  — моменты инерции вращающихся частей соответственно двигателя, передаточного механизма и производственного механизма. Момент инерции тела массой  $m$   $J = mR_n^2$ , где  $R_n$  — радиус инерции.

Элементы привода чаще всего можно приближенно рассматривать в виде сплошного цилиндра, вращающегося относительно продольной оси. Момент инерции такого цилиндра  $J = m \frac{R_n^2}{2}$ , где  $R_n$  — радиус цилиндра.

Для определения момента на валу двигателя приводную систему заменяют эквивалентным расчетным звеном, которое сохраняет кинематические и динамические свойства исходной системы. На это звено воздействуют электромагнитный момент двигателя и суммарный приведенный к валу двигателя статический момент  $M_{ст}$ , учитывающий все механические потери в системе.

*Приведение статического момента к валу двигателя.* Приведение статического момента от оси вращения механизма

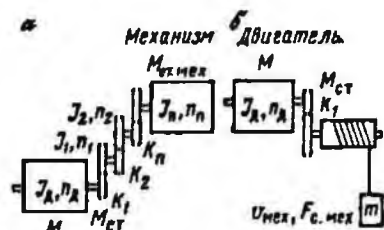


Рис. 23. Кинематическая схема связи двигателя с исполнительным механизмом

к валу двигателя производится на основании энергетического баланса системы. Из равенства мощностей получают:

$$M_{\text{ст. мех}} n_{\text{мех}} = \frac{1}{\eta_{\text{пер}}} = M_{\text{ст}} n_{\text{д}}, \quad (12)$$

где  $M_{\text{ст. мех}}$ ,  $n_{\text{мех}}$  — соответственно момент сопротивления и частота вращения вала производственного механизма;  $M_{\text{ст}}$  — тот же момент сопротивления, приведенный к валу двигателя;  $\eta_{\text{пер}}$  — КПД передаточного механизма, учитывающий потери мощности в передаче. Из уравнения (12) следует  $M_{\text{ст}} = M_{\text{ст. мех}} \frac{n_{\text{мех}}}{n_{\text{д}}} \frac{1}{\eta_{\text{пер}}} = \frac{M_{\text{ст. мех}}}{k \eta_{\text{пер}}}$ .

При наличии нескольких передач между двигателем и механизмом с передаточными числами  $k_1, k_2, \dots, k_n$  и соответствующими КПД  $\eta_{\text{пер}1}, \eta_{\text{пер}2}, \dots, \eta_{\text{пер}n}$  момент сопротивления, приведенный к валу двигателя,

$$M_{\text{ст}} = M_{\text{ст. мех}} \frac{1}{k_1 k_2 \dots k_n \eta_{\text{пер}1} \eta_{\text{пер}2} \dots \eta_{\text{пер}n}}.$$

Приведение статических сил сопротивления к валу двигателя осуществляется по формуле  $F_{\text{ст. мех}} v_{\text{мех}} \frac{1}{\eta_{\text{пер}}} = M_{\text{ст}} n_{\text{д}}$ , откуда  $M_{\text{ст}} = F_{\text{ст. мех}} v_{\text{мех}} / (n_{\text{д}} \eta_{\text{пер}})$ , где  $F_{\text{ст. мех}}$  и  $v_{\text{мех}}$  — соответственно сила сопротивления и линейная скорость поступательно движущегося элемента механизма.

Приведение момента инерции вращающихся частей механизма к валу двигателя.

При приведении моментов инерции к валу двигателя исходят из того, что суммарный запас кинетической энергии движущихся частей привода, отнесенный к валу двигателя, остается неизменным. Поэтому динамические действия частей привода, вращающихся с частотами  $n_1, n_2, \dots, n_n$  и имеющих моменты инерции соответственно  $J_1, J_2, \dots, J_n$ , можно заменить действием одного момента инерции, приведенного к валу двигателя,

$$J \frac{n_{\text{д}}^2}{2} = J_{\text{д}} \frac{n_{\text{д}}^2}{2} + J_1 \frac{n_1^2}{2} + J_2 \frac{n_2^2}{2} + \dots + J_n \frac{n_n^2}{2},$$

откуда результирующий момент инерции, приведенный к валу двигателя

$$J = J_{\text{д}} + J_1 \left( \frac{n_1}{n_{\text{д}}} \right)^2 + J_2 \left( \frac{n_2}{n_{\text{д}}} \right)^2 + \dots + J_n \left( \frac{n_n}{n_{\text{д}}} \right)^2.$$

Для масс, движущихся поступательно, результирующий момент инерции, приведенный к валу двигателя, также выводится из условия равенства запаса кинетической энергии:

$$\frac{m v_{\text{мех}}^2}{2} = J \frac{n_{\text{д}}^2}{2}, \quad \text{откуда} \quad J = m \left( \frac{v_{\text{мех}}}{n_{\text{д}}} \right)^2.$$

Если механизм имеет вращающиеся и поступательно движущиеся элементы, то суммарный, приведенный к валу

двигателя, момент инерции

$$J = J_d + J_1 \frac{1}{k_1^2} + J_2 \frac{1}{k_1^2 k_2^2 + \dots + J_n \frac{1}{k_1^2 k_2^2 \dots k_n^2}} + m \left( \frac{v}{n_n} \right)^2 + \dots$$

Движение звена, эквивалентного рассматриваемому приводу, описывается уравнением  $M - M_{ст} = M_{дин}$ , где  $M_{дин} = J \frac{dn_n}{dt}$ , где  $M$  — электромагнитный момент двигателя, Н·м;  $M_{ст}$  — статический момент, приведенный к валу двигателя, Н·м;  $M_{дин}$  — динамический момент двигателя, Н·м;  $\frac{dn_n}{dt}$  — приращение частоты вращения двигателя в единицу времени.

При установившемся движении  $M_{дин} = 0$  и  $M = M_{ст}$ , т. е. момент двигателя должен быть равен приведенному к его валу моменту сопротивления. При разгоне  $M_{дин} > 0$  и  $M - M_{ст} = M_{дин}$ . При торможении  $M_{дин} < 0$  и  $M - M_{ст} = -M_{дин}$ .

Выбираемый двигатель должен обладать такой механической характеристикой, которая обеспечила бы приводу необходимые частоты вращения и ускорения как в установившемся режиме работы при статическом моменте  $M_{ст}$ , так и в переходных режимах пуска и торможения, когда  $M_{дин} \neq 0$ .

### 1.13.2. Выбор мощности двигателя по допустимому нагреву

#### *Нагрев двигателей.*

В процессе работы механизмов в электродвигателях привода возникают потери энергии. Потери в двигателе складываются из постоянных потерь:  $\Delta P_n = \Delta P_n + \Delta P_{ст} + \Delta P_{мех}$  ( $\Delta P_n$  и  $\Delta P_{ст}$  — потери соответственно на возбуждение и в стали;  $\Delta P_{мех}$  — механические потери) и потерь в силовых цепях двигателя, зависящих от нагрузки:  $\Delta P_n = I^2 R$ .

Под действием этих потерь отдельные части двигателя нагреваются. Поэтому мощность двигателя должна удовлетворять условию допустимого нагрева его в процессе работы. В период работы привода могут возникать кратковременные толчки нагрузки. Такие толчки не вызовут перегрева, но до определенного предела. Поэтому мощность двигателя должна удовлетворять и условию достаточной перегрузочной способности. И, наконец, двигатель должен обладать и достаточным пусковым моментом.

Допустимый нагрев двигателя определяется нагревостойкостью применяемых изоляционных материалов. Чем больше нагревостойкость изоляции, тем при той же мощности меньше размеры двигателя.

Изоляционные материалы, применяемые в электрических двигателях, делятся на следующие основные классы.

Изоляция класса А. К этому классу относятся хлопчатобумажные ткани, пряжа, бумага, волокнистые материалы

из целлюлозы и шелка, пропитанные или погруженные в жидкий диэлектрик. Допустимая предельная температура  $105^{\circ}\text{C}$ . Изоляция имеет небольшое применение в двигателях постоянного тока малой мощности и в асинхронных двигателях до 6-го габарита.

Изоляция класса Е. Сюда относятся синтетические эмали, синтетические органические пленки и материалы. Допустимая предельная температура нагрева  $120^{\circ}\text{C}$ . Применяется также в двигателях малой мощности.

Изоляция класса В. К этому классу относятся слюда, асбест, стеклянное волокно и другие неорганические материалы со связующими материалами органического происхождения. Допустимая предельная температура нагрева  $130^{\circ}\text{C}$ . Эти материалы применяют в двигателях мощностью 100—1200 кВт и в ранее выпускавшихся сериях двигателей (серия П) мощностью 3,2—14 кВт.

Изоляция класса F. Этот класс включает в себя те же материалы, что и класс В, но сочетающиеся с синтетическими связующими и пропитывающими составами, модифицированными кремнийорганическими соединениями. Допустимая предельная температура нагрева  $155^{\circ}\text{C}$ . Применяют ее в двигателях большой мощности и в ранее выпускавшихся двигателях серий П свыше 14 кВт.

Изоляция класса H. К этому классу относятся те же материалы, что и к классу В, но в сочетании с кремнийорганическими связующими и пропитывающими составами. Допустимая предельная температура  $180^{\circ}\text{C}$ . Эта изоляция предназначена для двигателей, работающих в тяжелых условиях частых пусков и высокой окружающей температуры.

Изоляция класса С. Этот класс включает в себя слюду, керамические материалы, стекло, кварц, применяемые с неорганическими связующими составами или без них. Предельная температура для этого класса не установлена, используется такая изоляция до  $180^{\circ}\text{C}$ .

Для двигателей нормируется не допустимая температура нагрева, а допустимое превышение температуры обмотки над температурой окружающей среды— $t$ . При определенных допущениях уравнение нагрева двигателя можно представить в виде

$$\tau + T_n \frac{d\tau}{dt} = \tau_{уст}, \quad (13)$$

где  $\tau = \theta_d - \theta_{o.c}$ ;  $\theta_d$ ,  $\theta_{o.c}$ —соответственно температура двигателя и окружающей среды;  $\tau$ ,  $\tau_{уст}$ —соответственно текущее и установившееся превышение температуры двигателя над температурой окружающей среды;  $T_n = C/A$ —постоянная времени нагрева, т. е. время нагрева двигателя от  $\tau=0$  до  $\tau=\tau_{уст}$  при постоянной нагрузке и отсутствии теплоотдачи в окружающую

Рис. 24. Кривые нагрева и охлаждения двигателя

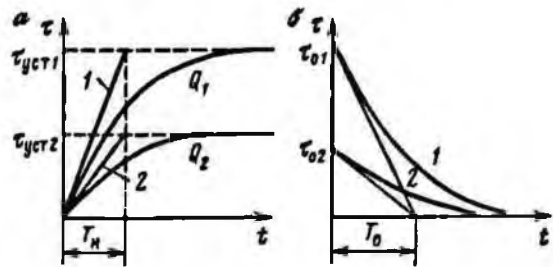
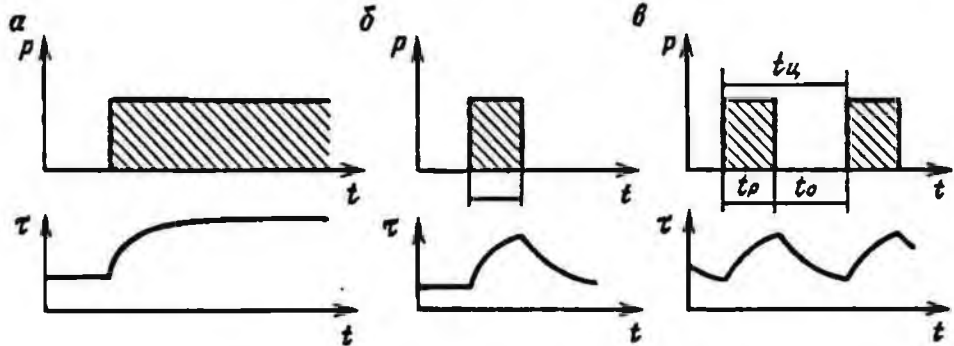


Рис. 25. Зависимость мощности  $P$  на валу двигателя и температуры  $\Theta$  от времени при разных режимах работы



среду,  $c$ ;  $C$  — теплоемкость двигателя,  $\text{Дж}/^\circ\text{C}$ ;  $A$  — теплоотдача двигателя,  $\text{Дж}/(^\circ\text{C}\cdot\text{с})$ .

Установившееся превышение температуры двигателя над температурой окружающей среды  $\tau_y = Q/A$ , где  $Q$  — количество теплоты (мощность потерь), выделяемое двигателем в единицу времени,  $\text{Дж}/\text{с}$ .

Решение уравнения (13) при  $\tau_0 = 0$  и постоянной нагрузке имеет вид  $\tau = \tau_{уст} (1 - e^{-t/T_n})$ .

На рис. 24, а представлены кривые, соответствующие этому решению для разных нагрузок  $Q_1$  и  $Q_2$ . Касательные 1 и 2, в соответствии с которыми нагревался бы двигатель при отсутствии теплоотдачи в окружающую среду, характеризуют постоянную времени нагрева  $T_n$ . Практически нагрев двигателя считают законченным, когда превышение температуры его составляет  $0,95\tau_y$ , что соответствует времени  $\approx 3T_n$ .

На рис. 24, б представлены соответствующие кривые охлаждения двигателя. У самовентилируемого двигателя постоянная времени охлаждения  $T_0 > T_n$ , так как при замедлении двигателя уменьшается теплоотдача. Величины  $\tau_{01}$  и  $\tau_{02}$  — превышения температуры двигателей перед началом охлаждения, 1 и 2 — соответствующие им кривые охлаждения.

**Режимы работы двигателей.** Мощность  $P_d$ , которую должен иметь двигатель, зависит от условий работы механизма, а именно от продолжительности и характера нагрузки. По условиям нагрева различают три основных режима работы механизма в течение времени  $t$ .

1. Продолжительный режим работы. Это режим работы при постоянной нагрузке  $P$ , продолжающийся столько времени,

что превышение температуры двигателя  $t$  достигает установившегося значения (рис. 25, а). В таком режиме работает большая часть механизмов обогатительных фабрик: насосы, вентиляторы и др.

2. Кратковременный режим работы. Это режим работы, при котором периоды постоянной нагрузки  $P$  чередуются с периодами отключения машины. При этом продолжительность периодов нагрузки недостаточна для достижения превышения температуры  $t$  установившегося значения, а продолжительность отключения достаточна для охлаждения двигателя до температуры окружающей среды (рис. 25, б). В таком режиме могут работать приводы подъема спирали классификатора, поворота железнодорожного круга и др. Рекомендуемые продолжительности рабочего периода в этом режиме: 10, 30, 60 и 90 мин.

3. Повторно-кратковременный режим работы. Это режим, когда кратковременные периоды постоянной нагрузки чередуются с периодами отключенного состояния двигателя. Причем как рабочие периоды, так и паузы недостаточны, чтобы превышения температуры  $t$  достигли установившихся значений. В этом режиме (рис. 25, в) продолжительность цикла не превышает 10 мин и режим характеризуется продолжительностью включения ПВ-15, 25, 40 и 60%, которая определяется по формуле:

$$ПВ = \frac{t_p}{t_p + t_0} \cdot 100 = \frac{t_p}{t_{\Sigma}} \cdot 100,$$

где  $t_p$  — время работы;  $t_0$  — время паузы;  $t_{\Sigma}$  — время цикла.

Таким образом, для проверки мощности предварительно выбранного двигателя по условиям нагрева необходимо иметь нагрузочную диаграмму двигателя, т. е. зависимость мощности или момента на валу двигателя от времени.

Расчет мощности двигателя при продолжительном режиме работы.

Для продолжительного режима работы двигатель выбирается либо по нагрузочной диаграмме, либо по найденному статическому моменту сопротивления на его валу:

$$P_{\text{расч}} = \frac{M_{\text{ст}} n_{\text{ном}}}{9550},$$

где  $P_{\text{расч}}$  — расчетная мощность двигателя, кВт.

По каталогу выбирается мощность двигателя, которая должна быть равной или несколько больше расчетной  $P_d \geq P_{\text{расч}}$ .

Расчет мощности двигателя при кратковременном режиме работы.

Двигатели, предназначенные для кратковременного режима работы, выпускаются заводами с нормированной продолжительностью работы в 10, 30, 60 и 90 мин. Следовательно, двигатель, выбранный по каталогу для этого режима работы,



может быть загружен номинальной мощностью в течение указанного времени. В этом случае он будет полностью использован по нагреву. Выбранные по каталогу мощность двигателя и время работы  $t$  должны отвечать условию:

$$P \geq P_{\text{расч}}, \quad t \geq t_{\text{расч}}.$$

Если для кратковременного режима работы используется двигатель, предназначенный для продолжительного режима мощностью  $P_{\text{пр}}$ , то его мощность для кратковременного режима  $P_{\text{кр}}$  должна быть меньше расчетной. В этом случае двигатель должен иметь тепловую перегрузку. Перегрузка двигателя определяется коэффициентом перегрузки  $k_d = P_{\text{пр}} / P_{\text{кр}}$ . Для практических расчетов можно принять  $k_d = \sqrt{k}$ , где  $k$  — термический коэффициент перегрузки, определяемый по кривой, представленной на рис. 26, в зависимости от отношения заданного времени работы  $t_{\text{расч}}$  к постоянной времени нагрева двигателя, т. е.  $t_{\text{расч}} / T_H$ .

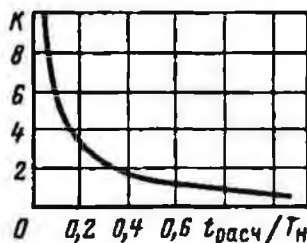


Рис. 26. Зависимость термического коэффициента перегрузки от относительного времени работы

Расчет мощности двигателя при повторно-кратковременном режиме работы.

Для повторно-кратковременного режима работы применяют специальные двигатели, обладающие нормированной номинальной мощностью при определенной продолжительности включения и длительности цикла. В каталогах приводится номинальная мощность двигателей для различных ПВ.

Если расчетная продолжительность включения  $\varepsilon = t_p / t_n$  и требуемая расчетная мощность двигателя отвечают стандартным значениям, то по каталогу выбирают соответствующий двигатель.

Если продолжительность включения  $\varepsilon_{\text{действ}}$  отличается от стандартной, то двигатель будет развивать мощность

$$P = P_{\text{станд}} \sqrt{\frac{\varepsilon_{\text{станд}}}{\varepsilon_{\text{действ}}}},$$

где  $\varepsilon_{\text{станд}}$  — стандартное значение продолжительности включения;  $P_{\text{станд}}$  — стандартное (каталожное) значение мощности двигателя.

В общем случае, если нагрузка  $P$  в период времени работы  $t$  изменяется по более или менее сложному закону (рис. 27), то вычисляют эквивалентную среднюю квадратическую мощность

$$P_{\text{ср. кв}} = \sqrt{\frac{\sum P_i^2 \cdot t_i}{\sum t_i}},$$

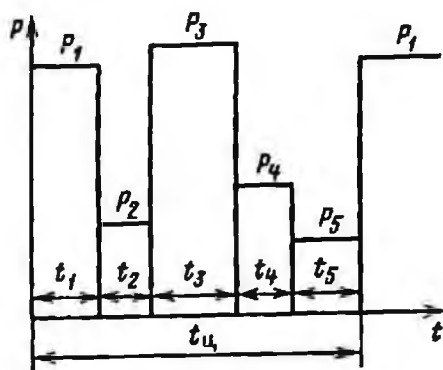


Рис. 27. Общий случай графика нагрузки двигателя

где  $i=1, 2, \dots, 5$ ;  $P_i$ —мощность, которую можно считать неизменной для отрезка времени  $t_i$ ;  $\Sigma t_i$ —полный цикл работы  $t_{ц}$ .

После выбора двигателя по условиям нагрева необходимо произвести проверку механической перегрузочной способности двигателя, т. е. убедиться, что максимальный момент нагрузки по графику в процессе работы и при пуске не будет превышать максимального момента по каталогу.

### 1.13.3 Выбор двигателя по условиям работы

Двигатель, выбранный по роду тока и по мощности, должен соответствовать приводу по условиям монтажа и условиям окружающей среды.

По условиям монтажа двигатели подразделяют на следующие группы: со щитовыми подшипниками (без фундаментных плит и с фундаментными плитами, предназначенные для крепления к потолку, к вертикальной и горизонтальной плоскостям, со свободным и фланцевым валами; со щитовыми и стоячковыми подшипниками (без фундаментной плиты и с фундаментной плитой); с фланцевым креплением (с одним щитовым подшипником, с фланцем на станине, с двумя щитовыми подшипниками, с фланцем на щите); с вертикальным валом (13 различных исполнений); со стоячковыми подшипниками (12 различных исполнений).

По условиям окружающей среды имеются 10 исполнений двигателей:

1. Открытое—для сухих помещений, для использования под навесом;
2. Открытое, с влагостойкой изоляцией—для влажных или сырых помещений без конденсации влаги;
3. Открытое без шарико- и роликоподшипников—для помещений с непроводящей пылью, легко поддающейся удалению и не влияющей на изоляцию обмоток;
4. Защищенное (от случайного прикосновения к враща-

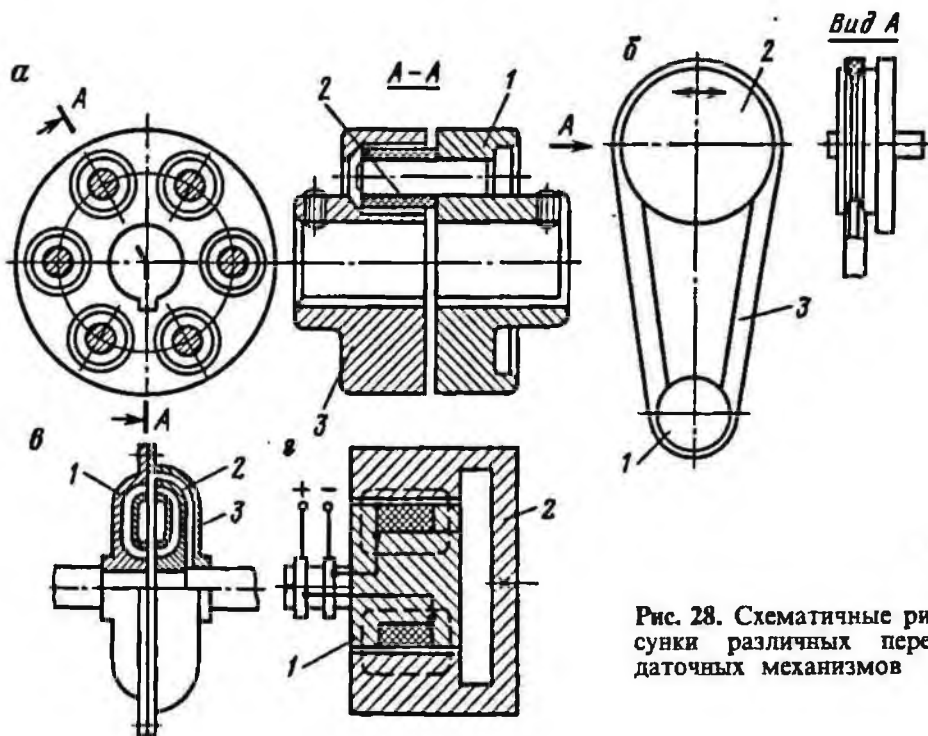


Рис. 28. Схематические рисунки различных передаточных механизмов

ющимся и токоведущим частям) — для сухих помещений, для использования под навесом;

5. Защищенное с влагостойкой изоляцией — для влажных или сырых помещений без конденсации влаги;

6. Каплезащищенное с влагостойкой изоляцией — для особо сырых помещений с конденсацией влаги в виде капель;

7. Брызгозащищенное с влагостойкой изоляцией — то же, что и в п. 6, а также для помещений пожароопасных класса П1, предназначенных для хранения минеральных масел, класса П-2а, предназначенных для хранения дерева, ткани и других подобных материалов, для взрывоопасных помещений класса В-1б, в которых при авариях возможно образование взрывоопасных смесей паров и газов, имеющих высокий нижний предел взрывоопасности (15% и более);

8. Закрытое — для помещений с трудноудаляемой, проводящей и влияющей на изоляцию пылью, для пожароопасных помещений классов П-1, П-2 (предназначенных для деревоотделочных цехов, помещений мельниц и др.), П-3 (предназначенных для хранения минеральных масел, дерева), класса В-2а (когда в результате аварий возможны смеси с воздухом горючих пыли и волокон);

9. Закрытое продуваемое — для помещений с химически активной средой, для пожароопасных помещений классов П-1, П-2, П-3 и для взрывоопасных помещений класса В-2а;

10. Закрытое обдуваемое — для пожароопасных помещений классов П-1, П-2, П-3 и для взрывоопасных помещений класса В-2а.

#### 1.14. ПЕРЕДАТОЧНЫЙ МЕХАНИЗМ

Конструкция передаточного механизма зависит от передаваемой мощности, вращательного момента, характера нагрузки.

*Глухие муфты* используют в тяжелых машинах с диаметрами валов до 600 мм для соединения с двигателями. Муфты насаживаются на валы в горячем состоянии. На валы средних и небольших машин муфты насаживаются с использованием фиксирующих деталей — шпонок и стопорных винтов. В этом случае используется обычно напряженная посадка.

В приводах обогатительного оборудования с ударным характером нагрузки и диаметром валов до 200 мм могут применяться эластичные муфты или клиноременные передачи.

*Эластичные муфты* состоят из двух полумуфт, одна из которых надевается на вал двигателя, другая — на вал рабочего органа механизма (рис. 28, а). Пальцы, жестко закрепленные в первой полумуфте 1, входят в резиновые втулки 2, закрепленные в углублениях второй полумуфты 3. Полумуфты удерживаются на своих валах с помощью шпонок. Резиновые втулки обеспечивают нормальную работу привода даже при некоторой несоосности соответствующих валов. В такой передаче отсутствуют потери и КПД ее равен 100%.

*Клиноременная передача* состоит из ведущего шкива 1 (рис. 28, б), насаженного на вал двигателя, и ведомого шкива 2, насаженного на вал рабочего органа машины. Шкивы охватываются одним или несколькими кольцеобразными ремнями клинового сечения 3. КПД такой передачи 92—96%, передаваемая мощность — 200—300 кВт. Обычно используется понижающая передача:  $k=2\div 3$  и более. Клиноременная передача допускает кратковременную перегрузку до 200—300% и, что не менее важно, перемещение ведомого вала в плоскости шкивов (по стрелке, см. рис. 28, б). Это свойство клиноременной передачи используется в приводе быстроходных грохотов (ведомый шкив перемещается вместе с коробом грохота). Сечение и размер кольцеобразных ремней и шкивов стандартизованы.

В случаях, когда необходимо сглаживать пиковые нагрузки, пускать тяжело нагруженные механизмы и решать при этом задачу регулирования частоты вращения машины при постоянной частоте вращения двигателя, широко применяют муфты скольжения — гидравлические и индукторные.

*Гидравлическая муфта* состоит из двух колес (рис. 28, в): насосного 1, сидящего на ведущем валу, и турбинного 2,

установленного на ведомом валу. Для создания замкнутой гидроемкости гидромукта закрывается кожухом 3, который вращается вместе с насосным колесом. Пространства между лопатками насосного и турбинного колес представляют собой замкнутые каналы, заполненные в процессе работы жидкостью. При вращении насосного колеса рабочая жидкость под действием центробежной силы перемещается к периферии канала, приобретая при этом энергию. На периферии рабочая жидкость переходит в межлопаточные каналы турбинного колеса и отдает ему энергию, заставляя вращаться в сторону вращения насосного колеса. КПД такой передачи до 96%. Частота вращения меняется изменением подачи жидкости.

*Индукторная муфта* состоит из двух концентрично расположенных частей, связанных между собой магнитным потоком (рис. 28, г): индуктора 1, закрепленного на ведущем валу, и якоря 2 в виде полого стального цилиндра, насаженного на ведомый вал. Катушка возбуждения индуктора обтекается постоянным током, который подводится через контактные кольца и щетки. При вращении ведущего вала индуктор перемещается относительно якоря, в активной части которого наводятся вихревые токи. Взаимодействие вихревых токов с основным магнитным потоком индуктора создает крутящий момент, который приводит во вращение ведомую часть муфты. Регулируя ток возбуждения муфты, можно плавно менять крутящий момент, а следовательно, и частоту вращения механизма.

Управление муфтой может быть местное, дистанционное и автоматическое. Муфты выпускаются на моменты 75—1600 Н·м и частоты вращения 1500—3000 об/мин. Важной характеристикой такой муфты является ее способность рассеивать тепло, выделяющееся в результате наличия потерь скольжения.

Встречаются также порошковые и электромагнитные муфты скольжения, КПД муфт скольжения 95—98%.

*Ценные передачи* по принципу работы близки к ременной передаче, только шкивы здесь заменены зубчатыми колесами — звездочками. Цепные передачи используют для передачи мощности 50—100 кВт. КПД такой передачи 97—99%.

Зубчатый передаточный механизм также широко распространен в приводах обогатительного оборудования. Зубчатая передача представляет собой систему шестерен, закрепленных на ведомом, промежуточном и ведущем валах и размещенных в общем замкнутом корпусе. Для смазки шестерен в корпус заливают масло. Такое передаточное устройство называется редуктором. В зависимости от назначения применяют редукторы с цилиндрическими, коническими и червячными шестернями. Редукторы позволяют передавать вращательное движение при любом пространственном расположении валов. Передаваемые мощности достигают 50 000 кВт.

## **2. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ И АППАРАТЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ НА ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ ФАБРИКАХ**

### **2.1. ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ ФАБРИК**

Особенности электрооборудования обогатительных фабрик определяются условиями окружающей среды и режимом его работы, а также видами применяемого в соответствии с этим электрооборудования.

#### **2.1.1. Категории помещений обогатительных фабрик**

Производственные помещения по категориям распределяются в зависимости от характера окружающей среды на основании классификации, установленной Правилами устройства электроустановок (ПУЭ). Согласно этой классификации помещения обогатительных, агломерационных и окомковательных фабрик относятся к следующим категориям:

1. С токопроводящей пылью, которая может оседать на проводах, проникать внутрь машин и аппаратов—это помещения хранения, дробления, грохочения, транспортирования руды, концентрата, окатышей и агломерата;

2. С непроводящей пылью—это помещения хранения, подготовки и транспортирования асбеста, известняка;

3. Сырые, в которых относительная влажность длительно превышает 75%,—это помещения мокрого измельчения, флотации, сгущения, фильтрации, насосных станций;

4. С токопроводящей пылью и с химически активной средой, действующей разрушающе на изоляцию и токоведущие части электрооборудования—это помещения первичного смешивания, агломерации;

5. С непроводящей пылью—это помещения обжига.

Естественно, на всех обогатительных, агломерационных и окомковательных фабриках действуют две системы—вытяжной вентиляции и гидрообеспыливания. Это в значительной мере уменьшает содержание пыли и влаги в помещениях. Однако не настолько, чтобы отнести их к обычным сухим помещениям. К тому же в процессе нормальной эксплуатации периодически осуществляют промывку и обдувку машин, продувку трубопроводов, смывку полов. Могут возникать различные аварийные ситуации и связанные с ними утечки газов, жидкости и пыли (разрыв трубопроводов, перелив гидросмеси и др.).

#### **2.1.2. Режим работы электрооборудования**

К особенностям режима работы электрооборудования на обогатительных фабриках следует отнести его круглосуточную

работу в течение многих месяцев и поточный характер производства. Последнее означает, что остановка из-за неисправности электрооборудования одного агрегата вызывает отключение всех остальных, входящих в технологическую цепочку.

### 2.1.3. Виды электрооборудования, применяемого на обогатительных фабриках

Для работы в основных производственных помещениях фабрик применяют электродвигатели до 100 кВт в закрытом обдуваемом исполнении. Электродвигатели большей мощности применяют либо в закрытом обдуваемом исполнении, либо в защищенном исполнении с самовентиляцией.

В пыльных цехах к двигателям с самовентиляцией подводится наружный очищенный воздух. Для очень пыльных цехов (например дробильных) при затруднениях с подводом очищенного воздуха применяют двигатели средней мощности с замкнутой системой вентиляции и воздухоохладителем в верхней части станины.

В случае применения синхронных двигателей в пыльных цехах возбудитель для него также выбирается либо закрытого исполнения, либо с использованием полупроводниковых выпрямителей. Используют и возбудитель открытого типа, если он установлен в отдельном помещении.

Тихоходные синхронные двигатели для привода мельниц используют обычно в открытом исполнении с контактными кольцами, закрытыми кожухом.

Быстроходные синхронные двигатели применяют либо в закрытом исполнении с вентиляцией по замкнутому циклу и воздухоохладителями (привод аглоэксгаустеров), либо в защищенном исполнении (привод насосов и землесосов в помещениях хвостовых и насосных станций).

Электрические аппараты, используемые на фабриках для преобразования и распределения электрической энергии, для подключения, управления и защиты электродвигателей и других электрических устройств, по своему исполнению делятся на следующие группы:

1. Открытые, не имеющие специальных приспособлений для предохранения от случайного прикосновения к токоведущим частям и устанавливаемые в отдельных закрытых помещениях;

2. Защищенные, имеющие приспособления для предохранения от случайного прикосновения к токоведущим частям и устанавливаемые с двигателями и другими электрическими устройствами защищенного исполнения;

3. Закрытые и пыленепроницаемые, имеющие оболочку, защищающую их внутренние части от проникновения пыли, и устанавливаемые в помещениях — пыльных и с химически активной средой.

Во всех случаях использования в цехах принудительной вентиляции ориентировочный расход воздуха должен быть принят равным  $180 \text{ м}^3/\text{ч}$  на  $1 \text{ кВт}$  потерь. Потери мощности для электрических двигателей

$$P_{\text{п}} = P_{\text{ном}} \frac{1 - \eta_{\text{ном}}}{\eta_{\text{ном}}},$$

где  $P_{\text{ном}}$  — номинальная мощность электродвигателя;  $\eta_{\text{ном}}$  — номинальный КПД электродвигателя.

Потери мощности в ящиках сопротивлений можно принимать в среднем по  $1 \text{ кВт}$  на один ящик, в магнитных станциях (потери в катушках пускателей, контакторов и реле) — по  $0,2 \text{ кВт}$  на панель.

Температура охлаждающего воздуха должна быть не ниже  $+5^\circ \text{С}$  и не выше  $+35^\circ \text{С}$ .

## 2.2. ОСНОВНЫЕ ТИПЫ И ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЯЕМЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

В зависимости от назначения и режимов работы механизмов обогатительных фабрик для привода этих механизмов применяются электродвигатели как общего назначения, так и специальных конструкций с обычным — вращательным движением вала. К особой группе двигателей специальных конструкций относятся электровибрационные двигатели, рабочий орган которых совершает возвратно-поступательное движение. Используются они для привода электровибрационных машин (грохотов, вибропитателей).

### 2.2.1. Электродвигатели вращательного движения

Электродвигатели вращательного движения имеют определенную шкалу мощностей и установленный ряд модификаций. Наибольшее распространение, особенно для механизмов с продолжительным режимом работы, получили двигатели переменного тока и среди них асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором единой серии: А2 (защищенные в чугунной оболочке), АО2 (закрытые, обдуваемые в чугунной оболочке), АОЛ2 (закрытые, обдуваемые в алюминиевой оболочке). Двигатели данной серии устанавливаются в электроприводах мощностью до  $1000 \text{ кВт}$ . Данные двигатели выпускаются вместо двигателей серии соответственно А, АО и АОЛ.

После указанного обозначения серии двигателя приводятся цифры, обозначающие номер габарита и номер длины сердечника, а также цифры, указывающие число полюсов. Например обозначение А2-42-2 означает: двигатель единой серии А2, четвертого габарита, второй длины сердечника, двухполюсный.



Двигатели единой серии имеют семь электрических модификаций и шесть специализированных исполнений. Для обозначения модификаций в обозначениях типов двигателей добавляются буквы и цифры: П—с повышенным пусковым моментом (для дробилок, компрессоров); С—с повышенным скольжением (для механизмов с большими моментами инерции, с пульсирующими нагрузками и др.); Т—с повышенными энергетическими показателями (для круглосуточной работы); К—с фазным ротором (для регулируемого привода переменного тока); В—встраиваемое исполнение; А—с алюминиевой обмоткой; 6/4/2 и т. д.—многоскоростные с переключением числа пар полюсов.

Специализированные исполнения отображаются буквами после цифр: Т—тропическое; Х—химостойкое; В—влагоморозостойкое; Ш—малошумное; С1 и С2—для приводов соответственно нормальной и повышенной точности.

Двигатели единой серии выпускаются на напряжение 220/380 и 500 В для мощностей до 100 кВт, на напряжение 380/660 В для мощностей до 500 кВт и на напряжение 6000 В для мощностей 200 кВт и больше.

В настоящее время взамен серии А2 выпускается новая серия 4А асинхронных короткозамкнутых двигателей мощностью 0,12—400 кВт. Эти двигатели выпускаются в защищенном и в закрытом обдуваемом исполнениях. Исполнения этих двигателей, обозначаемые после шифра серии (4А), имеют следующие значения: конструктивное исполнение (Н—защищенное), материал станины и щитов (А—алюминий, Х—станина из алюминия, щиты из чугуна; отсутствие А или Х означает, что и станина и щиты из чугуна; высота оси вращения и установочные размеры (в миллиметрах).

Двигатели серий АН, АKN и АТД применяют для электроприводов мощностью 1000 кВт и более на напряжение 6 кВ.

Из синхронных электродвигателей применяют двигатели типа СД (защищенные с самовентиляцией) и СДЗ (закрытые с принудительной вентиляцией) мощностью 75—1000 кВт в приводах насосов, вентиляторов, компрессоров и др. Применяют и более мощные закрытые СТД и СТМ на напряжение 6 и 10 кВ в быстроходных приводах с длительным режимом работы.

Электродвигатели постоянного тока выпускаются единой серии П, которая включает в себя двигатели всего необходимого народному хозяйству диапазона мощностей и напряжений. Двигатели общепромышленного назначения имеют защищенное исполнение, параллельное возбуждение, допускают регулирование частоты вращения ослаблением поля главных полюсов в диапазоне 2:1. Генераторы имеют параллельное или смешанное самовозбуждение и применяются в системах Г—Д, в качестве возбудителей и для зарядки аккумуляторов. Использование их постепенно сужается, так как они вытесняются более экономичными полупроводниковыми преобразователями.

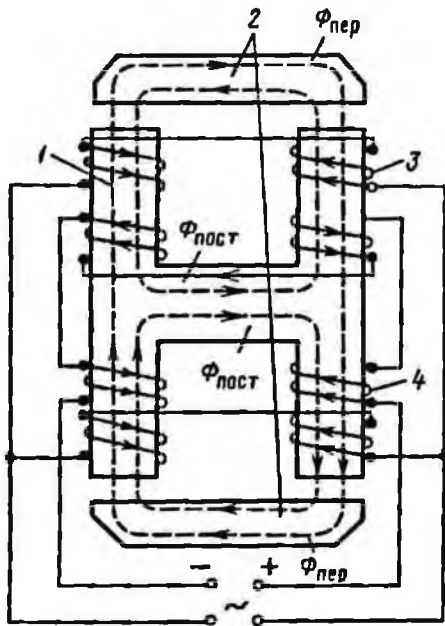
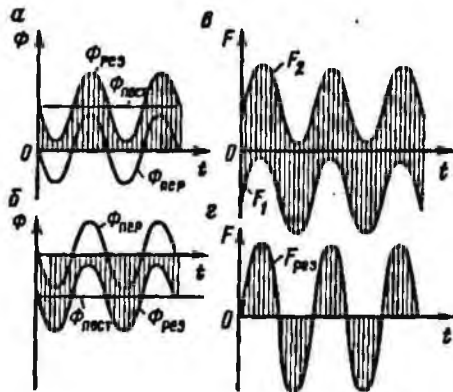


Рис. 29. Схема синхронного двигателя-вибратора

Рис. 30. Диаграммы магнитных потоков и сил притяжения синхронного двигателя-вибратора



К электродвигателям специальных конструкций относятся:

1. Крановые двигатели, предназначенные для тяжелого режима работы; выпускаются крановые двигатели постоянного тока серии Д (взамен ДП), асинхронные с фазным ротором серии МТФ, МТН (взамен МТВ и МТМ), асинхронные с короткозамкнутым ротором серий МТКФ и МТКН (взамен МКТВ и МКТМ), новая серия 4МТ с короткозамкнутым и фазным роторами, которая является унифицированной по установочным размерам с указанными выше двигателями серии 4А;

2. Синхронные двигатели специальных серий ВСД-325 (вертикальные, для привода водяных насосов), ДСМ (защищенные с самовентиляцией) и ДСМП (закрытые, продуваемые) с частотами вращения 167—250 об/мин для привода шаровых и стержневых мельниц.

### 2.2.2. Электровибрационные двигатели

Электровибрационные двигатели широко распространены на обогатительных и агломерационных фабриках. Наиболее современные из них двухтактные электровибрационные двигатели, позволяющие сохранить симметричность тока и не вносящие искажений в питающую сеть (рис. 29). Электродвигатель состоит из сердечника 1 Н-образной формы, двух якорей 2 и четырех обмоток переменного 3 и постоянного 4 тока. При совместном возбуждении переменным и постоянным током в статоре (сердечнике) возникают постоянные  $\Phi_{пост}$  и переменные (во времени  $t$ )  $\Phi_{пер}$  потоки (рис. 30, а, б). В результате воздействия результирующих потоков

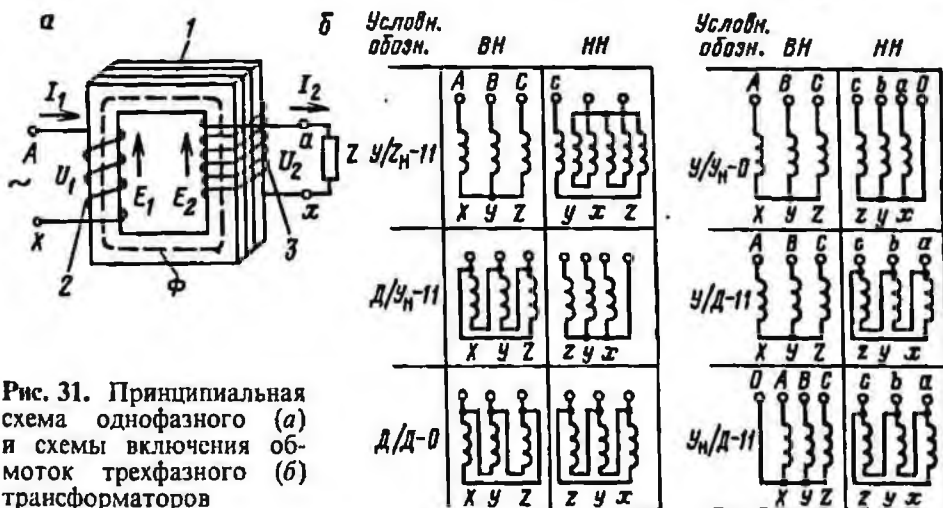
$F_{рез}$  силы притяжения для обеих половин электровибродвигателя  $F_1$  и  $F_2$  оказываются сдвинутыми по фазе и направленными в противоположные стороны (рис. 30, в). Равнодействующая сил притяжения обеих половин  $F_{рез}$  имеет синусоидальный характер (рис. 30, г). Под воздействием пульсирующего магнитного потока электровибродвигатель работает по двухтактному принципу — число колебаний синхронно частоте тока.

Изменение величины выпрямленного тока позволяет широко и плавно регулировать амплитуду колебаний от нуля до максимума.

### 2.3. ТРАНСФОРМАТОРЫ

Трансформатором называют статическое электромагнитное устройство, имеющее две или несколько индуктивно связанных обмоток и предназначенное для повышения или понижения напряжения переменного тока. Обмотки трансформатора размещаются на замкнутом магнитопроводе 1 (рис. 31, а), который выполнен из ферромагнитного материала, позволяющего уменьшить сопротивление магнитному потоку трансформатора. В однофазных трансформаторах первичную обмотку 2 подключают к источнику переменного тока с напряжением  $U_1$ . Ко вторичной обмотке 3 присоединяют сопротивление нагрузки  $Z_H$ . Обмотку более высокого напряжения называют обмоткой высшего напряжения (ВН), а обмотку низкого напряжения — обмоткой низшего напряжения (НН). Начала и концы обмоток ВН обозначают соответственно А и Х, а обмоток НН — соответственно а и х.

При подключении к сети в первичной обмотке возникает переменный ток  $I_1$ , который создает переменный магнитный поток  $\Phi$ , замыкающийся по магнитопроводу. Поток  $\Phi$  индуцирует в обеих обмотках переменные ЭДС —  $E_1$  и  $E_2$ ,



пропорциональные числам витков  $w_1$  и  $w_2$  соответствующих обмоток и скорости изменения потока  $d\Phi/dt$  (приращению потока в единицу времени). Таким образом, мгновенные значения ЭДС, индуцированные в обмотках, равны:

$$E_1 = -w_1 \frac{d\Phi}{dt} \text{ и } E_2 = -w_2 \frac{d\Phi}{dt},$$

следовательно,

$$E_1/E_2 = w_1/w_2.$$

Если пренебречь падениями напряжения в обмотках, которые обычно не превышают 3—5%, то можно считать, что  $E_1 \approx U_1$  и  $E_2 \approx U_2$ . Тогда

$$U_1/U_2 = w_1/w_2 = K.$$

Следовательно, подбирая число витков обмоток, при заданном напряжении  $U_1$  можно получить желаемое напряжение  $U_2$ . Коэффициент  $K$  называется коэффициентом трансформации. Он всегда больше единицы.

В системах передачи и распределения электроэнергии часто применяют трехобмоточные трансформаторы, а в системах автоматики — многообмоточные трансформаторы.

В трансформаторах преобразуются только напряжения и токи. Мощность же остается приблизительно постоянной (она несколько уменьшается из-за внутренних потерь энергии в трансформаторах). Следовательно,  $I_2/I_1 = U_1/U_2 = K$ . При увеличении вторичного напряжения в  $K$  раз по сравнению с первичным, ток  $I_2$  во вторичной обмотке соответственно уменьшается в  $K$  раз.

Трансформатор может работать только в цепях переменного тока.

Трехфазное напряжение преобразуется обычно с помощью трехстержневых трехфазных трансформаторов. Первичная и вторичная обмотки каждой фазы таких трансформаторов расположены на общем стержне. Питающее напряжение, как правило, симметрично, нагрузка по фазам распределяется по возможности равномерно. В этих условиях формулы однофазного трансформатора справедливы и для трехфазного, так как все фазы его находятся практически в одинаковых условиях.

Трансформаторы могут быть сухие — С (с воздушным охлаждением), масляные — М (с масляным охлаждением) и с охлаждением посредством негорючего жидкого диэлектрика — НД. В последних двух охлаждение может быть принудительным. В качестве трансформаторного масла применяется тщательно очищенное минеральное масло. В качестве жидкого диэлектрика чаще применяется соавтол. Масляные трансформаторы имеют небольшой расширительный бачок, принимающий на себя расширение объема масла при нагревании трансформатора. Расширители имеют воздухоосушители.

заполненные сорбентом — веществом, поглощающим влагу из воздуха, поступающего в расширитель. Расширитель уменьшает площадь контакта масла с воздухом, уменьшая тем самым загрязнение и увлажнение масла.

Трансформаторы, предназначенные для преобразования электрической энергии в сетях энергосистем и потребителей электроэнергии, называют силовыми трансформаторами. К ним можно отнести и трансформаторы, предназначенные для питания систем автоматики.

Трансформаторы, предназначенные для подключения электроизмерительных приборов, аппаратов и реле в электрические цепи высокого напряжения или в цепи, по которым проходят большие токи, называются измерительными трансформаторами.

К числу специальных трансформаторов, широко применяемых на фабриках, относятся сварочные трансформаторы.

### 2.3.1. Силовые трансформаторы

Силовые трансформаторы, выпускаемые отечественными заводами, разделены на несколько групп (габаритов) — от I до IV. Например, трансформаторы мощностью до  $100 \text{ кВ} \cdot \text{А}$  включительно относятся к габариту I, от  $160$  до  $630 \text{ кВ} \cdot \text{А}$  — к габариту II, от  $1000$  до  $63\,000 \text{ кВ} \cdot \text{А}$  — к габариту III и т. д.

Номинальные мощности трансформаторов соответствуют определенным шкалам. Выпущенные до 1961 г. соответствуют шкале:  $100, 135, 180 \text{ кВ} \cdot \text{А}$  и т. д. (коэффициент шкалы 1,35). Выпущенные после 1961 г. соответствуют шкале:  $100, 160, 250 \text{ кВт}$  и т. д. (коэффициент шкалы 1,6). Основные типы выпускаемых трансформаторов: масляные — ТМ, ТМН, ТМЗ; сухие — ТСЗ и с негорючей жидкостью (соавтолом) — ТНЗ.

На фабриках для питания потребителей электроэнергии применяют обычно двухобмоточные трехфазные силовые трансформаторы. Схемы соединения обмоток силовых трансформаторов, применяемых в СССР, приведены на рис. 31, б. Буквами XYZ обозначают начала обмоток высшего и буквами хуз начала обмоток низшего напряжений.

### 2.3.2. Измерительные трансформаторы

Измерительные трансформаторы подразделяют на два типа — трансформаторы напряжения и трансформаторы тока. Первые служат для подключения вольтметров, а также других приборов, реагирующих на значения напряжения; вторые — для подключения амперметров и токовых катушек других приборов. Измерительные трансформаторы изготовляют мощностью от 5 до нескольких сот  $\text{В} \cdot \text{А}$  (вольтампер); они рассчитаны для совместной работы со стандартными приборами (амперметрами на 1; 2; 2,5; 5 А и вольтметрами на 100 и  $100 \cdot \sqrt{3} \text{ В}$ ).

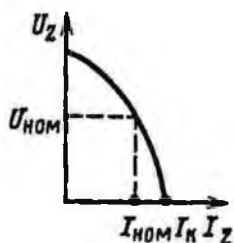


Рис. 32. Зависимость вторичного напряжения от тока нагрузки сварочного трансформатора

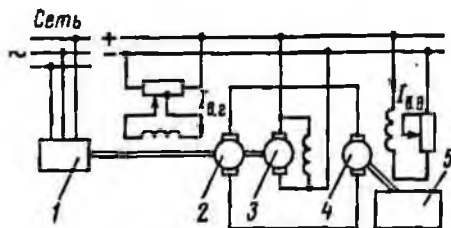


Рис. 33. Структурная схема электромашинного преобразователя в системе генератор — двигатель

Стационарные трансформаторы напряжения подразделяют на три класса по точности: 0,5; 1,0 и 3,0; лабораторные — на четыре класса: 0,05; 0,1; 0,2 и 0,5. Стационарные трансформаторы тока подразделяют соответственно на пять классов: 0,2; 0,5; 1,0; 3,0 и 10; лабораторные — на пять классов: 0,01; 0,02; 0,05; 0,1 и 0,2.

Промышленность выпускает большое число типов измерительных трансформаторов: наружной, внутренней установки и встроенные [10].

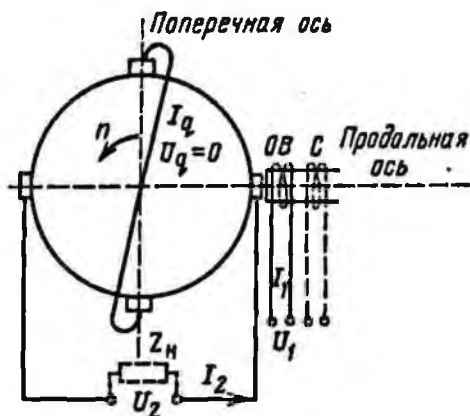
### 2.3.3. Сварочные трансформаторы

Сварочные трансформаторы представляют собой понижающие однофазные сухие трансформаторы, имеющие вторичное напряжение холостого хода 60—75 В. Такое напряжение необходимо для надежного зажигания электрической дуги. При номинальной нагрузке  $I_{ном}$  вторичное напряжение  $U_{ном}$  уменьшается до 30 В. Короткое замыкание ( $U_2=0$ ,  $I_2=I_k$ ) для сварочных трансформаторов является нормальным эксплуатационным режимом, так как сварочный трансформатор имеет крутопадающую зависимость вторичного напряжения от тока:  $U_2=f(I_2)$  (рис. 32).

## 2.4. ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА

В электроустановках обогатительных фабрик широко используются различные преобразовательные устройства. Из них наиболее распространены преобразователи, предназначенные для питания электроустановок, работающих на постоянном токе. До конца 50-х годов основным видом таких преобразователей были электромашинные агрегаты системы генератор — двигатель. В наиболее совершенном виде они представляли собой агрегат (рис. 33), в котором питаемый от трехфазной сети приводной двигатель переменного тока 1, генератор

Рис. 34. Схема электромашинного усилителя мощности



2 с возбудителем 3 и регулирующая аппаратура объединены в общий блок управления. Такой агрегат, предназначался для питания электродвигателя постоянного тока 4 привода производственного механизма 5. Регулирующая аппаратура служит здесь для управления токами возбуждения генератора  $I_{в.г}$  и двигателя постоянного тока  $I_{в.д}$ .

Подобные преобразователи применяются также в качестве сварочных агрегатов, агрегатов для зарядки аккумуляторных батарей.

Широкое распространение получили электромашинные преобразователи в качестве усилителей мощности. В таких преобразователях генератором служит машина постоянного тока, имеющая щетки, установленные как по поперечной оси (на нейтрали), так и по продольной оси (по оси полюсов) машины (рис. 34). Такие машины называют машинами поперечного поля. В установившемся режиме, характеризуемом частотой вращения  $n$ , магнитный поток по продольной оси, созданный током возбуждения  $I_1$  обмотки возбуждения ОВ, наводит ЭДС между щетками поперечной оси. Поскольку эти щетки замкнуты накоротко (напряжение между ними  $U_q = 0$ ), в поперечной оси возникает ток  $I_q$ . Созданный этим током и направленный по поперечной оси магнитный поток индуцирует ЭДС между щетками продольной оси, создающую напряжение на выходе  $U_2$  и, если есть нагрузка, ток  $I_2$ . Входное напряжение возбуждения  $U_1$  и выходное  $U_2$  связаны зависимостью:

$$U_2 = \frac{(M_q)n}{(r_q + L_q p)} \frac{(M_f)n}{(r_f + L_f p)} U_1,$$

где  $M_q$ ,  $M_f$ ,  $L_q$ ,  $L_f$ ,  $r_q$ ,  $r_f$  — постоянные, определяемые соответственно взаимной индуктивностью, индуктивностью и активным сопротивлением обмоток ротора и статора;  $n$  — частота вращения машины,  $p$  — число пар полюсов.

Таким образом, электромашинный усилитель является как бы двойным генератором. Сравнительно небольшим током

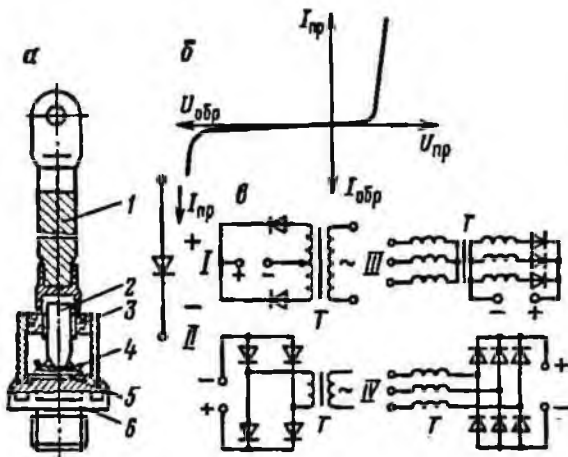


Рис. 35. Конструктивная схема (а), вольт-амперная характеристика (б) и схемы включения (в) кремниевых диодов:

1—наружный вывод; 2—внутренний гибкий вывод; 3—стеклянный изолятор; 4—молибденовый диск; 5—электронно-дырочный переход; 6—медное основание

возбуждения  $I_1$  здесь можно управлять достаточно большим током  $I_2$  нагрузки, обладающей сопротивлением  $Z_n$ .

Обычно электромашинные усилители снабжаются еще компенсационной обмоткой  $C$ , служащей для уменьшения, увеличения или компенсации намагничивающей силы, создаваемой током нагрузки  $I_2$ .

Электромашинные преобразователи могут представлять собой также преобразователи частоты, когда на выходе генератора создается напряжение нестандартной частоты (см. 1.12.4).

С 50-х годов на смену электромашинным преобразователям стали приходиться более экономичные статические преобразователи. Первыми такими преобразователями были ртутные выпрямители. Затем газонаполненные управляемые электронные приборы—тиратроны, электронно-вакуумные выпрямители. Однако массовое распространение статические преобразователи получили в результате создания и производства полупроводниковых приборов—диодов, тиристоров, транзисторов.

Из силовых полупроводниковых приборов серийно выпускаются кремниевые диоды и тиристоры. Основу диода (рис. 35, а) составляет электронно-дырочный переход 5, определяющий полупроводниковый эффект, который впаивают между молибденовыми или вольфрамовыми пластинами 4. Рядом представлены изображение диода, используемое в электрических схемах, и ток  $I_{пр}$  в проводящем направлении. Важная характеристика полупроводникового диода—его вольт-амперная характеристика (рис. 35, б), представляющая собой зависимость токов в прямом  $I_{пр}$  и обратном  $I_{обр}$  направлениях от соответствующих напряжений  $U_{пр}$  и  $U_{обр}$ . Основные схемы преобразователей на базе полупроводниковых диодов приведены на рис. 35, в. Целесообразность использования конкретной схемы (I—IV) зависит от мощности преобразователя и заданных значений выходных тока и напряжения. Диоды подключа-



Рис. 36. Конструктивная схема (а); вольтамперная характеристика (б); схема включения (в) и работы (г) силового тиристора:

1—вентильный элемент; 2—вывод управляющего электрода; 3—стеклянный изолятор; 4—штулка; 5 и 6—соответственно внутренний и внешний гибкий вывод

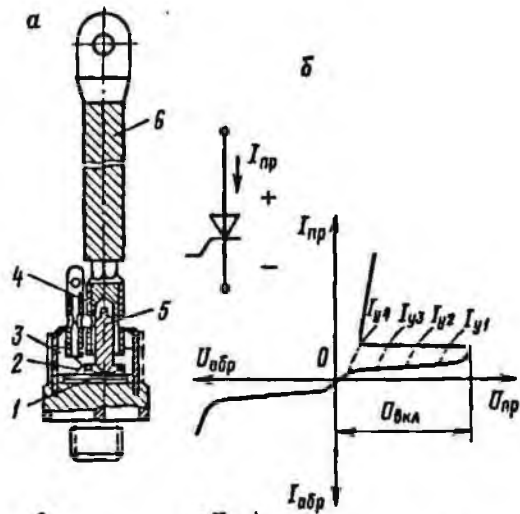
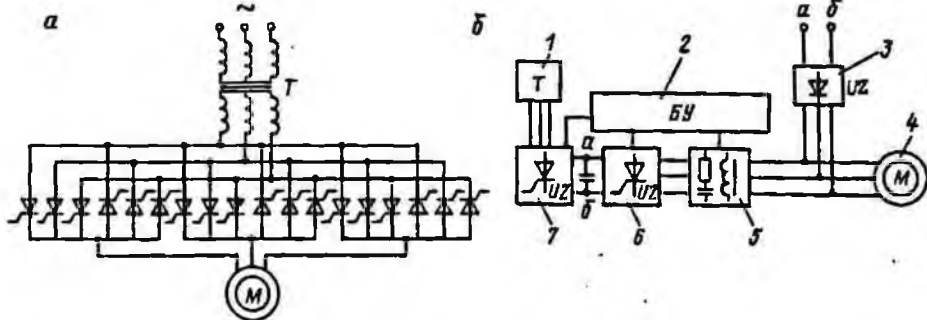
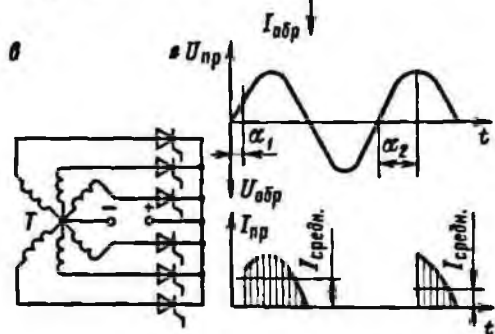


Рис. 37. Схемы тиристорных преобразователей частоты:

1—трансформатор; 2—блок управления; 3—мост возврата реактивного тока, связанного с потерями энергии; 4—регулируемый двигатель; 5—коммутатор; 6—яввертор; 7—управляемый выпрямитель



ются к сети переменного тока через трансформаторы  $T$ . На рис. 36, а представлена конструктивная схема силового тиристора. Основу силового тиристора (рис. 36, а) составляет четырехслойная электронно-дырочная структура 1, смонтированная в герметичный металлический корпус, предохраняющий от внешних воздействий и обеспечивающий необходимый теплоотвод. Анодом тиристора служит основание корпуса, имеющее резьбовую часть, катодом—гибкий медный вывод с наконечником. Управляющий электрод 2 выведен в сторону катода. Типы выпускаемых тиристорov приводят обычно в специальных справочниках. Вольтамперная характеристика имеет вид, представленный на рис. 36, б. Обратная ветвь ее

(зависимость  $I_{обр}$  от  $U_{обр}$ ) ничем не отличается от диодной. Вид прямой ветви свидетельствует о том, что тиристор может быть открыт двумя способами: подачей на анод напряжения  $U_{обр}$ , большего, чем напряжение включения  $U_{вкл}$ , или пропуском через управляющий электрод-катод положительного управляющего тока  $I_{y1}—I_{y4}$ . Тиристор остается в открытом состоянии и после отключения управляющего тока. Запирается тиристор снижением анодного тока в силовой цепи.

Тиристоры применяют как в управляемых выпрямительных преобразователях, так и в частотных преобразователях. В управляемых выпрямительных преобразователях используются те же схемы, что и на рис. 35, в. Однако в установках больших токов применяют еще и шестифазную систему (рис. 36, в). Регулирование выпрямленного напряжения и соответственно среднего тока  $I_{ср}$  в проводящем направлении осуществляется путем управления временем (фазой  $\alpha_1—\alpha_2$ ) отпирания тиристорov в процессе нарастания переменного напряжения  $U_{пр}$  по синусоидальному закону (см. рис. 36, з).

Тиристорные преобразователи частоты, как и соответствующие электромашинные преобразователи (см. рис. 21), предназначены для питания трехфазным напряжением регулируемых амплитуды и частоты. Такие преобразователи позволяют регулировать частоту вращения асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором в диапазоне 1:12.

Существуют два класса тиристорных (статических) преобразователей частоты: с непосредственной связью; с промежуточным звеном постоянного тока.

Преобразователь с непосредственной связью состоит из 18 тиристорov, объединенных во встречно-параллельные группы с отдельным управлением (рис. 37, а). Каждая фаза преобразователя состоит из двух таких встречно включенных выпрямителей. Группу из трех выпрямителей, имеющих общий катод, называют положительной или выпрямительной, а группу с общим анодом — отрицательной или инверторной. Выпрямительные группы могут управляться отдельно или совместно.

Чаще применяют преобразователи с промежуточным звеном постоянного тока. Блочная схема его представлена на рис. 37, б.

В зависимости от мощности полупроводниковые преобразовательные установки имеют различные системы охлаждения: естественное воздушное, принудительное воздушное и жидкостное. Полупроводниковые преобразователи имеют блочные и блочно-панельные (для преобразователей большой мощности) исполнения. Щиты управления преобразователями представляют собой металлоконструкцию каркасного типа.

## 2.5. АППАРАТЫ РУЧНОГО УПРАВЛЕНИЯ

*Рубильники* предназначены для ручного замыкания, размыкания или переключения электрических цепей. Они рассчитаны на отключение цепей без нагрузки или при незна-

Рис. 38. Рубильники

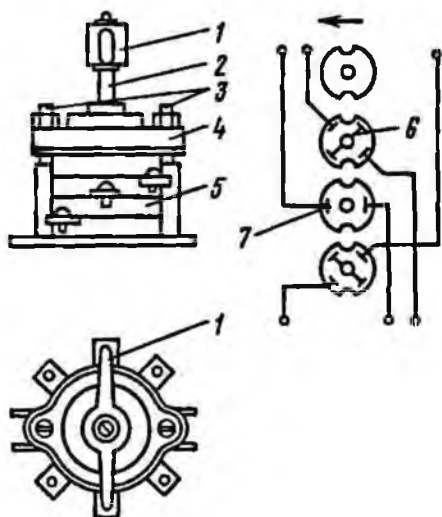
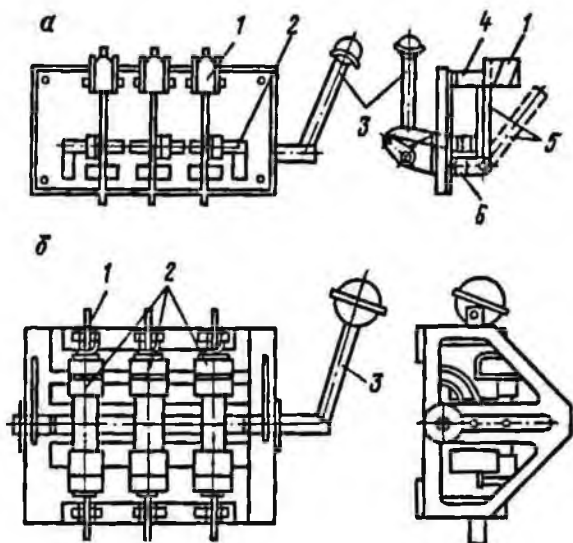


Рис. 39. Конструкция (а) и схема контактного устройства (б) пакетного выключателя

чительных токах нагрузки. При наличии соответствующих дугогасительных устройств допускают отключение тока до  $(1-1,25) I_{ном}$ . Выполняются рубильники на токи от 100 до 5000 А без гашения дуги. Отдельные серии, главным образом постоянного тока, выпускаются на токи до 10 кА. Рубильники с гашением выпускаются на токи 100—630 А, отдельные типы до 1500 А. Изготавливаются рубильники и на малые токи (5—10 А). Рубильники (рис. 38, а) выполняются одно-, двух- и трехполюсными. Основные элементы рубильника: неподвижные врубные контакты 4, подвижные контакты 5, закрепленные шарнирно в других неподвижных контактах 6, дугогасительное устройство 1 и привод 3. Привод его может осуществляться при помощи центральной рукоятки, боковой рукоятки через

вал 2 и через систему рычагов (когда рубильник помещен в распределительном шкафу, а рукоятка на передней панели шкафа).

Важнейшая часть рубильника—это контакты. Как правило, применяют врубные контакты. Лишь в рубильниках на малые токи контактное нажатие обеспечивается за счет пружинящих свойств материала губок.

К рубильникам относят также выпускаемые промышленностью блоки предохранитель-выключатель (рис. 38, б), состоящие из врубных контактов 1, блока предохранителей 2 и ручки привода 3. Кроме обычных функций рубильника предохранитель-выключатель размыкает электрическую цепь при коротких замыканиях (т.з.) и перегрузках выше допустимых.

*Пакетные выключатели* и переключатели предназначены для осуществления достаточно сложных переключений одновременно в нескольких электрических цепях и используются для пуска мелких асинхронных двигателей.

Выключатель состоит (рис. 39) из набора колец-пакетов 5 из изолирующего материала, внутри полостей которых расположено отдельное для каждого полюса контактное устройство. Контактное устройство имеет неподвижные контакты 7, закрепленные на кольце-пакете, и подвижный нож 6, поворачиваемый при помощи рукоятки на 90 или 120°. Ножи приводятся в движение вертикальным валиком 2 при помощи рукоятки 1. Пакеты стягиваются стяжными шпильками 3. В крышке 4 расположен также механизм мгновенного переключения и фиксации положения рукоятки. Поэтому при повороте ручки переключение сопровождается щелчком.

Контактная система каждого полюса (секции) создает два разрыва. Дуга гасится в закрытой камере, образованной между пакетами и снабженной дугогасительными газогенерирующими шайбами.

Секции полюсов многополюсных выключателей различаются только расположением неподвижных контактов в пазах изоляционных колец, а в переключателях—конфигурацией неподвижных контактов. Пакетные выключатели и переключатели серий ПВ и ПМ выпускаются одно-, двух- и трехполюсными с числом шайб до семи на номинальные токи от 10 до 400 А постоянного тока напряжением 220 В и от 63 до 250 А переменного тока напряжением 380 В.

*Автоматические воздушные выключатели* предназначены для автоматической защиты (отключения) электрических цепей при аварийных режимах (например, при коротких замыканиях, перегрузках, недопустимом снижении или исчезновении напряжения, изменении направления тока или мощности и т. д.), а также для нечастых оперативных коммутаций этих цепей.

Конструкции, параметры и защитные функции выключателей весьма различны. Они различаются: по числу полюсов, роду тока, по номинальному току автомата, роду встраиваемых

расцепителей, номинальному току расцепителей, способу присоединения внешних проводов, собственному времени отключения.

В качестве примера на рис. 40 представлен автоматический воздушный выключатель А-3700, состоящий из корпуса 1, токопроводов 2, пламегасительной решетки 3, дугогасительной 4, крышки 5, подвижных контактов 6, рукоятки 7, расцепителя максимального тока 8, рукоятки регулировки тока расцепителя 9, трансформаторов тока расцепителя 10, катушки и сердечника независимого расцепителя 11, якоря независимого расцепителя 12, изоляционной оси 13, неподвижных контактов 14.

Контроллеры служат для пуска, реверсирования и регулирования частоты вращения электродвигателей. Конструктивно они не связаны с сопротивлениями и являются отдельными аппаратами. В зависимости от формы контактного устройства (рис. 41, а) выпускаются следующие виды контроллеров: барабанные, кулачковые и плоские. Принцип работы контроллера рассмотрен на примере кулачкового контроллера (рис. 41). Кулачковые контроллеры (рис. 41, б) выпускаются на большие токи, чем другие виды контроллеров. Каждый коммутационный элемент кулачкового

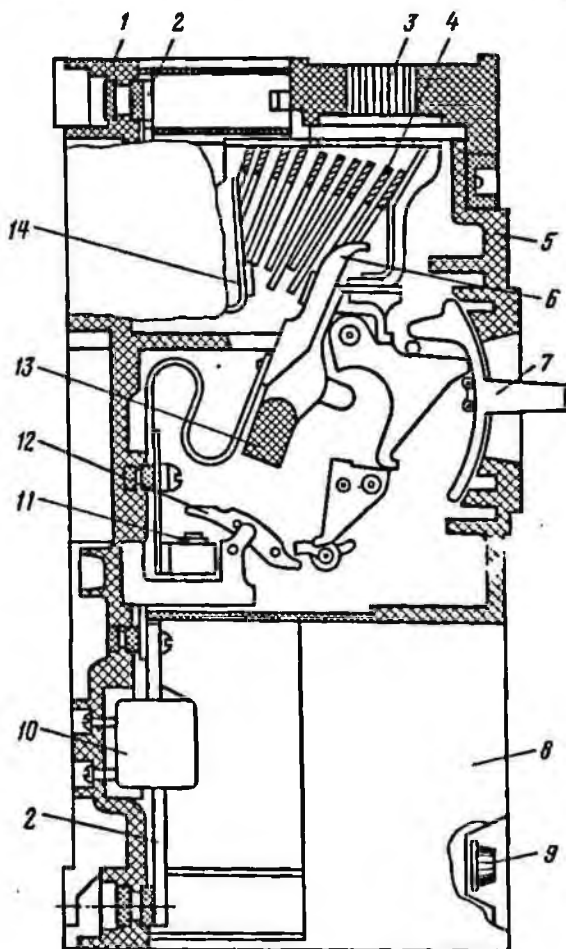


Рис. 40. Схематичное устройство автоматического воздушного выключателя А-3700

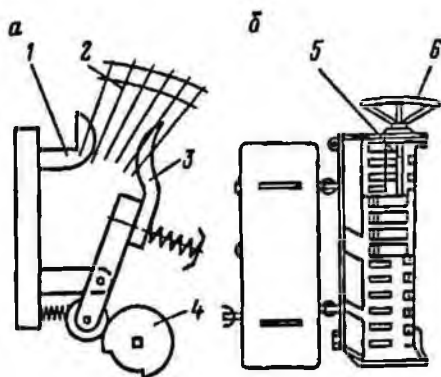


Рис. 41. Схематическое изображение контактного устройства (а) и общий вид (б) кулачкового контроллера:

1—неподвижный контакт; 2—дугогасительная камера; 3—подвижные контакты; 4—кулачок контроллера; 5—кулачковый вал; 6—приводное колесо

контроллера снабжается дугогасительной камерой. Поэтому он обладает высокой отключающей способностью. Управление контактами осуществляется фигурным кулачком. Передача движения через вращающийся ролик обеспечивает малый износ, что позволяет осуществлять до 600 включений/ч.

Барабанные контроллеры допускают всего 120 переключений/ч. Данный факт, а также большой износ трущихся поверхностей контактов ограничивают их применение. Барабанные контроллеры постепенно заменяют на более совершенные — кулачковые.

Плоские контроллеры выполняются на большее число ступеней, чем барабанные и кулачковые, но переключающая способность их меньше, чем последних. Применяются плоские контроллеры для переключений в цепях малых токов. Неподвижные контакты их расположены на плоской панели, подвижные закреплены на траверсе, перемещаемой ходовым винтом.

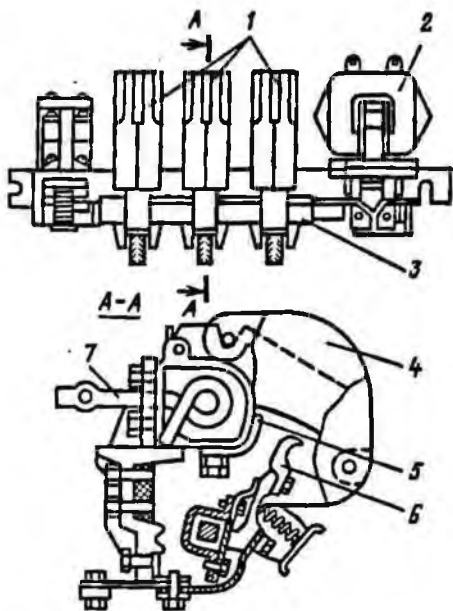
## 2.6. АППАРАТЫ ДИСТАНЦИОННОГО И АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

*Контакторы*—это аппараты дистанционного действия, предназначенные для частых включений и отключений силовых электрических цепей при нормальных режимах работы. Контакторы используются в качестве линейных, реверсирующих, ускорения, электродинамического торможения, гашения поля возбуждения электродвигателей.

Контакторы классифицируются: по числу полюсов (одно-, двух-, трех- и четырехполюсные); по роду тока (контакторы постоянного тока серий КПВ-600 и КПД-100Е, контакторы переменного тока промышленной частоты серий КТ и КТП, контакторы переменного тока повышенной частоты); по напряжению втягивающей катушки (110 и 220 В постоянного, 220 и 380 В переменного тока и др.), по способу присоединения внешних проводов (с передним и задним присоединением).

Конструктивная схема контактора переменного тока приведена на рис. 42.

Рис. 42. Общая компоновка контактора переменного тока серии КТ-6000: 1—блоки полюсов; 2—электромагнит; 3—вал; 4—дугогасительная камера; 5—неподвижный контакт; 6—подвижный контакт; 7—дугогасительная катушка



Надежная механическая конструкция и наличие магнитного дугогашения позволяют применять их для тяжелых условий работы. Включать контакторы можно до 1000 раз в 1 ч. Разрывная способность контактов достигает 10-кратного значения номинального тока. Втягивающие катушки контакторов рассчитаны для длительной работы при напряжении от 85 до 110% номинального. В контакторах ускорения с выдержкой времени электромагнитная втягивающая система обеспечивает, кроме того, необходимую выдержку времени перед замыканием контактов. Вспомогательные контакты контакторов производят переключения в цепях управления контактора, блокировки и сигнализации. Они рассчитываются на длительное протекание тока не более 20 А и отключение тока не более 5 А.

Пускатели предназначены для дистанционного управления (пуска, останова, реверса) трехфазными асинхронными двигателями. В исполнении с тепловыми реле пускатели осуществляют функцию защиты электродвигателей от длительных перегрузок и от токов, возникающих при обрыве одной фазы. Нереверсивные пускатели используют также для включения и отключения других видов трехфазных нагрузок.

Основная часть магнитного пускателя — контактор, катушка которого обеспечивает защиту от понижения напряжения. Для осуществления блокировки в пускатель встроены дополнительные блок-контакты.

Реверсивный магнитный пускатель представляет собой два нормальных пускателя, электрически и механически заблокированных между собой. Выпускаются магнитные пускатели серий ПМФ (на ток 3—25 А) и ПАЕ (на ток 40—146 А)

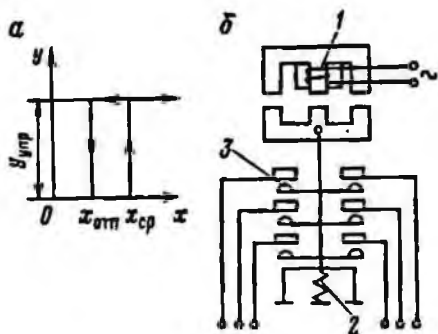


Рис. 43. Характеристика (а) и схема устройства электромагнитного реле напряжения (б)

в открытом, защищенном и пылебрызгонепроницаемом исполнениях.

Для установки в сырых помещениях, в помещениях, насыщенных пылью, газами, парами, а также во взрывоопасных помещениях изготавливают магнитные пускатели взрывозащищенные.

*Реле*—это коммутационный аппарат, широко применяемый в системах автоматического управления. Предназначено оно для автоматического изменения управляющего параметра  $y$  при изменении управляемого параметра  $x$ . Если функциональная связь между параметрами  $x$  и  $y$  имеет вид, представленный на рис. 43, а, то такое управление называется релейным, а аппараты, осуществляющие такое управление, называются реле.

При релейном управлении происходит скачкообразное включение управляющего воздействия  $y_{упр}$ , когда значение управляемого параметра  $x$  становится равным  $x_{ср}$ , и скачкообразное отключение его, когда значение управляемого параметра  $x$  становится равным  $x_{отп}$ .

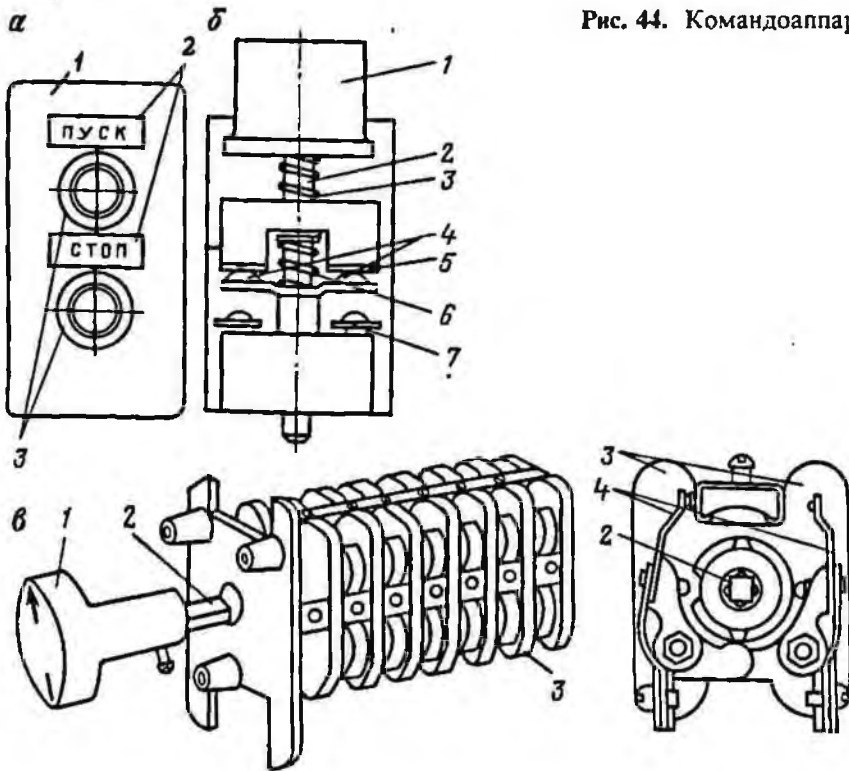
Функции, выполняемые реле, и соответственно их конструкции чрезвычайно разнообразны. Классифицируют реле по физической величине, на которую они должны реагировать. Различают реле: токовые, напряжения, мощности, направления энергии, тепловые, оптические и т. д.

Реле обычно содержит три основных элемента: воспринимающий, промежуточный и исполнительный. Воспринимающий элемент воспринимает контролируемую величину  $x$  и преобразует ее в физическую величину, необходимую для срабатывания реле. Промежуточный элемент служит для сравнения преобразованной величины  $x$  с заданным эталоном. Исполнительный элемент воздействует на управляемую цепь. Так, в электромагнитных реле напряжения (рис. 43, б) воспринимающим элементом служит катушка электромагнита 1, преобразующая контролируемое напряжение в силу, приводящую в движение подвижные контакты; промежуточным элементом (эталон) — пружина 2, исполнительным элементом — подвижные контакты 3.

Реле подразделяют: по способу включения воспринимающего элемента — на первичные, вторичные (включаются через



Рис. 44. Командоаппараты



трансформатор) и промежуточные (включаются через другие реле и предназначены для усиления и размножения сигнала); по принципу действия—на контактные и бесконтактные; по способу воздействия—на прямого и косвенного действия; по назначению—защиты, управления электропроводами, автоматики и электросвязи.

*Командоаппараты*—это устройства, предназначенные для переключений в цепях управления электрическими аппаратами постоянного и переменного тока. Замыкая и размыкая при помощи командоаппарата те или иные цепи, оператор может дистанционно подать команду на пуск или остановку электродвигателя или на изменение режима его работы. Воздействовать на командоаппарат могут и рабочие органы производственной машины. Наиболее распространены следующие командоаппараты: кнопки управления, универсальные переключатели, командоконтроллеры, путевые и конечные выключатели.

Кнопки управления применяют главным образом для дистанционного управления электромагнитными аппаратами постоянного и переменного тока. Устанавливаемые отдельно (рис. 44, а) смонтированы в металлическом корпусе 1, на крышке которого укреплены таблички 2, указывающие назначение кнопок. Нажимные колпачки 3 включающих кнопок окрашены обычно в черный цвет, отключающих—в красный.

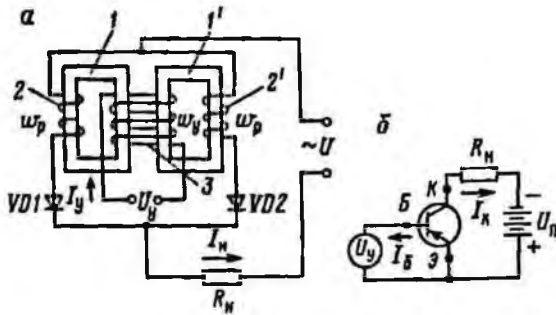


Рис. 45. Бесконтактные элементы

Конструктивно механизм кнопки (рис. 44, б) состоит из нажимного колпачка 1, связанного шпилькой 2 и возвратной пружиной 3 с подвижными контактами 4, размыкающих 5 и замыкающих 7 контактов, контактной пружины 6.

Универсальные переключатели (рис. 44, в) предназначены для ручного переключения цепей постоянного и переменного тока напряжением до 500 В. Они применяются для редких переключений цепей управления, как переключатели для вольтметров, амперметров и как коммутаторы для управления серводвигателями и различными электроустановками с неавтоматическим замыканием и размыканием тока, а также для переключения полюсов многоскоростных асинхронных двигателей малой мощности. Универсальные переключатели состоят из набора секций 3, собранных в пакеты. Через отверстия в секциях проходит центральный валик 2, связанный с рукояткой 1. Переключатели различных типов отличаются числом секций в пакетах и диаграммой замыкания контактов 4.

Командоконтроллеры применяются для переключения в цепях управления сложных схем автоматизированного электропривода при большой частоте переключений и когда требуется строгое чередование последовательности действий отдельных механизмов. Бóльшей частью это аппараты ручного или ножного управления. Командоконтроллеры могут иметь и двигательный привод. Тогда их называют программными реле. Командоконтроллер состоит из ряда контактных элементов и соответствующих конструктивных деталей, осуществляющих замыкание и размыкание контактов в зависимости от угла поворота вала. Различают командоконтроллеры плоские, бабанные и кулачковые.

Путевые и конечные выключатели осуществляют переключения в цепях управления в зависимости от пути, проходимого управляемым механизмом (путевые выключатели) или от положения управляемого или защищаемого механизма (конечные выключатели). Конечные выключатели применяются, например, для ограничения хода подъемно-транспортных механизмов. В зависимости от назначения путевых и конечных выключателей различают нажимные, рычажные и вращающиеся выключатели. Путевые и конечные выключатели бывают

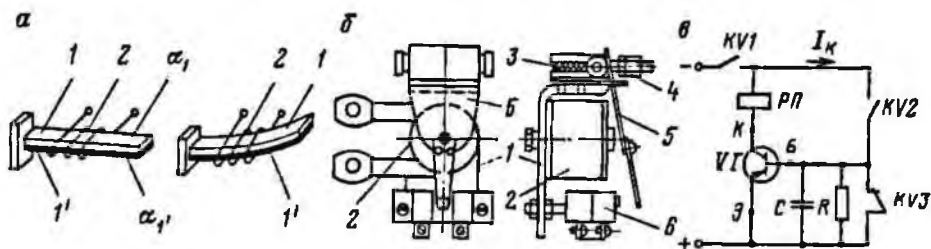


Рис. 46. Аппараты защиты

нерегулируемыми и регулируемыми, с механическим воздействием механизма на выключатель и без механического воздействия (электромагнитные, индукционные, фотоэлектрические и др.).

*Бесконтактные элементы* не имеют коммутирующих контактов, обязательных для контактных аппаратов. Принцип действия элементов может быть основан на различных физических явлениях, однако во всех случаях работа бесконтактного элемента сводится к изменению тока в электрической цепи нагрузки при воздействии на элемент управляющего сигнала.

По характеру реакции на управляющий сигнал бесконтактные элементы могут быть разбиты на две группы: 1. Усилители электрических сигналов; 2. Бесконтактные реле и переключатели.

Усилители характеризуются непрерывной и плавной зависимостью выходного сигнала (тока или напряжения) от входного управляющего сигнала. В устройствах автоматики широко применяются магнитные и полупроводниковые усилители.

Магнитный усилитель (рис. 45, а) состоит из двух стальных сердечников 1 и 1', рабочих катушек 2 и 2' с числом витков  $w_p$ , включенных в цепь переменного тока напряжением  $U$ , и катушки подмагничивания 3 с числом витков  $w_y$ , в которой под действием напряжения  $U_y$  протекает управляющий ток  $I_y$ . Принцип действия усилителя основан на изменении с помощью управляющего тока сопротивления магнитной цепи сердечника. Путем подмагничивания сердечника постоянным током управления можно в широких пределах изменять постоянный ток  $I_n$  в цепи нагрузки  $R_n$ . Диоды  $VD1$  и  $VD2$  служат для улучшения параметров усилителя — увеличивают коэффициент его усиления и быстродействие.

Полупроводниковые усилители основаны на использовании полупроводниковых германиевых и кремниевых триодов, называемых также транзисторами. Конструктивно транзистор состоит из трехслойного кристалла полупроводника, заключенного в металлический корпус. Каждый слой обладает особым типом проводимости и имеет вывод во внешнюю цепь. Крайние слои называются коллектором  $K$  (рис. 45, б) и эмиттером  $\mathcal{E}$  и включаются в схемы как анод и катод. Средний слой называется базой  $B$  и является управляющим электродом.

Эмиттер Э служит общей точкой как для цепи нагрузки, так и для цепи управления. Управляющее напряжение  $U_y$  подается на базу Б. Сопротивление нагрузки  $R_n$  и питающее напряжение  $U_n$  включены в цепь коллектора К. Небольшими токами  $I_6$  в цепи управления можно управлять значительно большими токами нагрузки  $I_n$ .

Бесконтактные реле—это частный вид усилителей, в которых усиление сделано столь большим, что получается скачкообразное изменение выходной величины при достижении управляющим сигналом некоторого порогового значения.

## 2.7. АППАРАТЫ ЗАЩИТЫ

Помимо элементов электрической защиты, встроенных в те или иные аппараты, применяются и отдельные устройства защиты, комплектуемые с пусковой и пускорегулирующей аппаратурой. К числу наиболее употребительных устройств защиты относятся: реле тепловой защиты, токовые реле, реле минимального напряжения, реле времени, предохранители.

*Тепловые реле* предназначаются для защиты электрических двигателей постоянного и переменного тока от перегрузки. Действие тепловых реле основано на разности линейного удлинения двух пластин  $l$  и  $l'$  из металлов с различными коэффициентами линейного расширения  $\alpha_1' > \alpha_1$  (рис. 46, а). Если пластины из двух таких разных металлов жестко соединены друг с другом, то при нагревании с помощью катушки 2 током они изогнутся в сторону материала с меньшим коэффициентом линейного расширения. Механическое усилие, развиваемое пластиной при изгибе, используется для замыкания или размыкания соответствующих контактов. Ток может проходить и непосредственно по пластине.

*Реле максимального тока* собирается на скобе магнитопровода (рис. 46, б). Реле состоит из скобы магнитопровода 1, токовой катушки 2, регулировочной пружины 3, регулировочного винта 4, якоря 5 и контактов 6. Уставки по току срабатывания указываются на шкале, закрепленной рядом с пружиной 3, создающей противодействующий момент. Реле максимального тока применяется в основном как защита от перегрузки и от короткого замыкания.

*Реле минимального напряжения* отличается от токовых реле в основном числом и сечением витков катушки. Защита минимального напряжения устанавливается в случаях: 1. Для электродвигателей, которые не допускают включения в сеть при полном напряжении; 2. Для электродвигателей, самопуск которых недопустим по технологическим причинам или представляет опасность для обслуживающего персонала; 3. Для прочих электродвигателей, отключение которых при прекращении питания необходимо для того, чтобы понизить суммарную пусковую мощность подключенных к сети электроприемников.

Защита минимального напряжения отключает установку при снижении напряжения более чем на 25% номинального.

*Реле времени* применяют: электромагнитные, создающие выдержку времени при помощи часового механизма; с электромагнитным замедлением (демпфером); электродвигательные; полупроводниковые; пневматические.

Электромагнитные реле времени с часовым механизмом запускаются напряжением, подаваемым на катушку электромагнита. При этом втягивающийся якорь запускает часовой механизм. В результате этого начинают перемещаться подвижные контакты и переключаются контакты мгновенного действия. По истечении установленной выдержки времени под действием заводной пружины часового механизма замыкаются сначала скользящие контакты и затем замыкающие. Время выдержки устанавливается на специальной шкале изменением положения контактов. При размыкании цепи катушки якорь и соответственно часовой механизм мгновенно возвращаются в исходное положение под действием пружины электромагнита. При этом одновременно происходит завод часового механизма. Реле выпускают для работы на постоянном и переменном напряжениях с выдержкой времени 0,1—20 с.

Реле времени с электромагнитным демпфером выполняют только на постоянный ток. Замедление спада тока (при отключении катушки) создается короткозамкнутым медным кольцом, одетым на сердечник. Реле изготовляют на выдержку времени до 10 с.

Реле времени электродвигательные предназначены для создания выдержки времени при передаче электрических сигналов в системах автоматики и телемеханики, когда требуются выдержки времени свыше 10 с и надо обеспечить строго последовательное (программное) коммутирование нескольких цепей. Реле выполняют на выдержки времени от 10 до 900 с с числом управляющих цепей до 16 для работы как на переменном, так и на постоянном токе. Реле состоит из следующих основных элементов: электродвигателя постоянного или переменного тока; червячной передачи с передаточным числом, соответствующим максимальной выдержке времени, создаваемой реле; контактного устройства, в которое входит контактный набор из включающих, размыкающих и переключающих контактов с устройствами их установки и регулирования и соответствующим числом переключающих кулачков; электромагнитов с устройствами управления двигателем, муфтой для сцепления и расцепления связи двигателя с редуктором и контактным устройством, возвратных пружин контактной системы.

Двигатель приводит в движение вал с кулачками, которые осуществляют переключение контактов в заданное время.

Полупроводниковое реле времени (рис. 46, в) основано на замедляющем действии  $RC$  цепи. При включении контактов

$KV1$  и  $KV2$  и размыкании  $KV3$  напряжение на конденсаторе равно нулю, база транзистора  $VT$  имеет положительный потенциал и ток коллектора  $I_c$  равен нулю. Затем конденсатор  $C$  заряжается и при определенном напряжении на базе транзистор открывается и реле  $PP$  срабатывает. Время заряда зависит от емкости конденсатора  $C$  и сопротивления резистора  $R$ . При отключении контактов  $KV1$  и  $KV2$  и замыкании контакта  $KV3$  конденсатор мгновенно разряжается и реле  $PP$  обесточивается. В пневмореле (РКВ-11) замедление создается дросселированием воздуха, сжатого в диафрагменном пространстве.

*Предохранитель* — коммутационный электрический аппарат, предназначенный для отключения защищаемой цепи посредством разрушения специально предусмотренных для этого токоведущих частей под действием тока, превышающего определенное значение. В большей части конструкций цепь отключается путем расплавления плавкой вставки, которая нагревается непосредственно током защищаемой цепи. После отключения цепи необходимо заменить перегоревшую вставку на исправную. Предохранители низкого напряжения изготавливаются на токи от миллиампер до тысяч ампер и на напряжение до 660 В, а предохранители высокого напряжения — до 35 кВ и выше.

Несмотря на многообразие конструкций предохранители имеют следующие основные элементы: корпус, плавкую вставку, контактное присоединительное устройство, дугогасительное устройство или дугогасительную среду. Ток, на который рассчитана плавкая вставка для длительной работы, называют номинальным током плавкой вставки. Номинальный ток предохранителя, указанный на нем, равен наибольшему из номинальных токов плавких вставок, предназначенных для данной конструкции предохранителя.

Плавкую вставку выполняют в виде пластинки переменного сечения или проволоки с наплавленным оловянным шариком. В последнем случае при токах перегрузки, когда температура проволоки достигает температуры плавления олова, шарик расплавляется и растворяет часть металла проволоки, сужая сечение проволоки в этом месте. При перегрузках, превышающих допустимые, нагрев суженных участков идет быстрее и плавкая вставка плавится в одном из самых нагретых мест.

Основное преимущество плавких предохранителей — токоограничивающее их действие. Плавкая вставка перегорает много раньше, чем ток в цепи при коротком замыкании успевает достигнуть установившегося значения. Таким образом ток короткого замыкания ограничивается в 2—5 раз.

Выпускаются предохранители: серии ПР-2 с закрытыми разборными патронами без наполнителя на напряжения 220 и 500 В, на номинальные токи патронов 15—1000 А и плавких вставок 6—1000 А; серий ПД и ПДС на напряжение постоянного тока до 350 В и переменного тока до 380 В, токи (для

Рис. 47. Резисторы

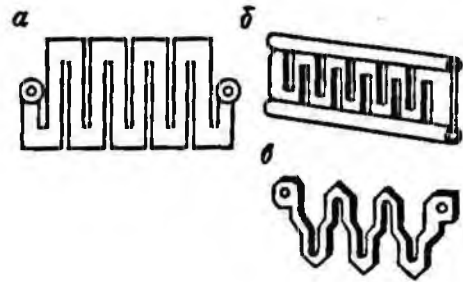
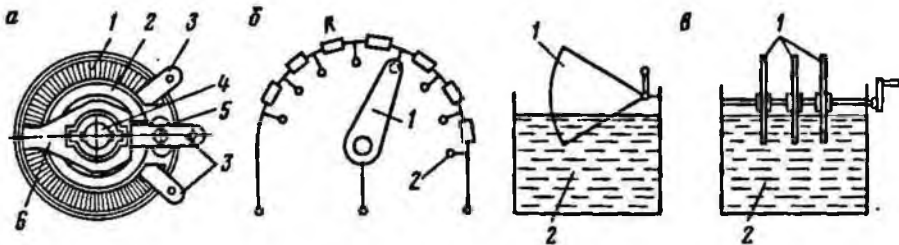


Рис. 48. Реостаты



ПД) 1—630 А и (для ПДС) 1—350 А; серии ПН-2 на напряжение до 500 В переменного тока и 440 В постоянного тока и на номинальные токи 100, 250, 400 и 630 А; серии НПБ-2 с закрытым патроном, с наполнителем, быстродействующие на номинальные токи 40—630 А (для защиты электроустановок с полупроводниковыми силовыми вентилями).

Плавкие вставки предохранителей плавятся при протекании через них в течение 1 ч тока, равного  $1,6 I_{\text{ном}}$ . При токе, равном  $4 I_{\text{ном}}$  они плавятся практически мгновенно. Для защиты трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором  $I_{\text{ном}}$  плавкой вставки выбирается по формуле

$$I_{\text{ном. в}} = \frac{I_{\text{ном. д}}}{1,6-2,5} \quad (2,5 \text{— при легком пуске; } 1,6 \div 2 \text{— при тяжелом}$$

и частых пусках). При защите асинхронных двигателей с фазным ротором и осветительных сетей величину  $I_{\text{ном}}$  плавкой вставки выбирают равной  $I_{\text{ном}}$  электроустановки.

## 2.8. РЕОСТАТЫ

По назначению реостаты подразделяют на следующие: пусковые (для пуска электродвигателей); пускорегулировочные (для пуска и регулирования частоты вращения электродвигателей); регулировочные (для регулирования тока или напряжения в электрических цепях); регулировочные для цепей возбуждения электродвигателей; нагрузочные.

Реостат состоит из набора резисторов и устройства, с помощью которого можно регулировать количество включенных

резисторов. Резистор — это элемент, изготавливаемый из материалов с высоким сопротивлением и предназначенный для ограничения и регулирования тока или напряжения.

Резисторы в виде отдельных конструктивных элементов могут выполняться чугунными (рис. 47, *а*), стальными с ребрами жесткости (рис. 47, *б*) и большой толщины (рис. 47, *в*). Несколько резисторов, собранных по определенной схеме и объединенных в единый конструктивный узел, называют ящиком резисторов. В зависимости от материала, из которого изготовлены резисторы, различают реостаты металлические, жидкостные, угольные и керамические. В резисторах электрическая энергия превращается в теплоту, которая должна от них отводиться. Различают реостаты с воздушным и жидкостным (в основном масляным) охлаждением. Наибольшее распространение получили металлические реостаты, которые выполняются со ступенчатым или непрерывным изменением сопротивления.

В реостатах со ступенчатым изменением сопротивления (рис. 48, *а*) на каркас из нагревостойкого материала (фарфор, стеатит) намотана проволока резистора 1. Для изоляции витков друг от друга проволоку оксидируют. По резистору и токоведущему кольцу 2 скользит пружинящий контакт 6, перемещаемый с помощью изоляционного стержня 4, на конец которого надевается рукоятка. Корпус 5 служит для сборки всех деталей, а пластины 3 — для внешних присоединений. Реостаты со ступенчатым изменением сопротивления выполняют также из набора резисторов  $R$  и ступенчатого переключающего устройства, состоящего из подвижного 1 и неподвижных 2 контактов (рис. 48, *б*). Металлические реостаты с масляным охлаждением обеспечивают увеличение теплоемкости и постоянной времени нагрева за счет большой теплоемкости и хорошей теплопроводности масла. Это позволяет при кратковременных нагрузках резко увеличить нагрузку на резисторы.

Для пуска и регулирования частоты вращения асинхронного двигателя с фазным ротором мощностью свыше 2000 кВт необходимы реостаты на большую, длительно рассеиваемую мощность (500 кВт и выше). Металлические реостаты с воздушным охлаждением получаются очень громоздкими. Для теплоотвода и переключения резисторов требуется сложная система управления. В этом случае целесообразней жидкостные реостаты, представляющие собой реостаты с непрерывным изменением сопротивления (рис. 48, *в*). Резисторным материалом здесь служит электролит 2 (например, водный раствор соды 2÷10%-ной концентрации). Электроды 1 изолированы друг от друга и каждый из них соединен с фазой ротора электродвигателя. Значение сопротивления обратно пропорционально концентрации раствора и площади погруженной части электрода и прямо пропорционально расстоянию между электродами. Регулирование сопротивления плавное, за счет



изменения глубины погружения электродов или изменения уровня электролита.

## 2.9. АППАРАТЫ ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Во всех высоковольтных установках для обеспечения видимого разрыва при отключении какого-либо участка цепи, а также для производства переключений и набора нужной схемы применяются *разъединители*. Все операции с разъединителями, как правило, выполняются при обесточенных цепях. Разъединители бывают для внутренней и наружной установки, трехполюсными на напряжение до 35 кВ и однополюсными на напряжение свыше 35 кВ.

Для наружной установки применяют разъединители с комбинированным движением ножа. С помощью системы привода нож входит в неподвижный контакт ребром, раскалывая лед. Затем, поворачиваясь вокруг своей продольной оси, нож раздвигает неподвижные контакты, обеспечивая тем самым их прижим к ножу.

Для напряжений от 10 до 500 кВ и токов до 2 кА применяют и более сложные разъединители горизонтально-поворотного типа. В этом случае разъединитель состоит из двух изоляционных колонн, установленных на соответствующих подшипниках на стальной раме. Число и размеры изоляторов в колонне определяются номинальным напряжением и током.

Разъединители снабжаются ручным, электродвигательным или пневматическим приводом. Во избежание ошибочных действий, т. е. размыкания под током, которое может привести к авариям и несчастным случаям, разъединитель всегда блокируется с выключателем. Блокировка допускает оперирование с разъединителем только при отключенном выключателе.

*Высоковольтные выключатели* предназначены для оперативных замыканий и размыканий цепей высокого напряжения при номинальных режимах работы и автоматического размыкания этих цепей при аварийных режимах (перегрузка, короткие замыкания). Автоматическое и достаточно быстрое отключение цепи при коротком замыкании—основная и наиболее ответственная операция выключателя. Выключатели выполняются на номинальные токи от 50 А до 20 кА и напряжения от 3 до 750 кВ с мощностью отключения от 50 до 40 000 МВ·А.

Основной фактор, определяющий конструкцию выключателя,—способ гашения дуги. Исходя из этого современные выключатели делятся на следующие основные типы: масляные выключатели—дуга гасится в масле (бывают баковые выключатели с большим объемом масла, служащим также изоляцией, и маломасляные выключатели с малым объемом масла, служащим для гашения дуги); воздушные выключатели—дуга гасится потоком сжатого воздуха, получаемого

от специального источника; воздушные автопневматические выключатели—сжатый воздух для гашения дуги создается за счет энергии отключающей пружины; автогазовые выключатели—дуга гасится газами, выделяющимися из стенок камер под действием высокой температуры дуги; выключатели со сжатым элегазом—дуга гасится в среде шестифтористой серы; электромагнитные выключатели—дуга гасится при помощи магнитного дутья в различных камерах; вакуумные выключатели—дуга гасится в вакууме.

Первые две группы выпускают на все токи и напряжения для внутренней и наружной установки. Остальные пять на сравнительно малые токи (до 300—600 А) и напряжения (до 6—15 кВ). Они чаще используются как выключатели нагрузки, а не для отключения токов короткого замыкания. В зависимости от назначения конструкции их разнообразны.

*Короткозамыкатель*—это аппарат, предназначенный для создания под действием защиты быстрого автоматического короткого замыкания электрической цепи при повреждениях в ней.

*Отделитель*—это аппарат, который предназначен осуществлять под действием защиты быстрое автоматическое отключение поврежденных участков электрической цепи в момент отсутствия в ней тока. По конструкции короткозамыкатель и отделитель представляют собой разъединители с быстродействующими приводами, управляемыми от системы защиты.

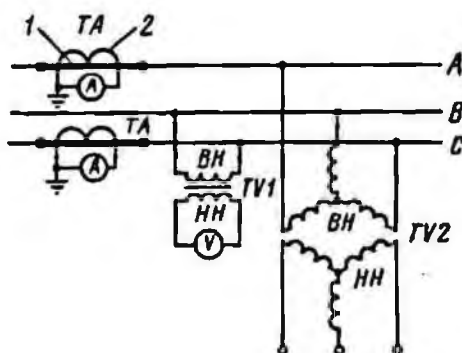
*Выключатели нагрузки* применяют в установках цеховых подстанций и распределительных пунктов напряжением 6—10 кВ. Выпускаются выключатели типа ВН-10. Встречаются и ранее выпускавшиеся ВНП-16 и ВНП-17.

Выключатели нагрузки могут быть без предохранителей и с предохранителями, предназначенными для защиты от токов короткого замыкания и расположенными сверху или снизу выключателя, с заземляющими ножами, также расположенными сверху или снизу выключателя.

Принцип действия выключателя нагрузки ВН-10, автогазового, с ручным приводом основан на гашении дуги потоком газов, образующихся вследствие разложения вкладыша из органического стекла. При отключении выключателя сначала размыкаются главные контакты, затем дугогасительные, расположенные в дугогасительной камере. При воздействии дуги на оргстекло вкладыша происходит интенсивное газовыделение. Пока дугогасительные контакты еще в камере, выход газов затруднен, давление их повышается и дуга гасится возникающими выхревыми потоками. Отключается выключатель ручным приводом или электромагнитом. Включается только ручным приводом.

*Измерительные трансформаторы тока и напряжения* предназначены для измерения тока и напряжения в силовых и высоковольтных сетях и для изолирования цепей измерения

Рис. 49. Схемы включения измерительных трансформаторов



от высокого напряжения. Применяются они как для внутренней, так и для наружной установки.

Трансформатор тока имеет две обмотки (рис. 49). Первичная обмотка 1 включается в измеряемую цепь. Ток этой обмотки и есть измеряемый ток. Вторичная обмотка 2 должна быть обязательно замкнута на нагрузку (на измерительный прибор или цепь защиты). Разомкнутое состояние вторичной обмотки является аварийным режимом, так как при отключении нагрузки ток в первичной обмотке не меняется и может привести к недопустимому росту напряжения на вторичной обмотке и к пробое изоляции. Вторичная обмотка должна быть к тому же и заземлена (на случай пробоя изоляции между первичной и вторичной обмотками). Конструкции ТТ весьма разнообразны и зависят от их назначения. Первичная обмотка может выполняться из изолированного или голого медного провода. При напряжении до 35 кВ широкое распространение получила изоляция обмотки от вторичной и от заземленных деталей литым компаундом. На напряжение 35 кВ и выше для открытой установки применяют трансформаторы тока с масляной изоляцией.

Трансформатор напряжения (см. рис. 49) однофазный *ТВ1* или трехфазный *ТВ2* имеет одну обмотку высокого напряжения *ВН* и одну или две обмотки низкого напряжения *НН*. Трансформаторы могут выполняться сухими — на напряжение до 10 кВ для внутренней установки, или масляными — на более высокое напряжение и для наружной установки. У масляных трансформаторов напряжения магнитопроводы с обмотками могут располагаться либо в стальных баках (при напряжении до 35 кВ), либо в фарфоровых крышках, заполненных маслом. При напряжении свыше 110 кВ применяют каскадные трансформаторы, представляющие собой установленные друг на друга блоки. Обмотка *ВН* равномерно распределена по блокам. Обмотка *НН* размещена в нижнем блоке на стержне, имеющем наименьший потенциал по отношению к земле.

*Шины* служат для приема и распределения электроэнергии и для электрического соединения между собой отдельных аппаратов. Они представляют собой полосы прямоугольного

или круглого сечения, изготавливаемые из меди, алюминия, стали. В установках напряжением до 35 кВ, связанных с протеканием больших токов, применяют шины прямоугольного сечения; в установках напряжением выше 35 кВ—шины круглого сечения, так как они исключают коронирование, т. е. истечение заряда с шин в атмосферу.

В настоящее время на обогатительных фабриках применяют в основном алюминиевые шины.

*Изоляторы*, применяемые в электроустановках, служат для крепления токоведущих частей и изолирования их от земли. Они обладают хорошими изоляционными свойствами, достаточной механической прочностью, теплостойкостью и влагу-стойчивостью. Материалом для их изготовления служит высококачественный фарфор. Изоляторы, применяемые в закрытых РУ, подразделяют на опорные и проходные. Опорные изоляторы служат для крепления шин при монтаже их на конструкциях, проходные—для крепления шин и проводов при переходе их через стены и перекрытия.

Провода линий электропередач (ЛЭП) напряжением 35 кВ и ниже закрепляют штыревыми изоляторами. Их крепят на опорах при помощи стальных крюков или штырей. При напряжении выше 35 кВ провода закрепляют подвесными изоляторами, собираемыми в гирлянды. Подвесные изоляторы применяют иногда и при напряжении 35 кВ.

Изоляторы для ЛЭП изготавливают из фарфора или специального закаленного стекла.

### **3. УПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ МЕХАНИЗМОВ ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ ФАБРИК**

---

#### **3.1. ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ СХЕМ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ НА ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ ФАБРИКАХ**

Под управлением электроприводом понимают обычно выполнение операций пуска, регулирования частоты вращения, реверсирования и торможения. На современных обогатительных фабриках операции управления электроприводами выполняются системами дистанционного, автоматизированного и централизованного управления. Структура этих систем должна обеспечивать выбор одного из этих режимов: централизованного со щита оператора и местного для производства ремонтных и наладочных работ.




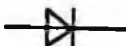



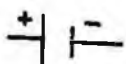



Для изображения функциональной связи между электродвигателями, аппаратами и другими элементами, входящими в систему управления электроприводом, используют электрические схемы. Наиболее полное представление об устройстве

Таблица 1

Обозначения	Наименование
	Контакт замыкающий, включатель
	Контакт размыкающий
	Контакт замыкающий с замедлителем, действующим при срабатывании
	Контакт размыкающий с замедлителем, действующим при возврате
	Контакт размыкающий с замедлителем, действующим при срабатывании
	Контакт размыкающий с замедлителем, действующим при возврате
	Выключатель кнопочный нажимной с замыкающим контактом
	Выключатель кнопочный нажимной с размыкающим контактом
	Контакт переключающий
	Контакт электротеплового реле (размыкающий)
	Контакт для коммутации силовоточной цепи, замыкающий дугогасительный
	Выключатель трехполюсный с автоматическим возвратом
	Выключатель лутевой
	Резистор постоянный

Обозначения	Наименование
	Резистор переменный
	Конденсатор постоянной емкости
	Обмотка теплового реле
	Обмотка реле, контактора, магнитного пускателя, электромагнита
	Обмотка статора машины переменного тока, обмотка последовательного возбуждения машины постоянного тока, обмотка напряжения
	Обмотка параллельного возбуждения машины постоянного тока, обмотка независимого возбуждения, катушка индуктивности
	Трансформатор трехфазный, трансформатор с ферромагнитным сердечником
	Трансформатор напряжения, трансформатор с ферромагнитным сердечником однофазный
	Трансформатор тока
	Предохранитель плавкий
	Обмотка токовая
	Дроссель с ферромагнитным сердечником
	Асинхронный трехфазный двигатель с короткозамкнутым ротором

системы управления и принципе ее работы дает принципиальная (полная) электрическая схема. Современные системы электроприводов содержат десятки и даже сотни отдельных элементов, электрически соединенных между собой проводами, кабелями

Обозначения	Наименование
	Асинхронный трехфазный двигатель с фазным ротором
	Двигатель синхронный трехфазный
	Двигатель постоянного тока с независимым возбуждением
	Диод полупроводниковый, выпрямитель полупроводниковый
	Диод управляемый (тиристор триодный)
	Лампа накаливания или осветительная
	Звонок электрический
	Элемент гальванический или аккумуляторный (источник тока)
	Рабочая обмотка магнитного усилителя
	Управляющая обмотка магнитного усилителя
	Тиристор

и шинами. В целях облегчения процесса составления схем и их чтения условные изображения всех элементов схем стандартизованы. В табл. 1 приведены условные изображения наиболее часто встречающихся на принципиальных схемах элементов систем.

Все цепи на принципиальных электрических схемах делятся на две категории: главные (силовые) цепи и цепи управления. К главным цепям относятся: цепи якорей, статоров и роторов электродвигателей, силовые цепи преобразователей и т. д. В цепях управления находятся катушки контакторов, реле, их контакты, обмотки и цепи

усилителей и других аппаратов, устройств защиты, управления и сигнализации. Главные цепи допускаются выделять на схеме утолщенными линиями, цепи управления — тонкими линиями.

Помимо графического изображения каждому устройству на схеме присваивается буквенное обозначение. Все элементы одного устройства обозначаются одинаковыми буквами. Наиболее часто встречаются следующие буквенные обозначения: *SB* — выключатель кнопочный; *KM* — линейный контактор; *KT* — реле времени; *KK* — реле тепловое; *KA* — реле максимального тока; *KV* — реле напряжения и т. д.

На основе принципиальных электрических схем разрабатываются монтажные схемы и схемы внешних подключений. Монтажные схемы представляют собой рабочие чертежи, по которым выполняется монтаж электрических цепей. На монтажной схеме расположение всех приборов и аппаратов соответствует их действительному размещению на панели. Разводку проводов и кабелей изображают с указанием сечения, марки и способа прокладки. На схеме внешних подключений изображают составные части системы и связи между ними, а при необходимости конструкцию помещения или местность, на которых они будут располагаться.

### 3.2. УПРАВЛЕНИЕ АСИНХРОННЫМИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯМИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Дистанционное управление асинхронными электродвигателями с короткозамкнутым и фазным роторами предусматривает операции включения, отключения или реверсирования двигателей при помощи магнитного пускателя или специальных блоков управления. На рис. 50, *а, б, в* приведены типичные схемы управления асинхронными двигателями с короткозамкнутым ротором. При нажатии на кнопку «Пуск» (рис. 50, *а*) включается магнитный пускатель *KM* и своими главными контактами включает электродвигатель в сеть. Одновременно замыкается блок-контакт *KM*, шунтирующий пусковую кнопку. При нажатии на кнопку «Стоп» разрывается цепь питания электромагнита пускателя, силовые контакты его размыкаются и двигатель отключается от сети. То же самое происходит при перегрузке двигателя, превышающей нормальную нагрузку на 10—20%. При этом срабатывают тепловые реле *KK1* и *KK2*, размыкающие контакты которых установлены последовательно с электромагнитом пускателя *KM*.

Автомат *QF* защищает силовую цепь от короткого замыкания. Плавкие предохранители защищают от короткого замыкания цепь управления. Кроме того, в этой схеме осуществляется также и нулевая защита, которая заключается в том, что при исчезновении или значительном снижении напряжения



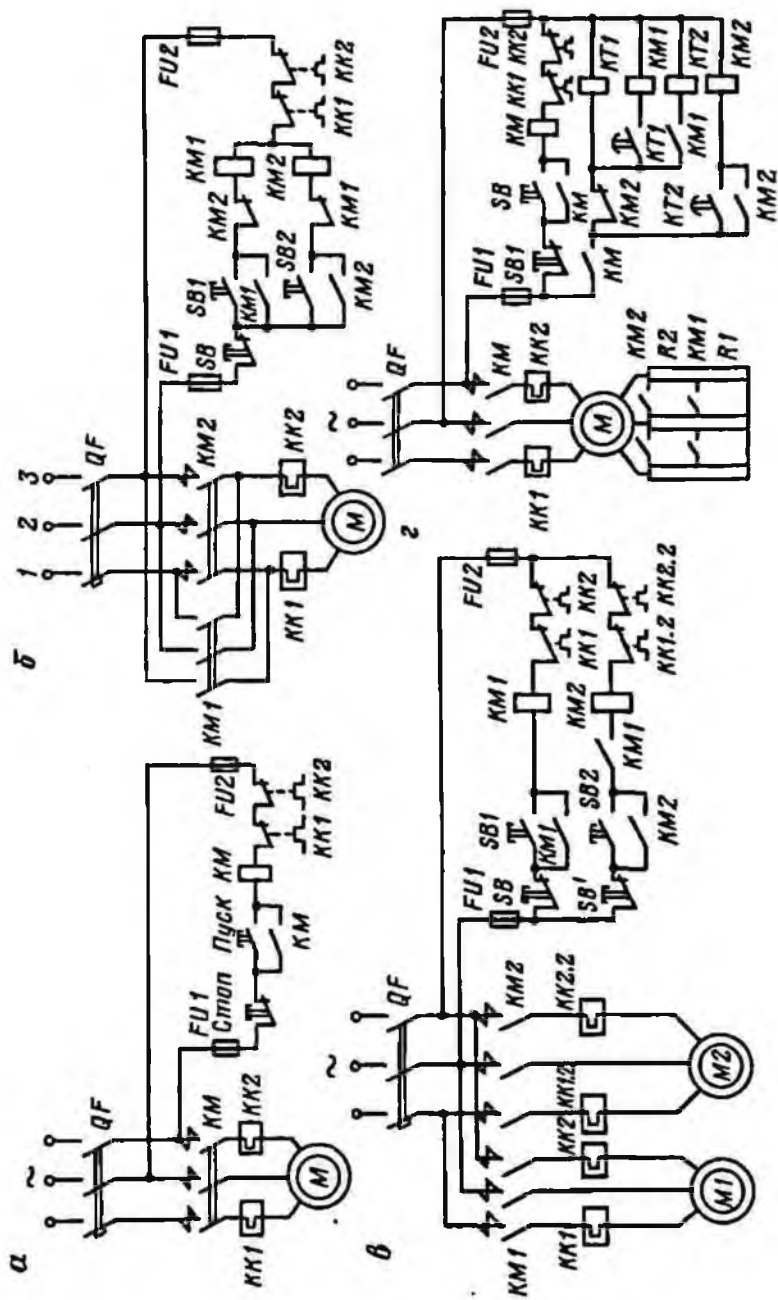


Рис. 50. Схемы управления асинхронными двигателями

питания катушка электромагнита пускателя *КМ* перестает удерживать пускатель во включенном состоянии. Главные контакты пускателя в результате этого размыкаются. Если после этого напряжение в сети вновь появится, то двигатели не включатся до тех пор, пока не будет нажата кнопка «Пуск».

В случае, когда по условиям технологического процесса необходимо изменять направление вращения производственного механизма (например, привод задвижек на трубопроводе и др.), применяют схему управления, позволяющую осуществлять реверсирование электродвигателя. Дистанционное управление реверсивным асинхронным короткозамкнутым двигателем осуществляется с помощью реверсивного магнитного пускателя (рис. 50, б).

Реверсирование двигателя достигается здесь переключением двух фаз статора двигателя. При нажатии кнопки *SB1* замыкается цепь питания контактора *КМ1*, который включает свои главные контакты *КМ1* в цепи питания двигателя и блок-контакт *КМ1*, шунтирующий кнопку *SB1*. Одновременно размыкается блок-контакт *КМ1* в цепи питания контактора *КМ2*. Этим предотвращается возможность включения в это же время контактора *КМ2*.

Для изменения направления вращения двигателя необходимо нажать кнопку *SB*, а затем кнопку *SB2*. При нажатии кнопки *SB* цепь питания контакторов разрывается и главные контакторы в силовой цепи размыкаются. При нажатии кнопки *SB2* замыкается цепь питания контактора *КМ2*, который замыкает свои главные контакты таким образом, что меняется порядок подключения двух фаз статора (1 и 3). Одновременно происходит переключение блок-контактов: замыкающий шунтирует кнопку *SB2*, а размыкающий разрывает цепь питания контактора *КМ1*, предотвращая включение его в период включенного состояния контактора *КМ2*.

Если два или более производственных механизма так увязаны технологически, что пуск и остановка их должны осуществляться последовательно один за другим, то применяют схему управления последовательным пуском и остановкой двигателей (рис. 50, в). Последовательность пуска и остановки обеспечивается здесь за счет электрических блокировок в цепях управления. Двигатель *М2* можно запустить только тогда, когда запущен двигатель *М1*. Пуск двигателя *М1* осуществляется нажатием кнопки *SB1*. Двигатель *М2* включается только тогда, когда блок-контакт *КМ1* замкнется. В то же время остановка двигателя *М2* производится нажатием кнопки *SB'* и не зависит от двигателя *М1*. При нажатии кнопки *SB* отключаются оба двигателя. Подобные схемы могут осуществлять групповой пуск электродвигателей механизмов технологического комплекса, либо последовательный пуск через определенные интервалы времени, если в схемах управления задействованы реле времени.

Схема управления трехфазным асинхронным двигателем с фазным ротором (рис. 50, з) используется при необходимости оснащения производственного механизма регулируемым приводом. Здесь  $KM1$  и  $KM2$  — контакторы ускорения, включение которых осуществляется в функции времени при помощи реле времени  $KT1$  и  $KT2$ .

Кнопкой  $SB$  включается контактор  $KM$ , подсоединяющий двигатель к сети. При этом в цепь ротора введено максимальное сопротивление ( $R1$  и  $R2$ ). Одновременно с этим блок-контакт  $KM$  включает катушку реле времени  $KT1$ , которое с заданной выдержкой времени включает катушку контактора ускорения  $KM1$ . При включении контактора  $KM1$  замыкаются его основные контакты  $KM1$  в цепи ротора. При этом шунтируется часть сопротивления цепи ротора. Одновременно с этим замыкаются блок-контакты  $KM1$  в цепи питания реле времени  $KT2$ . Реле времени  $KT2$  с заданной выдержкой времени включает второй контактор ускорения  $KM2$ . Его главные контакты шунтируют все сопротивления, включенные в цепь ротора. Двигатель переходит на нормальный режим работы. Замыкающие блок-контакты  $KM2$  шунтируют контакты реле времени  $KT2$  в цепи питания  $KM2$ .

После включения контактора  $KM2$  его блок-контакты  $KM2$  в цепи питания контактора  $KM1$  размыкаются и контактор  $KM1$  отключается. Это делается в целях экономии электроэнергии, так как контактор  $KM1$  при включенном  $KM2$  не несет функциональной нагрузки. Двигатель отключается нажатием кнопки  $SB1$ . Защита двигателя от короткого замыкания здесь также осуществляется с помощью автомата с электромагнитным расцепителем, от длительных перегрузок — тепловыми реле  $KK1$  и  $KK2$ . Цепи управления защищены от короткого замыкания предохранителями  $FU1$  и  $FU2$ .

### 3.3. УПРАВЛЕНИЕ СИНХРОННЫМ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕМ

Пуск производственного механизма, оснащенного синхронным двигателем, имеет особенности, связанные с принципом работы синхронного двигателя.

Если статор и ротор двигателя подключить к соответствующим сетям переменного и постоянного тока, то двигатель не запустится. Скорость магнитного поля статора устанавливается практически мгновенно, а ротор из-за значительной инерции остается неподвижным и требуемой магнитной связи между ними не возникает.

Как уже отмечалось, для пуска синхронных двигателей в их роторах, кроме обмотки возбуждения, размещается короткозамкнутая обмотка. Поэтому разгон синхронного двигателя происходит как асинхронного с короткозамкнутым ротором. По окончании разгона между вращающимся магнитным полем статора и ротором устанавливается необходимая

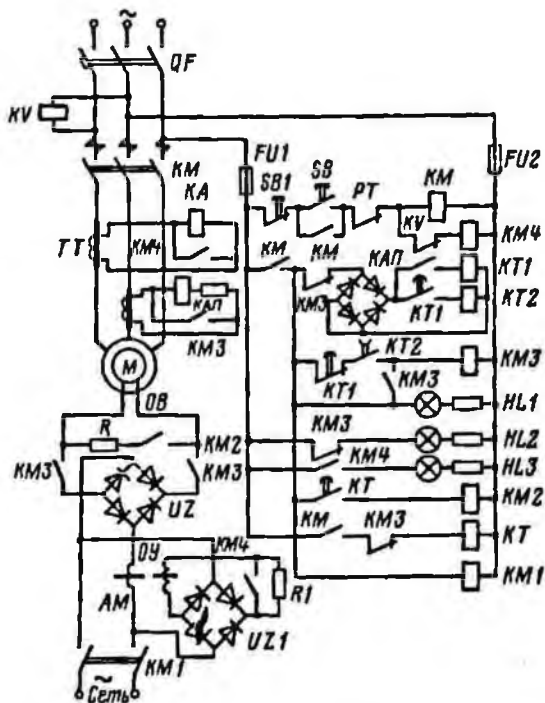


Рис. 51. Схема управления синхронным двигателем

магнитная связь. Обмотка возбуждения *ОВ* (рис. 51) синхронного двигателя получает питание от полупроводникового выпрямителя *UZ*, ток от сети в который поступает через силовую обмотку магнитного усилителя *АМ*. При изменении величины тока, протекающего через силовую обмотку магнитного усилителя, меняется и величина выпрямленного тока, подаваемого в *ОВ*. Для изменения тока в силовой обмотке *АМ* служит обмотка управления *ОУ* магнитного усилителя. Последняя получает питание от сети через выпрямитель *UZ1*.

При нажатии кнопки *SB* срабатывает контактор *КМ*, который своими главными контактами *КМ* присоединяет статор двигателя к сети. Ротор приходит во вращение в режиме асинхронного пуска. Одновременно через замыкающие блок-контакты *КМ* подается питание на катушку контактора *КМ1*. Главные контакты *КМ1* замыкаются и подают напряжение на систему питания *ОВ*. Другие блок-контакты *КМ* включают реле времени *КТ*, которое своими контактами *КТ* включает контактор *КМ2*, замыкающий обмотку возбуждения *ОВ* на сопротивление *R*.

В момент подключения статора двигателя к сети срабатывает реле пускового тока *КАП*, включенное во вторичную цепь трансформатора тока, и своим замыкающим контактом подает питание на катушку блокировочного реле *КТ1*. Включившись, реле *КТ1* сразу размыкает свой размыкающий контакт в цепи катушки контактора возбуждения *КМ3*

и замыкает свой замыкающий контакт в цепи катушки *KT2*. Реле *KT2*, срабатывая, сразу замыкает свой контакт в цепи катушки контактора *KM3*.

По мере разгона ротора в асинхронном режиме ток в статорной цепи падает. При достижении ротором частоты вращения, составляющей 95% синхронной, ток в статоре уменьшается до значения, при котором реле *КАП* отключается и контакты его размыкаются. При этом реле *KT1* теряет питание и с выдержкой времени замыкает свой контакт в цепи катушки *KM3* и с выдержкой времени размыкает цепь питания реле *KT2*, которое, потеряв питание, в свою очередь с выдержкой времени размыкает контакт в цепи катушки *KM3*.

В то время, когда реле *KT1* замыкает свой контакт в цепи катушки *KM3*, а контакт *KT2* еще не разомкнулся, создается цепь питания контактора *KM3*. Последний срабатывает и подает питание на обмотку возбуждения ротора. Двигатель втягивается в синхронизм. Контактор *KM2* при включении контактора *KM3* на время выдержки реле *KT* остается замкнутым. При этом сопротивление *R* на время синхронизации включено параллельно обмотке ротора, что уменьшает нагрузку на выпрямитель *UZ*.

Своим замыкающим блок-контактом *KM3* контактор возбуждения шунтирует и выводит из схемы токовое реле *КАП*, чтобы предотвратить его повторное включение при толчках нагрузки, а другим замыкающим блок-контактом *KM3* шунтирует контакты *KT1* и *KT2*, чем создается цепь питания катушки *KM3* при их размыкании.

При снижении напряжения питающей сети ниже допустимого значения реле *KV* замыкает свой размыкающий контакт *KV* в цепи катушки контактора *KM4*. Последний срабатывает и своими главными контактами *KM4* шунтирует сопротивление *R1* в цепи обмотки управления магнитного усилителя. Ток в обмотке управления *OU* возрастает и, следовательно, увеличивается ток возбуждения.

При обратном повышении напряжения сети до номинального сердечник реле *KV* втягивается, его контакт в цепи катушки *KM4* размыкается и форсировка возбуждения прекращается. На время форсировки возбуждения контактор *KM4* своим замыкающим блок-контактом шунтирует катушку токового реле защиты *KA* и тем самым выводит его из схемы во избежание срабатывания.

Сигнальные лампы позволяют наблюдать за работой схемы. Зеленая лампа *HL2* показывает наличие напряжения в силовой и управляющей цепях и сигнализирует о том, что схема в работу не включена. При срабатывании контактора *KM* загорается красная лампа *HL1* сигнализирующая о запуске двигателя. При включении контактора форсировки *KM4* загорается белая лампа *HL3*.

Двигатель отключается нажатием кнопки *SB1*. При этом катушка контактора *KM* обесточивается. Главные контакты

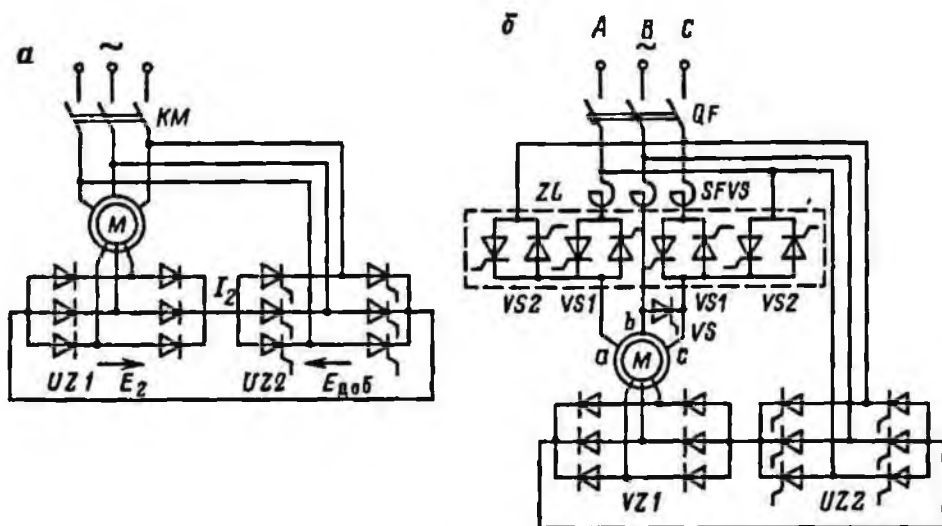


Рис. 52. Схемы управления асинхронными двигателями с использованием силовых полупроводниковых элементов

его размыкаются и отключают статор от сети, а блок-контакты *КМ* обесточивают катушку контактора *КМ1*, включающего цепи питания возбуждения.

В схеме предусмотрена максимальная токовая защита двигателя при помощи максимального токового реле *КА*.

Синхронные двигатели высокого напряжения запускаются на пониженном напряжении сети, подключаемой к статору. Полное напряжение подается при достижении синхронной частоты вращения.

#### 3.4. УПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯМИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИЛОВЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Помимо приведенных схем управления электроприводами переменного тока в современных и перспективных системах управления получают широкое применение схемы управления с использованием силовых полупроводниковых элементов — диодов, тиристоров. Так, в разделе 1 говорилось о принципах частотного регулирования частоты вращения асинхронного короткозамкнутого двигателя и регулирования частоты вращения асинхронного двигателя с фазным ротором по схеме асинхронно-вентильного каскада (АВК). Сегодня эти принципы управления получают широкое применение благодаря освоению производства тиристорных преобразователей частоты, сведения о которых приведены в разделе 1, и тиристорных систем АВК.

В асинхронно-вентильном каскаде (рис. 52, *а*) к обмоткам ротора двигателя подключен мостовой неуправляемый выпрямитель *UZ1*. Выпрямитель по контуру постоянного тока

питает трехфазный мостовой тиристорный инвертор  $UZ2$ . Инвертор в свою очередь подключается к общей сети переменного тока. Как и в схеме с машинным преобразователем (раздел 1), уменьшение угловой скорости привода достигается здесь посредством введения в цепь ротора добавочной встречной ЭДС  $E_{доб}$ , создаваемой в контуре постоянного тока управляемым инвертором  $UZ2$ . Как видно из рисунка, вектор ЭДС инвертора направлен против ЭДС ротора  $E_2$  в непроводящем направлении тириستоров и диодов. Это создает своего рода подпор напряжению выпрямителя и препятствует неограниченному нарастанию тока  $I_2$ , поступающего от ротора через выпрямитель.

В настоящее время серийно выпускаются тиристорно-диодные агрегаты серии АД, собранные по схеме АВК и предназначенные для плавного пуска и регулирования частоты вращения асинхронных двигателей с фазным ротором серий АК2, МТ, МТВ и МТМ мощностью до 100 кВт.

Для выполнения пусковых операций получают применение бесконтактные тиристорные пусковые устройства. Особенно в случаях, когда по условиям производства требуются частые пуски, остановы и реверс двигателей. Так, промышленностью освоено пускорегулирующее бесконтактное устройство ПРБУ (рис. 52, б). В состав ПРБУ входят тиристорное реверсивное коммутирующее устройство  $SFVS$ , токоограничивающие реакторы  $ZL$ , тиристор регулятора динамического торможения  $VS$ , автоматический выключатель  $QF$ , неуправляемый выпрямитель  $UZ1$  и инвертор  $UZ2$  асинхронно-вентильного каскада, рекупирующего в сеть энергию скольжения двигателя.

После подачи сигналов управления к тиристорам  $VS1$  они находятся в постоянно открытом состоянии. Двигатель вращается в одном направлении. При подаче сигнала управления к тиристорам  $VS2$  (после снятия сигналов управления с тиристоров  $VS1$ ) порядок чередования фаз питания обмотки статора двигателя меняется и происходит его реверс. Режим динамического торможения осуществляется предварительным отключением тиристоров  $VS1$  и  $VS2$  и последующей подачей управляющего импульса на тиристор динамического торможения  $VS$ . Изменяя фазу управляющего импульса тиристора  $VS$ , работающего в режиме однополупериодного выпрямителя, меняют величину тока возбуждения ротора.

Конкретные схемы могут быть значительно сложнее за счет всевозможных технологических и защитных блокировок.

### 3.5. УПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯМИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

При пуске в ход двигателя постоянного тока нельзя допускать превышения номинального тока якоря более чем

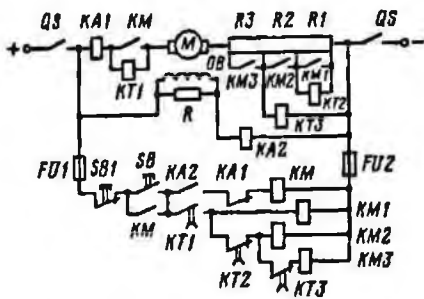


Рис. 53. Схема управления двигателем постоянного тока с параллельным возбуждением

в 2—3 раза. Превышение этой величины приводит к перегоранию коллектора и щеток. Поэтому двигатели постоянного тока средней и большой мощности пускаются обычно при включенных в цепь якоря дополнительных сопротивлений, которые по мере увеличения частоты вращения выводятся из цепи. Только двигатели мощностью до 5 кВт могут пускаться непосредственным включением в сеть.

Наиболее распространено управление двигателем постоянного тока с параллельным возбуждением в функции времени (рис. 53).

При включении контактов сетевого выключателя *QS* замыкается цепь питания нулевого токового реле *KA2*, которое замыкает свой контакт *KA2* в цепи катушки *KM*. Реле *KA2* отключает двигатель от сети при обрыве обмотки возбуждения. Если во время работы произойдет обрыв цепи обмотки возбуждения *OB*, то магнитный поток двигателя станет быстро уменьшаться, что при малой нагрузке на валу двигателя может повлечь за собой недопустимое увеличение частоты вращения двигателя, т. е. его разнос. Для отключения двигателя в этом случае и служит реле *KA2*.

При замыкании выключателя *QS* одновременно с токовым реле защиты от перегрузки *KA1* получает питание катушка реле времени *KT1*. Так как сопротивление якоря двигателя и пусковых резисторов намного меньше сопротивления *KT1*, последнее надежно втянет якорь. Контакт *KT1* в цепи питания катушек контакторов ускорения *KM1*, *KM2* и *KM3* размыкается при этом практически мгновенно. При нажатии кнопки *SB* получает питание катушка контактора *KM*. Своим главным контактом *KM* он замыкает главную цепь через якорь двигателя и двигатель начинает разгоняться. Главный контакт *KM* шунтирует катушку реле *KT1* и одновременно замыкает блок-контакт *KM*, шунтирующий пусковую кнопку.

Катушки реле *KT2* и *KT3* включены на падение напряжения на резисторах *R1*, *R2* и включаются одновременно с двигателем. Таким образом, при пуске двигателя в цепь якоря введены все резисторы *R1—R3*.

Через заданное время размыкается магнитная система реле времени *KT1*. При этом замыкается размыкающий контакт *KT1* в цепи питания катушки контактора *KM1*. Последний



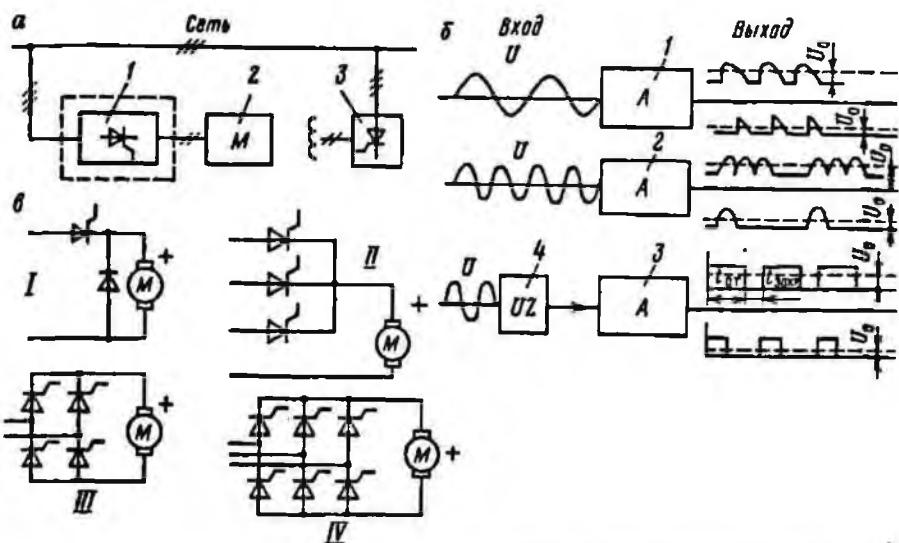


Рис. 54. Тиристорный преобразователь в электроприводе постоянного тока: а — структурная схема: 1 — тиристорный преобразователь; 2 — двигатель постоянного тока; 3 — регулятор возбуждения; б — способы преобразования напряжения: 1 — фазовый регулятор; 2 — интегро-импульсный регулятор; 3 — импульсный регулятор; 4 — выпрямитель; в — основные схемы мостовых цепей

срабатывает и своим главным контактом  $KM1$  шунтирует резистор  $R1$  и катушку реле  $KT2$ . Якорь этого реле с выдержкой времени отпускается, размыкающие контакты  $KT2$  замыкаются и включается контактор  $KM2$ . Он в свою очередь шунтирует резистор  $R2$  и катушку реле  $KT3$ . Якорь реле  $KT3$  с заданной выдержкой времени отпадает. При этом замыкается размыкающий контакт  $KT3$  и включает контактор  $KM3$ . Последний своим главным контактом шунтирует резистор  $R3$ . Теперь двигатель включен в цепь питания напрямую.

Таким образом, после нажатия кнопки  $SB$  происходит разгон двигателя с последовательным шунтированием пусковых сопротивлений. При нажатии кнопки  $SB1$  обесточивается катушка контактора  $KM$ . Его главные контакты размыкаются и двигатель отключается от сети. Одновременно размыкается замыкающий блок-контакт  $KM$ . Поэтому при опускании кнопки  $SB1$  контактор  $KM$  повторно не включается. То же самое происходит при срабатывании реле  $KA1$  или при обрыве цепи возбуждения.

При мгновенном отключении параллельной обмотки возбуждения, обладающей большой индуктивностью, на концах обмотки возникает большое напряжение, которое может привести к пробое изоляции. Для предотвращения этого параллельно обмотке  $OB$  включается резистор  $R$ .

Для питания двигателей постоянного тока в настоящее время широко применяют тиристорные преобразователи (рис. 54, а).

Такие преобразователи обеспечивают регулирование частоты вращения двигателя в широком диапазоне. Частота вращения

вниз от номинальной регулируется изменением напряжения на якоре, вверх — ослаблением потока возбуждения. Используют три основных способа преобразования постоянного по амплитуде переменного напряжения в регулируемое напряжение постоянного тока: фазовый 1, интегро-импульсный 2 и импульсный 3 (рис. 54, б).

Во всех случаях тиристоры обеспечивают подключение двигателя к источнику и отключение от него. В первом случае двигатель через тиристор подключен к сети определенную долю полупериода питающего напряжения  $U$ . Величина этой доли определяет среднее значение напряжения  $U_0$  постоянного тока, которым питается двигатель. Во втором случае тиристор связывает источник питания с двигателем на протяжении нескольких полупериодов питающего напряжения, а затем осуществляет паузу. Число полупериодов, а следовательно, и среднее значение напряжения  $U_0$  постоянного тока, регулируется. В третьем случае — обеспечивается питание двигателя импульсным напряжением одной полярности. Регулируется ширина импульсов и, как следствие, среднее значение напряжения постоянного тока, питающего двигатель.

Благодаря высокой частоте коммутации тиристоров преобразователя двигатель во всех трех случаях воспринимает среднее выпрямленное напряжение  $U_0$ .

На рис. 54, в приведены схемы I—IV силовых цепей тиристорного привода с наиболее часто применяемым фазовым управлением. В ряде случаев якорная цепь двигателя шунтируется вентилем, так называемым обратным диодом, образующим вместе с якорной обмоткой контур, в котором при закрытых тиристорах рассеивается запасенная в индуктивностях якоря энергия. Это предохраняет якорную цепь от перенапряжений в переходных режимах.

Тиристорные приводы постоянного тока, как правило, комплектуются сложными аналоговыми или цифровыми системами управления преобразователями. Современные микропроцессорные системы управления позволяют в полной мере использовать высокие регулировочные возможности тиристорного управления.

## **4. ЭЛЕКТРОПРИВОД МЕХАНИЗМОВ ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ ФАБРИК**

---

### **4.1. ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА МЕХАНИЗМОВ ДРОБЛЕНИЯ И ГРОХОЧЕНИЯ**

#### **4.1.1. Электропривод щековых дробилок**

Электродвигатели щековых дробилок работают в тяжелом режиме пиковых нагрузок. В течение одной половины оборота

эксцентрикового вала происходит дробление материала, а в течение другой — холостой ход щеки. Для сглаживания толчков нагрузки на эксцентриковый вал насаживают массивные маховики, аккумулирующие энергию при холостом ходе и отдающие ее при рабочем ходе. Это в свою очередь затрудняет условия пуска электродвигателей.

Для дробилок с нагрузками до 100 кВт применяют обычно асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором, при нагрузках более 100 кВт — асинхронные двигатели с фазным ротором. При нагрузках более 200 кВт в ряде случаев экономичнее высоковольтные электродвигатели на напряжение 6 или 10 кВ.

Нагрузка электродвигателей в щековых дробилках зависит от конструкции дробилки, от входного, выходного размеров и свойств дробимого материала. Когда известны все эти данные, мощность  $P$  (кВт) электродвигателя определяют по следующей зависимости:

$$P = \frac{\omega b \sigma^2 (D^2 - d^2)}{24 \cdot 300 E \eta},$$

где  $\omega$  — угловая скорость эксцентрикового вала, рад/с;  $\sigma$  — временное сопротивление сжатию дробимого материала, Па;  $b$  — длина рабочего пространства зева, м;  $D, d$  — диаметры соответственно входящих и выходящих кусков, м;  $E$  — модуль упругости материала, Па;  $\eta = 0,6 \div 0,7$  — КПД дробилки и ременной передачи.

Известны также зависимости, по которым можно приближенно оценить мощность  $P$  (кВт) двигателя.

Для щековой дробилки с простым движением щеки

$$P \approx 1,22 c L H s \omega,$$

где  $c$  — постоянная, зависящая от конструкции дробилки;  $L$  — длина пасти дробилки, м;  $H$  — высота неподвижной щеки, м;  $s$  — ход щеки, м;  $\omega$  — угловая скорость приводного вала, рад/с.

Для щековой дробилки со сложным движением щеки

$$P \approx 1,26 L H a \omega,$$

где  $a$  — эксцентриситет вала, м.

Мощность  $P$  (кВт) электродвигателя можно приближенно оценивать также по эмпирической формуле Д. И. Беренова:

$$P \approx k L B,$$

где  $k$  — коэффициент, для дробилок размером меньше  $250 \times 400$  мм  $k = 167$ , для дробилок размером до  $900 \times 1200$  мм  $k = 100$ , для дробилок размером более  $900 \times 1200$  мм  $k = 83$ ;  $L$  и  $B$  — соответственно длина и ширина загрузочного отверстия дробилки, м.

Учитывая тяжелые условия пуска, мощность двигателя принимают  $P_d = 1,5P$ .

Для управления низковольтными электродвигателями дробилок применяют обычные схемы с магнитными пускателями, приведенные в разделе 3. Для управления высоковольтными асинхронными двигателями используют высоковольтные выключатели, масляные пусковые реостаты. Широко используют и магнитные станции автоматического дистанционного пуска.

#### 4.1.2. Электропривод конусных дробилок

Для конусных дробилок применяют те же двигатели, что и для щековых. Возможно также применение для них и синхронных двигателей. Как и в случае щековых дробилок, если известны параметры дробилок и дробимого материала, то мощность  $P$  (кВт) двигателя можно более точно определить по выражению:

$$P = \frac{\sigma^2 \omega D_n (D^2 - d^2)}{7650 E \eta},$$

где  $\sigma$  — временное сопротивление сжатию дробимого материала, Па;  $\omega$  — угловая скорость вертикального вала дробилки, рад/с;  $D_n$  — диаметр нижней окружности неподвижного конуса, м;  $D, d$  — диаметры соответственно загружаемых и дробленых кусков руды, м;  $E$  — модуль упругости материала, Па;  $\eta$  — КПД дробилки и промежуточной передачи; или приближенно для конусной дробилки:

$$P \approx \frac{88 a_{cp} \omega F}{\eta}, \text{ причем } P_d = 1,5P,$$

где  $a_{cp}$  — эксцентриситет в средней части конуса, м;  $F$  — площадь боковой поверхности дробящего конуса, м<sup>2</sup>;  $\eta$  — КПД промежуточной передачи;

для конусной дробилки с консольным валом

$$P \approx \frac{28,5 a_{cp} \omega F}{\eta}, \text{ причем } P_d = 3P, \eta = 0,5.$$

Аппаратура управления двигателями конусных дробилок та же, что и для щековых дробилок. Поскольку помещения, где установлены дробилки, обычно запылены, электродвигатели и пускорегулирующую аппаратуру выбирают в закрытом исполнении (если их нельзя расположить в отдельном помещении).

#### 4.1.3. Электропривод валковых и молотковых дробилок

Валковые дробилки с гладкими валками приводятся в движение короткозамкнутыми асинхронными двигателями. Мощность двигателей для дробилок этого вида подбирается

в каждом конкретном случае и проверяется экспериментально.

Валковые зубчатые и молотковые дробилки также приводятся во вращение асинхронными короткозамкнутыми двигателями. Мощность  $P$  (кВт) двигателя для валковой зубчатой дробилки определяется по эмпирической формуле

$$P = kLDn,$$

где  $k=0,85$ ;  $L$  и  $D$ —соответственно длина и диаметр валков, м;  $n$ —частота вращения валков, об/мин.

Мощность  $P$  (кВт) двигателей молотковых дробилок определяется по эмпирической формуле

$$P = 1,5D^2Ln,$$

где  $D$ —диаметр ротора, м;  $L$ —длина ротора, м;  $n$ —частота вращения ротора, об/мин.

Для этих дробилок также применяется электрооборудование в закрытом исполнении. Управление двигателями обычное для асинхронных короткозамкнутых двигателей с использованием пускателей или контакторов.

#### 4.1.4. Электропривод обычных грохотов

Для приводов обычных грохотов применяют асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором, а также двигатели-вибраторы для электровибрационных грохотов. В качестве промежуточной передачи обычно применяют клиноременную передачу.

Мощность двигателя обычных грохотов не превышает обычно 20—25 кВт и определяется:

для эксцентрикового грохота по выражению

$$P \approx \frac{9,75mR\omega}{\eta} \left( \frac{\omega^2 r}{102 \cdot 10^4} + 8,75 \cdot 10^{-5} \right),$$

где  $m$ —масса подвижной рамы с ситами и материалом, кг;  $R$ —радиус эксцентрика, м;  $\omega$ —угловая скорость вала, рад/с;  $r$ —расстояние центра тяжести подвижной рамы от оси вала, м;  $\eta$ —КПД промежуточной передачи;

для инерционного грохота по выражению

$$P \approx \frac{9\omega^3}{\eta \cdot 10^3} \left( \frac{m_0 r d}{235} + \frac{m\delta^2}{370} \right),$$

где  $m_0 = \frac{m\delta}{r}$ —масса инерционных грузов, кг;  $m$ —масса вибрирующих частей грохота и сортируемого материала, кг;  $r$ —радиус окружности, по которой движется центр тяжести инерционного груза, м;  $d$ —диаметр цапфы вала, м;  $\delta$ —амплитуда колебаний сита, м.

Амплитуда колебаний обычно составляет 1,5—5 мм, а угловая скорость вала 105—210 рад/с (1000—2000 об/мин).

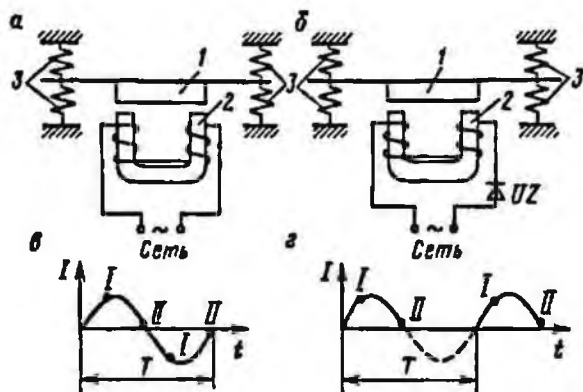


Рис. 55. Схема реактивного двигателя-вибратора

Для барабанного грохота мощность  $P$  (кВт) двигателя приближенно  $P = 0,075 \cdot 10^{-3} \Pi$ , где  $\Pi$  — производительность грохота, кг/ч.

#### 4.1.5. Электропривод электровибрационных грохотов

В электровибрационных грохотах двигатели-вибраторы разделяют на реактивные и синхронные. Наиболее прост реактивный двигатель-вибратор (рис. 55, а, б). Этот двигатель представляет собой по сути дела электромагнит переменного тока, якорь  $I$  которого совершает возвратно-поступательные движения. Вибрации якоря передаются сити грохота или вибрирующей раме с ситом. При значениях переменного тока  $I$ , близких к максимальному (точка  $I$  на рис. 55, в) якорь  $I$  притягивается к сердечнику 2, а при спаде тока (точка  $II$ ) он отталкивается силами реакции пружин 3. Число возвратно-поступательных движений-вибраций в единицу времени зависит от частоты переменного тока. При промышленной частоте 50 Гц за один период  $T$  переменного тока якорь с ситом будут совершать два колебания или 6000 колебаний/мин. Такая частота на практике неприемлема. Требуемое качество сортировки обеспечивается обычно при частотах 600—3000 колебаний/мин. В связи с этим двигатели-вибраторы питаются или током пониженной частоты от синхронного генератора, вращаемого асинхронным двигателем, или током промышленной частоты по схеме с однополупериодным выпрямителем  $UZ$  (см. рис. 55, б).

В последнем случае сила тока  $I$  в катушке достигает максимума и минимума уже не 2 раза за период, а 1 раз (см. точки  $I$  и  $II$  на рис. 55, г). В связи с этим двигатель-вибратор совершает 3000 колебаний/мин, что уже приемлемо.

Описание синхронного двигателя-вибратора приведено в разделе 2.

В табл. 2 даны размеры вибрирующего сита, требуемые число вибраторов, число вибраций и мощность двигателей-вибраторов.

Таблица 2

Основные размеры, мм		Число вибраторов	Частота вибраций, мин <sup>-1</sup>	Требуемая мощность, кВт
длина	ширина			
800	1600	1	3000	0,5
900	1800	1	3000	0,5
1000	2000	2	3000	1,0

## 4.2. ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА МАШИН ДЛЯ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ, КЛАССИФИКАЦИИ, КОНЦЕНТРАЦИИ И ОБОГАЩЕНИЯ

### 4.2.1. Электропривод мельниц

Режим работы мельниц более равномерен, чем дробилок. При мощностях до 100 кВт для привода мельниц применяют асинхронные электродвигатели с короткозамкнутым ротором с глубоким пазом или с двойной короткозамкнутой обмоткой на роторе. При мощностях свыше 100 кВт преимущественное применение находят синхронные электродвигатели, при мощностях свыше 200 кВт — высоковольтные двигатели.

Для передачи вращения от двигателя к мельнице небольшой мощности используют клиноременную передачу, к мощным мельницам — только редукторную. Современная тенденция — применение тихоходных двигателей, совмещенных с барабанами мельниц.

Для облегчения пуска в приводах мельниц применяют неревверсивные электромагнитные муфты. При установке такой муфты двигатель мельницы пускают вхолостую. Затем, подавая напряжение на катушку муфты, сочленяют двигатель с мельницей. В тех случаях, когда мощность двигателя мельницы определяется не нагревом, а значением требуемого пускового момента, применение электромагнитных муфт дает возможность выбрать двигатель с меньшей мощностью.

Для определения необходимой мощности  $P$  (кВт) двигателя мельницы известно несколько приближенных формул, полученных экспериментально.

Формула Левинсона, дающая несколько завышенное значение мощности:

$$P = 9,8 \frac{m \sqrt{R}}{\eta} 10^{-3},$$

где:  $m$  — масса мелющих тел, кг;  $R$  — радиус мельницы, м;  $\eta$  — КПД передачи (в среднем  $\eta = 0,8$ ).

Формула Таггарта, дающая наиболее точные результаты для мельниц средней мощности:

$$P = (4,22 + 2,65D) m \cdot 10^{-3},$$

где  $m$  — масса мелющих тел, кг;  $D$  — диаметр мельницы, м.  
 Формула ВТИ-ЦКТИ, наиболее точная формула:

$$P = 9,55 D \omega L (0,1 + 102 D^2 \gamma_0 \varphi^{0,9} k_m),$$

где  $D$  — внутренний диаметр мельницы, м;  $L$  — внутренняя длина мельницы, м;  $\omega$  — угловая скорость мельницы, рад/с;  $\gamma_0$  — масса единицы объема мелющих тел вместе с материалом, кг/м<sup>3</sup>;  $k_m$  — поправочный коэффициент на размолоспособность материала (для большинства материалов  $k_m = 1,05$ );  $\varphi$  — коэффициент заполнения мельницы (обычно  $\varphi = 0,35 - 0,45$ ).

Сравнение экспериментальных данных и данных, получаемых в результате расчета по формуле ВТИ-ЦКТИ, показывает, что при переходе к мельницам самоизмельчения необходимо вводить поправки, учитывающие влияние насыпной плотности измельчаемой среды, способа измельчения и содержания твердого в гидросмеси (при мокром самоизмельчении). Достаточное для практических расчетов приближение к экспериментальным данным дают расчеты потребной мощности двигателя по уточненной формуле ВТИ-ЦКТИ:

$$P = 0,33 \sqrt{2} \delta_n D^{2,5} L \varphi^{0,9} \psi k_c k_n,$$

где  $D$ ,  $L$  — соответственно внутренний диаметр и внутренняя длина барабана мельницы;  $\delta_n$  — насыпная плотность измельчаемой среды, кг/м<sup>3</sup>;  $\varphi = 0,35 - 0,45$  — коэффициент загрузки;  $\psi = n/n_{кр}$  — относительная частота вращения барабана мельницы;  $n$  — частота вращения барабана мельницы, об/мин;  $n_{кр}$  — частота вращения барабана мельницы, при которой рудные зерна начинают центрифугировать, об/мин;  $k_c = 1,1 - 1,2$  — коэффициент, учитывающий способ измельчения;  $k_n$  — коэффициент, отражающий содержание твердого в гидросмеси при мокром самоизмельчении:

Содержание твердого в гидросмеси, % ....	35	45	55	65	75	85
$k_n$ .....	0,8	0,86	0,93	1,0	1,07	1,14

Устанавливаемая мощность двигателя принимается

$$P_y \approx (P + P_{x,x}) k_n k_y \frac{1}{\eta},$$

где  $P_{x,x} = 0,1 D L n$  — мощность холостого хода мельницы, кВт;  $k_n = 1,025$  — коэффициент, учитывающий потери на трение в подшипниках;  $k_y = 1,1$  — установочный коэффициент, учитывающий возможные колебания нагрузки;  $\eta$  — КПД передачи, в большинстве случаев  $\eta = 0,8$ .

Выбранная мощность двигателя должна проверяться на достаточность развиваемого им пускового момента.

Для мельниц сухого помола применяют обычно двигатели в закрытом исполнении, для мельниц мокрого помола — в защищенном и закрытом.



Пуск асинхронных электродвигателей мельниц осуществляют по обычной схеме управления асинхронным двигателем с использованием магнитных пускателей. Для управления синхронными двигателями используют схемы автоматического пуска. Управление высоковольтными двигателями осуществляют с помощью комплектных устройств со встроенными малообъемными масляными выключателями.

#### 4.2.2. Электропривод классификаторов

Классификаторы применяют для разделения материала по крупности зерен. К электроприводу классификаторов не предъявляется особых требований. Мощность его обычно невелика (10—25 кВт). Частота вращения не регулируется. Поэтому в приводе классификаторов применяют обычно короткозамкнутые асинхронные двигатели закрытого или защищенного исполнения с влагостойкой изоляцией (из-за повышенной влажности помещений, в которых они устанавливаются).

В речных классификаторах речная рама совершает возвратно-поступательные движения. Это обуславливает колебательный характер изменения статического момента сопротивления на валу двигателя. При пуске он достигает наибольшего значения. Поэтому для облегчения пуска раму поднимают при помощи механизма подъема, а в небольших классификаторах — вручную. По окончании пуска раму опускают.

В современных спиральных классификаторах обычно используют два двигателя: один для вращения спирали, другой — для подъема и опускания нижнего конца спирали при ее остановке. Передаточный механизм второго двигателя представляет собой обычно редуктор с червячной передачей. Двигатель вращения спирали соединяется с ее валом через клиноременную передачу или редуктор.

Для односпирального классификатора мощность  $P$  (кВт) электродвигателя  $P \approx (0,5 \div 0,7) DL$ , где  $D$  — диаметр спирали, м;  $L$  — длина короба, м.

К приводу классификатора предъявляются требования бесперебойности работы, так как даже относительно кратковременное прекращение подачи электроэнергии или другие причины остановки классификатора могут вызвать аварийное заиливание его гребков и длительную остановку для их очистки. Поэтому электродвигатели классификаторов с помощью применяемых в схемах управления ими магнитных пускателей блокируют с двигателями других механизмов (например, мельниц, конвейеров и др.), связанных общим технологическим процессом. Кроме того, применяют блокировку двигателя вращения спирали с двигателем подъема ее конца. При отключении двигателя вращения спирали автоматически включается двигатель подъемного механизма и поднимает нижний конец спирали, выводя ее из гидросмеси.

### 4.2.3. Электропривод машин для концентрации

К электроприводу машин для концентрации (отсадочных машин, концентрационных столов, моечных машин и др.) так же, как и к приводу классификаторов, не предъявляют особых требований. Мощность их двигателя всего 0,25—6 кВт (для моечных машин до 40 кВт). Частоту вращения регулировать не требуется. Необходимый пусковой момент незначителен. Поэтому для привода указанных машин применяют короткозамкнутые асинхронные двигатели в закрытом или защищенном от влаги исполнении. Для управления ими используют обычные типовые схемы с магнитными пускателями. Мощность двигателя подбирают экспериментально в зависимости от габаритов и конструкции машин.

### 4.2.4. Электропривод флотационных машин

Мощность  $P$  (кВт) приводных двигателей флотационных машин обычно не превышает 20 кВт. Приближенно ее можно оценить по формуле:

$$P = k_n \frac{P_1 + P_2}{\eta}, \quad (14)$$

где  $k_n = 2,5 \div 3$  — коэффициент, учитывающий условия пуска машины;  $P_1$  — мощность, затрачиваемая на перемешивание гидросмеси (на преодоление лобового сопротивления), кВт;  $P_2$  — мощность, затрачиваемая на преодоление трения диска импеллера, кВт;  $\eta$  — КПД промежуточной передачи;

$$P_1 \approx \frac{\psi \gamma z h \omega^3}{0,8} (R^4 - r^4) 10^{-3};$$

$$P_2 \approx 16k_1 \gamma \nu^{\alpha} \omega^{3-\alpha} R^{2(2-\alpha)} \left( \frac{R}{2-\alpha} + b \right),$$

где  $\gamma$  — плотность гидросмеси, кг/м<sup>3</sup>;  $\omega$  — угловая скорость вала импеллера (ротора), рад/с;  $z$  — число лопастей импеллера;  $h$  — высота лопасти импеллера, м;  $R$  и  $r$  — соответственно внешний и внутренний радиус лопасти, м;  $\psi = 1,1 \div 1,4$  (для  $R/h = 0,1 \div 18$ ) — коэффициент, учитывающий увеличение сечения струи перемещаемой жидкости (по сравнению с площадью лопасти);  $\nu$  — кинематическая вязкость жидкости, м<sup>2</sup>/с;  $k_1 = (8,5 \div 10) \cdot 10^{-6}$  и  $\alpha = 0,2$  — коэффициенты, зависящие от шероховатости поверхности диска импеллера;  $b$  — толщина диска импеллера, м.

При практических расчетах, так как обычно  $P_2 < 0,1P_1$ , величиной  $P_2$  пренебрегают.

Поскольку флотационные машины не требуют регулирования частоты вращения и значительных пусковых моментов, для их привода применяют асинхронные двигатели

с короткозамкнутым ротором в закрытом исполнении, так как в помещении флотации содержится значительное количество влаги. Наибольшее применение для флотационных машин находят электродвигатели с вертикальным валом и креплением на лапах или фланцевого крепления. ИмPELLер флотационной машины приводится во вращение через клиноременную передачу или непосредственно. Пеносниматели флотационных машин, служащие для разгрузки концентрата (пены), приводятся во вращение от двигателя привода имPELLера при помощи, например, клиноременной передачи, или от отдельного короткозамкнутого асинхронного двигателя мощностью 0,5—1,5 кВт. В последнем случае с числом камер больше 10 устанавливают два электродвигателя пеноснимателя (с обоих концов машины), а вал его на середине машины разъединяют. Для управления электродвигателями флотационных машин используют типовые схемы управления короткозамкнутыми асинхронными двигателями с магнитными пускателями.

#### 4.2.5. Электропривод и электрооборудование электромагнитных сепараторов

Электромагнитные сепараторы предназначены для осуществления процесса магнитного обогащения, основанного на разделении зерен в зависимости от их магнитных свойств. Основные части электромагнитных сепараторов — электромагнитная система, необходимая для создания неоднородного магнитного поля, и система отвода зерен с разными магнитными свойствами по разным путям.

Принцип действия сепаратора основан на том, что между магнитным полем и зернами, характеризующимися неодинаковыми магнитными свойствами, возникают различные силы взаимодействия. Поэтому зерна с различными магнитными свойствами перемещаются в сепараторе по различным путям, в результате чего они разделяются на две или более фракции.

Для обогащения руд цветных металлов, большинство которых относятся к слабому магнитным, наибольшее применение находят сепараторы с относительно сильным магнитным полем (напряженностью 4000—14000 А/см). В зависимости от среды, в которой происходит процесс, различают сепараторы сухого и мокрого обогащения. Наибольшее применение находят ленточные, дисковые и роликовые сепараторы, различающиеся способами перемещения обогащаемого материала и снятия отдельных фракций.

Электромагниты питаются постоянным током 220 В (при их последовательном соединении) или 110 В (при последовательно-параллельном соединении).

Регулирование частоты вращения электродвигателей конвейерных лент, дисков и роликов не требуется, поэтому для

их привода применяют асинхронные короткозамкнутые двигатели в закрытом исполнении.

Потребляемая мощность постоянного тока для питания электромагнитов: 4,4—6 кВт—для ленточных сепараторов, до 1,3 кВт—для дисковых и до 13,2 кВт для роликовых.

Мощность асинхронных короткозамкнутых двигателей для привода питателей (в том числе конвейерных лент, диска, роликов и т. д.): 1,3—2,2 кВт—для ленточных сепараторов, до 1 кВт—для дисковых, до 7,5 кВт—для роликовых в зависимости от типов сепараторов.

Управление приводными асинхронными двигателями осуществляется по типовой схеме с использованием магнитных пускателей.

### 4.3. ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА МАШИИ ДЛЯ ОБЕЗВОЖИВАНИЯ И ОБЕСПЫЛИВАНИЯ

#### 4.3.1. Электропривод сгустителей

Мощность приводных электродвигателей сгустителей с центральным валом и с периферическим приводом (П-30) не превосходит, как правило, 10—15 кВт. Частоту вращения регулировать не требуется. Однако для пуска двигателей необходим повышенный пусковой момент. Поэтому для привода сгустителей используют асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором с глубоким пазом или с двойной короткозамкнутой обмоткой (двойной беличьей клеткой).

Вследствие повышенной влажности цеха обезвоживания для сгустителей применяют двигатели в закрытом исполнении.

Двигатели выбирают в зависимости от размеров и конструкции сгустителя. Ориентировочно мощность  $P$  (кВт) на валу сгустителя с центральным валом

$$P = \frac{mfr\omega}{10^3\eta},$$

где  $m$ —масса вращающихся частей сгустителя, воспринимаемая катком, кг;  $f$ —коэффициент сцепления, зависящий от материала и состояния сцепляющихся поверхностей (катка или рельса), для сухого стального катка по сухому стальному рельсу  $f = 0,17 \div 0,22$ ;  $r$ —радиус окружности качения катка, м;  $\omega$ —угловая скорость катка, рад/с;  $\eta$ —КПД передачи.

Для питания электродвигателей сгустителей применяют кольцевой токоподвод, так как приводной двигатель сгустителя вращается вместе с металлической формой, несущей гребковый механизм. На неподвижной стойке сгустителя закрепляют три медных кольца, подобным кольцам асинхронных двигателей с фазным ротором. На кольца накладывают спаренные щетки. Напряжение подводят к кольцам и со щеток, вращающихся вместе с металлической формой, подают по

кабелю к электродвигателю сгустителя.

Электродвигатель сгустителя с периферическим приводом через редуктор и цепную передачу вращает ходовое колесо, которое заставляет консольную тележку обегать ванну сгустителя по кольцевому рельсу. Мощность двигателя такого сгустителя 5,5—10 кВт (АО2-52-8,6 или 4 в зависимости от частоты вращения рабочего колеса: 7,2—4,2 об/мин).

К приводу сгустителя предъявляется требование бесперебойности электроснабжения (относят к потребителям первой категории). Это объясняется тем, что даже кратковременное прекращение подачи электроэнергии к двигателю сгустителя приводит к заливанию гребкового механизма с последующими значительными затратами труда и времени на его ликвидацию. В связи с этим схема управления электродвигателем сгустителя заблокирована со схемами управления электродвигателями других механизмов технологической цепочки.

#### 4.3.2. Электропривод центрифуги

На обогатительных фабриках применяют вертикальные шнековые (НВШ-1000), вертикальные вибрационные (НВВ-1000) и горизонтальные шнековые (НОГШ-1350) центрифуги. Привод первых двух центрифуг состоит из асинхронных короткозамкнутых двигателей (соответственно 40 и 20 кВт) и мощных клиноременных передач (четыре-пять ремней).

В вертикальных шнековых центрифугах вращательное движение от ротора к шнеку передается через встроенную зубчатую передачу.

В вертикальных вибрационных центрифугах имеется еще два электродвигателя: мощностью 3 кВт привода кривошипного вибратора и мощностью 0,27 кВт привода масляного насоса системы жидкой смазки центрифуги. Все эти двигатели также асинхронные с короткозамкнутым ротором.

Привод горизонтальной шнековой центрифуги состоит из асинхронного электродвигателя с фазным ротором и мощной клиноременной передачи (шесть ремней). Вращательное движение от ротора к шнеку передается через встроенную зубчатую передачу.

Управление двигателями дистанционное по типовым схемам с помощью магнитных пускателей.

#### 4.3.3. Электропривод вакуум-фильтров

Мощность электродвигателей дисковых и барабанных вакуум-фильтров не превышает 7—8 кВт. Регулировать частоту вращения привода не требуется. Поэтому для привода вакуум-фильтров применяют асинхронные электродвигатели с короткозамкнутым ротором в закрытом исполнении (из-за влажности в цехах обезвоживания).

Электродвигатель вакуум-фильтра приводит во вращение барабан или диски через редуктор или зубчатую передачу, а лопастную мешалку — через цепную передачу. Мощность приводного двигателя можно определить по одной из следующих приближенных формул:

для фильтров, поверхность  $F$  ( $\text{м}^2$ ) которых меньше  $10 \text{ м}^2$ ,

$$P = \frac{F + 1,2}{3,8};$$

для фильтров, поверхность  $F$  ( $\text{м}^2$ ) которых больше  $10 \text{ м}^2$ ,

$$P = \frac{F + 10}{6,8}.$$

Для управления двигателями применяют типовые схемы управления.

#### 4.3.4. Электропривод машин для обеспыливания

При дроблении, грохочении, измельчении, сухом обогащении руды на обогатительных фабриках образуется большое количество пыли. Для борьбы с пылью в технологических цехах применяют аппараты, которые производят улавливание пыли посредством вытяжных установок с последующей очисткой запыленного воздуха. Основная часть таких аппаратов — это вентилятор.

*Вентиляторные системы пылеулавливания* работают, как правило, в длительном режиме и не требуют регулирования частоты вращения. Пуск двигателей вентиляторов легкий, пусковой момент не более 30% номинального. В качестве привода вентиляторов применяют короткозамкнутые асинхронные двигатели мощностью 100—150 кВт. При больших мощностях используют синхронные двигатели. Управление ими осуществляют с помощью типовых схем дистанционного управления (см. раздел 3).

Если требуется регулировать подачу вентиляторов, то регулирование осуществляют или заслонкой, или устанавливают асинхронные двигатели с фазным ротором. Применяют также ступенчатые шкивы и асинхронные муфты скольжения. В крупных вентиляторах используют каскадные схемы включения.

Требуемая мощность  $P$  (кВт) двигателя вентилятора

$$P \approx \frac{ПНk_3}{\eta_a \eta_n} 10^{-2},$$

где  $П$  — подача вентилятора,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $Н$  — напор, м;  $k_3 = 1,05 \div 1,3$  — коэффициент запаса (большие значения относятся к меньшей мощности установок);  $\eta_a$  — КПД вентилятора (для центробежных  $\eta_a = 0,4 \div 0,7$ ; для осевых  $\eta_a = 0,5 \div 0,85$ );  $\eta_n$  — КПД передачи.

**Электрические фильтры** применяются для окончательной очистки воздуха, содержащего тонкодисперсную пыль. Принцип действия их основан на ионизации запыленного воздуха электрическими коронными разрядами в электрическом поле высокой напряженности. При этом частицы пыли заряжаются отрицательными зарядами электричества и осаждаются на положительно заряженных электродах.

Электрический фильтр (рис. 56) представляет собой систему коронирующих 1 и осадительных 2 электродов, присоединенных к источнику постоянного тока высокого напряжения и помещенных в специальную камеру 3.

Коронирующий электрод присоединяется к отрицательному полюсу источника высокого напряжения, осадительный — к положительному и заземляется. Запыленный воздух подается в нижнюю часть камеры фильтра через входной патрубок 5 и движется вверх. Частицы пыли при этом заряжаются от ионов воздуха отрицательными зарядами электричества и устремляются к положительно заряженным электродам. При столкновении с ними частицы отдают им свой заряд и накапливаются на осадительных электродах. Осадительные электроды периодически встряхиваются и осевшие на нем частицы попадают в пылеосадительный бункер 4, откуда они удаляются специальными механизмами. Очищенный от пыли воздух после прохождения между электродами выбрасывается из фильтра через патрубок 6.

Привод механизма встряхивания осуществляется от асинхронного короткозамкнутого двигателя мощностью 1—3 кВт, управляемого магнитным пускателем.

Электрофильтры питаются выпрямленным током от специальных повысительно-выпрямительных агрегатов, состоящих из повышающего трансформатора, выпрямителя, регулятора напряжения и панели управления. Данные электроагрегаты классифицируют по типу выпрямителя и способу регулирования напряжения. Выпрямители могут быть механическими и полупроводниковыми (для вновь изготовленных агрегатов). Механические или машинные выпрямительные агрегаты устаревших конструкций представляют собой асинхронный короткозамкнутый электродвигатель, который специальным образом синхронизирован на частоты вращения  $n = 1500$  об/мин. На

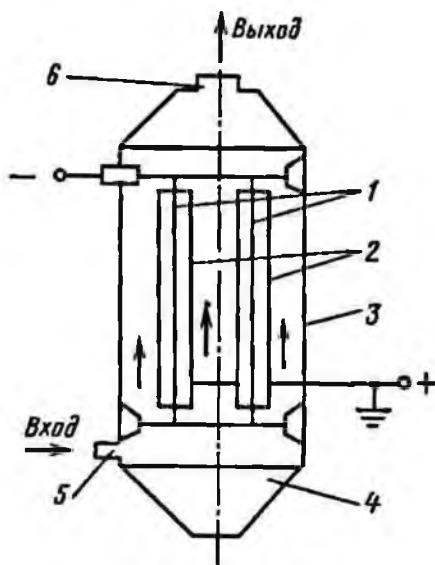


Рис. 56. Схема электрического фильтра для очистки воздуха

валу двигателя закреплена крестовина, вращающаяся между четырьмя щетками. Щетки так соединяются с трансформатором переменного тока и с выходными положительными и отрицательными зажимами выпрямителя, что при вращении крестовины на положительных и отрицательных зажимах всегда имеется положительное и отрицательное напряжение.

#### 4.4. ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА НАСОСОВ И КОМПРЕССОРОВ

##### 4.4.1. Электропривод насосов

На обогатительных фабриках широкое распространение получили центробежные насосы. Они используются для подачи воды, необходимой для ведения технологического процесса, перекачки гидросмеси, удаления отходов производства (хвостов). Режим работы большинства насосов длительный, с равномерной нагрузкой, регулирование частоты вращения не требуется. Запускаются насосы обычно с закрытой задвижкой, поэтому пусковой момент их незначителен — 20—30% номинальной нагрузки.

Мощность (кВт) двигателя

$$P = \frac{k_1 P H \gamma}{\eta_m \eta_n} 10^{-1},$$

где  $k_1 = 1,1 \div 1,15$  — коэффициент запаса;  $\gamma$  — плотность перекачиваемой жидкости,  $\text{кг/м}^3$ ;  $H$  — напор, развиваемый насосом, м;  $P$  — производительность насоса,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $\eta_m$  — КПД насоса;  $\eta_n$  — КПД передачи.

Напор  $H$ , развиваемый насосом, состоит из суммы:

$$H = H_n + 9 \cdot 10^{-4} \frac{v^{11.75}}{d^{1.25}} L + \sum \lambda \frac{v^2}{2g},$$

где  $H_n$  — высота подачи насоса, м;  $v$  — скорость движения жидкости в трубопроводах ( $v = 4P/(\pi d^2)$ ) м/с;  $d$  — диаметр трубопровода, м;  $L$  — длина горизонтальной части трубопровода, м;  $g = 9,8$  — ускорение свободного падения,  $\text{м/с}^2$ ;  $\lambda$  — коэффициент потерь, принимаемый для вентилях 0,5; для заслонок 0,063; для тройников и сеток 2; для круглых колен — в зависимости от радиуса отвода  $R$  и диаметра  $d$ :

$d/R$ .....	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
$\lambda$ .....	0.13	0.14	0.16	0.21	0.3	0.44	0.66	0.98	1.4	1.98

Для привода насосов мощностью до 200 кВт применяют асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором в закрытом исполнении с влагостойкой изоляцией. Для привода насосов мощностью более 200 кВт применяют синхронные электродвигатели. Если по условиям пуска нельзя применять



короткозамкнутые асинхронные двигатели, то применяют асинхронные двигатели с фазным ротором.

Электродвигатель с валом насоса соединяется эластичной муфтой или через клиноременную передачу.

В зависимости от напряжения двигателя применяют различную аппаратуру. Для двигателей напряжением до 1000 В применяют обычные контакторы, пускатели и реле; для высоковольтных двигателей — масляные выключатели, устанавливаемые в специальных высоковольтных ящиках или расщепленных устройствах.

В схемах управления насосами используют различные блокировки и системы сигнализации (работающие от реле уровня, реле давления, аварийного реле и др.).

#### 4.4.2. Электропривод компрессоров и воздуходувок

Предприятия цветной металлургии потребляют для различных технологических нужд большое количество сжатого воздуха, используя для этого компрессоры и воздуходувки. Компрессорами называют машины, сжимающие воздух до давления свыше 0,4 МПа, а воздуходувками — машины, сжимающие воздух в пределах 0,11—0,4 МПа. Воздуходувки используют для дутья.

Наибольшее распространение получили поршневые компрессоры с приводом от асинхронных и синхронных электродвигателей. Асинхронные электродвигатели с короткозамкнутым ротором применяют для привода небольших компрессоров, валы которых в большинстве случаев соединены друг с другом. Для компрессоров мощностью до 100 кВт с ременной передачей, требующей плавного пуска, используют асинхронные двигатели с фазным ротором. Для привода мощных компрессоров применяют специальные тихоходные синхронные двигатели, ротор которых надевается на вал компрессора и служит одновременно маховиком. Эти двигатели рассчитаны на прямой пуск от полного напряжения сети. Мощность  $P$  (кВт) приводного двигателя поршневого компрессора

$$P = \frac{PA}{\eta_k \eta_n},$$

где  $P$  — производительность компрессора, м<sup>3</sup>/с;  $\eta_k = 0,6 \div 0,8$  — КПД компрессора;  $\eta_n$  — КПД передачи;  $A$  — полная работа на валу компрессора, необходимая для сжатия 1 м<sup>3</sup> воздуха до требуемого давления:

$A$ , кДж/м <sup>3</sup> .....	41	72	118	154	180	203	220	240	260	290
Заданное давление, кПа .....	150	200	290	390	400	590	690	785	880	1180

Для привода воздуходувок выпускают специальные быстроходные асинхронные двигатели с короткозамкнутым рото-

ром, допускающие пуск от полного напряжения сети. Для управления низковольтными компрессорными асинхронными двигателями с короткозамкнутым ротором применяют обычные типовые схемы управления с магнитными пускателями или специальные стандартные блоки управления. Для высоковольтных двигателей используют стандартные высоковольтные ящики или распределительства. Для синхронных компрессорных двигателей разработан ряд упрощенных схем прямого пуска. В схемах управления используют различные блокировки, работающие от температуры подшипников, датчиков подачи смазки и давления сжатого воздуха. Предусматриваются также автоматическое регулирование производительности и автоматическое включение резервного компрессора.

#### **4.5. ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ ПОДЪЕМНЫХ И ТРАНСПОРТНЫХ МЕХАНИЗМОВ**

##### **4.5.1. Электропривод подъемных механизмов**

Наибольшее распространение на обогатительных фабриках получили различные мостовые краны, представляющие собой ферму (мост), которая может передвигаться по подкрановому пути. Для этой цели на мосту устанавливают специальный электродвигатель. Кроме того на мосту установлена специальная тележка, оборудованная подъемной лебедкой и двумя двигателями: один для привода лебедки, другой — для передвижения тележки по мосту. К мосту подвешена кабина крановщика с аппаратурой управления электродвигателями.

Вдоль подкранового пути прокладывают троллейные провода, напряжение с которых при помощи токосъемников подводится к специальной панели, находящейся на мосту и питающей двигателя крана.

Для подвода тока к двигателям подъемной лебедки и передвижения тележки используют троллейные провода, расположенные вдоль моста, или кабель, подвешенный с помощью колец к тросу.

Работа крановых двигателей характеризуется большими перегрузками, частыми пусками и реверсами. Время работы с установившейся скоростью, как правило, невелико по сравнению с периодами пуска и торможения. В связи с этим для привода крановых механизмов используют краново-металлургические электродвигатели повторно-кратковременного режима работы, характеристики которых удовлетворяют перечисленным условиям.

В СССР все оборудование кранов стандартизовано. Поэтому различные по своему конструктивному исполнению краны комплектуют типовым электрооборудованием (двигателями, панелями управления, контроллерами, резисторами и т. д.).

Таблица 3

Режимы работы крана	Среднее допустимое использование механизма			ПВ, %	Среднее число включений в 1 ч	Температура окружающей среды, °С
	по грузоподъемности, $K_{гр}$	в течение года, $K_r$	в течение суток, $K_c$			
Л	0,25—1	Нерегулярная редкая работа	Нерегулярная редкая работа	15—25	До 60	25
С	0,75	0,5	0,33	25 40	60 120	25 25
Т	0,75—1,0	1	0,66	40 40	120 240	40 40
ВТ	1	1	1	60 60	300 600	45 45

Тем не менее, для оценки экономичности работы кранов в конкретных условиях или для выбора вариантов электродвигателя в случае выхода из строя комплектного может возникнуть необходимость поверочного расчета мощности электродвигателей крана. Точный расчет мощности электродвигателей крановых механизмов ведут по нагрузочным диаграммам, для построения которых используют точные исходные данные, касающиеся режима работы механизмов. Метод этот достаточно громоздкий, поэтому для поверочных расчетов на практике используют приближенный метод.

В первую очередь для обеспечения экономичности работы крана и надежности его эксплуатации необходимо учитывать режим работы двигателей. Госгортехнадзор СССР установил следующие категории режимов работы кранов: легкий (Л), средний (С), тяжелый (Т) и весьма тяжелый (ВТ). Эти режимы характеризуются  $ПВ = 15 \div 60\%$ . Характеристика работы крана в разных режимах приведена в табл. 3.

В табл. 3 приняты следующие обозначения:

$K_{гр}$  — коэффициент использования крана по грузоподъемности,  $K_{гр} = m_{ср} / m_{ном}$ , где  $m_{ср}$  — среднее значение массы поднимаемого груза за смену;  $m_{ном}$  — номинальная грузоподъемность крана за смену;

$K_r$  — коэффициент годового использования крана,  $K_r = N_r / 365$ , где  $N_r$  — число дней работы крана в году;

$K_c$  — коэффициент суточного использования крана,  $K_c = N_c / 24$ , где  $N_c$  — число часов работы крана в сутки.

ПВ (%) — продолжительность включения при повторно-кратковременном режиме работы,

$$ПВ = \frac{\text{Время включения электродвигателя}}{\text{Общее время цикла}} 100.$$

Расчетная  $ПВ_р$  (%) крана при регулярно повторяющихся циклах

$$ПВ_p = \left(1 - \frac{Nt_0}{3600}\right) 100,$$

где  $N$  — производительность крана при  $m_{ном}$ , определяемая числом циклов в 1 ч;  $t_0$  — время паузы в работе за один цикл, ч.

По исходным данным и табл. 3 устанавливают номинальный режим, для которого рассчитывают электродвигатель.

Определяют мощность  $P$  (кВт) на валу двигателя при статическом режиме работы:

для механизма подъема

$$P_c = \frac{(m+m_0)v}{\eta} \cdot 10^{-3}$$

для механизма передвижения

$$P_c = \frac{2k(m+m_0)(\mu r + f)v}{D_k \cdot \eta} \cdot 10^{-3},$$

где  $k$  — коэффициент учитывающий увеличение сопротивления движению моста или тележки в результате возможного перекоса (для моста в случае подшипников скольжения  $k=1,5 \div 2$ , в случае подшипников качения  $k=2,5 \div 4$  и для тележек соответственно  $k=1,25 \div 1,6$  и  $k=2,5 \div 3,2$ );  $m$  — грузоподъемность, т. е. масса поднимаемого или перемещаемого груза, кг;  $m_0$  — масса захватного приспособления (крюка, грейфера, подъемного магнита и др.) или соответственно масса механизма передвижения (тележки или моста), кг;  $\mu$  — коэффициент трения в цапфах, принимается равным 0,08—0,15 при подшипниках скольжения и 0,01—0,05 при подшипниках качения;  $r$  — радиус шейки оси колеса, м;  $f$  — коэффициент трения качения, принимается равным 0,005—0,010 в зависимости от материала и степени обкатки колес;  $v$  — скорость движения груза при подъеме или передвижении, м/с;  $D_k$  — диаметр колеса механизма передвижения, м;  $\eta$  — КПД механизма, принимаемый для механизма подъема 0,75 ÷ 0,85, для механизма передвижения 0,85 ÷ 0,9.

Зная расчетную мощность, по каталогу выбирают крановый двигатель при заданной ПВ (%). Номинальная мощность такого двигателя должна быть  $P_{ном} \leq P_{пв}$ .

Так как стандартная мощность крановых двигателей соответствует ПВ=25% и ПВ=40%, а в ряде случаев фактическая ПВ (%) отличается от стандартной, то мощность двигателя пересчитывают по формуле  $P_{кат} = P_{пв} \sqrt{ПВ_{факт} / ПВ_{кат}}$ , где  $P_{кат}$  — искомая каталожная мощность двигателя при стандартной ПВ<sub>кат</sub>;  $P_{пв}$  — расчетная мощность двигателя при фактической ПВ<sub>факт</sub> (пример: определено расчетное значение  $P_{пв}$  при ПВ=30%. Этому значению при ПВ=25% будет соответствовать мощность  $P_{кат} = P_{25} = P_{30} \sqrt{30/25} = 1,1 P_{30}$ ).

Найденная таким образом мощность кранового двигателя должна быть проверена на пусковой и максимальный режимы,

а асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором еще и на допустимое число включений. В крановом электроприводе используют следующие типы электродвигателей: 1. Двигатели постоянного тока с последовательным, независимым или параллельным возбуждением, частота вращения которых регулируется изменением подводимого к якору напряжения или тока возбуждения; 2. Асинхронные двигатели переменного тока с фазным ротором, частота вращения которых регулируется введением в цепь их ротора резисторов; 3. Асинхронные двигатели переменного тока с короткозамкнутым ротором, частота вращения которых регулируется изменением частоты напряжения преобразователя; 4. Асинхронные двигатели переменного тока с короткозамкнутым ротором и двумя или тремя обмотками на статоре с разным числом полюсов и регулированием частоты вращения изменением числа пар полюсов.

Для управления перечисленными двигателями в современных кранах применяют следующие системы управления: 1. Непосредственного управления с помощью силовых кулачковых контроллеров; 2. С магнитными контроллерами, где операции управления осуществляются с помощью командоконтроллеров; 3. Переменного тока с тиристорным регулированием напряжения; 4. Генератор—двигатель; 5. Постоянного тока с тиристорным преобразователем напряжения; 6. С тиристорным преобразователем частоты.

Электрические схемы управления приводом основаны на типовых схемах управления соответствующими двигателями и на типовых режимах их работы. Процесс управления краном реализуется машинистом, технологическим рабочим с помощью кнопочного поста или машинистом при автоматическом выполнении необходимых промежуточных переключений, связанных с регулированием частоты вращения двигателя, ускорения и торможения.

В схемах управления используются также устройства защиты, различные блокировки, обеспечивающие безаварийность и безопасность работы кранов.

Краны оборудуются автоматически действующими тормозами, предназначенными для фиксации заданного положения при отключенном двигателе и для сокращения выбега при отключении. Тормоза срабатывают под действием пружины или груза, которые прижимают колодки (тормозную ленту) к тормозному шкиву. Механизм растормаживается действием электромагнитов, механических толкателей, гидроцилиндров, специальных электродвигателей и т. п. Наибольшее распространение получили электромагниты постоянного и переменного тока.

#### 4.5.2. Электропривод транспортных механизмов

Транспортные механизмы, применяемые на обогатительных фабриках, служат связующим звеном между технологическими агрегатами. К ним относятся: конвейеры, элеваторы и питатели.

Конвейеры подразделяют на ленточные, скребковые и вибрационные. Длины конвейерных установок весьма различны, а углы наклона трассы зависят от их назначения и места установки. По конструктивному исполнению конвейеры делят на две группы — мощностью до 200 кВт и мощностью более 200 кВт. Конвейеры первой группы называют конвейерами общего назначения, конвейеры второй группы — тяжелыми конвейерами.

В большинстве случаев конвейеры оборудуют однодвигательным приводом и только при большой длине и высокой производительности — двухдвигательным.

Ленточные конвейеры получили наибольшее распространение. Как правило, технологические процессы, обслуживаемые конвейерами, определяют равномерное движение груза, скорость которого постоянна или же меняется в незначительных пределах. Поэтому режим работы электрических двигателей ленточных конвейеров — продолжительный. Пуск конвейера осуществляется либо холостую, когда на ленте нет груза, либо под нагрузкой, когда лента остановилась внезапно.

В связи с возможностью пуска под нагрузкой двигатель должен обладать высоким пусковым моментом. Кроме того, двигатели работают на открытом воздухе, в условиях большой запыленности, резкого изменения температуры, влажной или агрессивной среды. Поэтому двигатели должны иметь закрытое исполнение, быть надежными и простыми в обслуживании. Всем этим требованиям в достаточной мере отвечает асинхронный двигатель с короткозамкнутым или фазным ротором.

Точный расчет мощности  $P$  (кВт) электродвигателя конвейера производится по нагрузочным диаграммам. На практике для приближенных расчетов используют формулу

$$P = \frac{\Pi}{367 \eta_n} (cL + H) k_3,$$

где  $\Pi$  — производительность конвейера, т/ч;  $L$  — длина конвейера между барабанами, м;  $H$  — высота подъема груза, м;  $k_3 = 1,1 \div 1,25$  — коэффициент запаса;  $\eta_n = 0,75 \div 0,8$  — КПД передаточного механизма;  $c$  — расчетный коэффициент, принимаемый по табл. 4.

Таблица 4

L, м	Π, т/ч			
	10	50	200	400
10	2	0,92	0,5	0,37
50	0,66	0,35	0,22	0,18
200	0,35	0,21	0,14	0,12

Для привода ленточных конвейеров мощностью более 100 кВт кроме асинхронных двигателей применяют синхронные с пусковым моментом  $(1,4 \div 1,5) M_{\text{ном}}$  и моментом при  $s=0,05$  не ниже  $(1,1 \div 1,2) M_{\text{ном}}$ .

При разгрузке материала с конвейера специальными сбрасывающими устройствами затрачивается дополнительная мощность, которая должна быть учтена при определении мощности привода конвейера. Мощность  $P$  (кВт), потребляемая сбрасывающим устройством, определяется по следующим приближенным формулам:

для плужкового сбрасывателя

$$P_{\text{п.с}} = 7,35 \cdot 10^{-4} PV,$$

где  $P$  — производительность конвейера, т/ч;  $V$  — ширина ленты конвейера, м;

для двухбарабанной сбрасывающей тележки

$$P_{\text{т.с}} = 0,275 P_0 + \frac{Ph}{3600} = P_{\text{п}},$$

где  $P_0$  — мощность на валу приводного барабана, кВт;  $h$  — высота подъема материала на тележке, мм;  $P_{\text{п}} = 0,4 \div 0,8$  — мощность, расходуемая на преодоление ходового сопротивления тележки, кВт.

В случае индивидуального привода тележки мощность ее двигателя

$$P_{\text{т}} = 0,225 P_0 + \frac{Ph}{3600}.$$

Скребокковые конвейеры по характеру заполнения желоба материалом принято делить на конвейеры непрерывного и сплошного волочения. Требования к их электроприводу практически не отличаются от требований к электроприводу ленточных конвейеров. Расчет мощности можно проводить по той же приближенной формуле.

Вибрационные конвейеры приводятся в действие вибрационными двигателями. Мощность  $P$  (кВт), потребляемая таким двигателем,

$$P = P_{\text{п}} + P_{\text{р}},$$

где  $P_{\text{п}}$  — мощность, затрачиваемая на перемещение груза, кВт;  $P_{\text{р}}$  — мощность, затрачиваемая на упругий гистерезис в рессорах, кВт.

Причем:

$$P_{\text{п}} \approx \frac{27,5 \cdot 10^{-5} PLAn}{v} \sin \beta;$$

$$P_{\text{р}} \approx 7,8 \cdot 10^{-6} m \omega^2 A^2,$$

где  $L$  — длина грузоперемещающего органа, м;  $A$  — амплитуда колебания рабочего органа, м;  $n$  — число циклов;  $\beta$  — угол

вибрации, градус;  $v$  — скорость перемещения материала, м/с;

$m = \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2}$  — приведенная масса системы из двух вибрирующих

масс  $m_1$  и  $m_2$ , т;  $\omega$  — угловая скорость вынужденных колебаний, рад/с.

Тяжелые конвейеры предъявляют к электроприводу особые требования. Требования эти касаются обеспечения надежности сцепления ленты с приводными барабанами в режимах разгона и торможения, а также обеспечения согласованного вращения нескольких приводов, работающих на один конвейер.

Для обеспечения режима разгона и торможения на таких конвейерах применяют асинхронные двигатели с фазным ротором или специальные муфты (гидравлические, асинхронные и др.).

Поскольку наибольшее распространение для тяжелых конвейеров получил многодвигательный привод, принимаются меры для согласования работы двигателей, работающих на общий вал. Основное условие согласованной работы таких двигателей — идентичность их механических характеристик. Однако реальные характеристики двигателей с одинаковыми паспортными характеристиками могут быть различны. При этом двигатель, имеющий более мягкую характеристику, будет нагружен меньше. Использование асинхронных двигателей с фазным ротором позволяет подогнать характеристики двигателей с большей точностью. Однако при этом естественно увеличиваются потери в роторной цепи.

При двухбарабанном приводе один из двигателей может быть синхронным. Это позволяет компенсировать дополнительные потери в роторе асинхронного двигателя с фазным ротором.

Управление конвейерами сводится к пуску и остановке их в определенной последовательности. На фабриках находят применение местное, дистанционное, дистанционное централизованное и автоматизированное управление конвейерами.

Асинхронные электродвигатели с короткозамкнутым ротором управляются посредством магнитных пускателей или автоматов с максимальной или тепловой защитой от перегрузки. Для управления асинхронными электродвигателями с фазным ротором или синхронными двигателями используют магнитные станции с электрической аппаратурой защиты и автоматического пуска двигателей. При этом реализуется пуск по времени, по току в главной цепи и падению напряжения. Схемы, как правило, предусматривают блокировку работы конвейера с другими агрегатами, с которыми он связан технологической зависимостью. Используется также звуковая сигнализация, предупреждающая о пуске конвейера или сообщающая о его аварийной остановке. Для контроля



нормальной работы конвейера используют магнитно-индуктивные реле контроля скорости.

Привод элеваторов практически не отличается от привода конвейеров.

Питатели представляют собой непрерывную ленту, состоящую из ряда штампованных звеньев с приваренными сверху пластинами. Лента расположена на поддерживающих роликах и приводится в движение от электродвигателя через редуктор и зубчатую передачу. Точно рассчитать мощность питателя очень трудно, так как трудно оценить сопротивление его движению. Приблизительно мощность  $P$  (кВт) двигателя питателя

можно оценить по формуле 
$$P = \frac{\mu vt}{102\eta_1\eta_2} \cdot 10^{-3},$$

где  $m$  — масса материала на ленте питателя, кг;  $\mu$  — коэффициент трения материала по ленте питателя;  $v$  — скорость движения ленты, м/с;  $\eta_1 \approx 0,6$  — КПД ленты;  $\eta_2$  — КПД привода питателя.

Момент сопротивления питателей за время пуска постоянный. Момент сопротивления может быть высоким из-за увеличения слоя руды в бункере, ее смерзания. Поэтому мощность выбирается с запасом в 20—30%.

Пластинчатые питатели, подающие руду в дробилки первичного дробления, требуют регулирования частоты вращения. Поэтому для их привода применяют асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором и переключением пар полюсов, либо с фазным ротором, или двигатели постоянного тока.

Для дробилок вторичного дробления иногда необходимо регулировать частоту вращения для обеспечения постоянства весовой дозировки руды, поступающей из дробилки. В этом случае применяют те же двигатели, что и в предыдущем случае.

Для перегружающих питателей применяют асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором.

Для управления двигателями питателей используют типовые схемы местного, дистанционного или дистанционного централизованного управления.

## 4.6. ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА МЕХАНИЗМОВ АГЛОМЕРАЦИОННЫХ И ОКОМКОВАТЕЛЬНЫХ ФАБРИК

### 4.6.1. Электропривод механизмов агломерационных фабрик

Основное технологическое оборудование агломерационных фабрик: машины непрерывного транспорта, дробилки для измельчения кокса и агломерата, мельницы, смесители шихты, спекательные (агломерационные) машины, грохоты для выделения возврата, охладители агломерата, дымососы.

Применяемые машины непрерывного транспорта, валковые и конусные дробилки, стержневые мельницы не отличаются

от машин, сведения о которых приведены в предыдущих разделах.

Применяемые тарельчатые, барабанные и другие смесители не требуют регулирования частоты вращения. Условия пуска их относительно легкие. Поэтому для привода здесь используют асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором. Мощность их 55 кВт. Из-за большой запыленности помещений исполнение — закрытое.

Для перемещения жидких масс применяют механические (лопастные, пропеллерные и др.) мешалки. Условия пуска таких машин тяжелые. Требуемый пусковой момент в  $3 \div 3,5$  раза превышает номинальный. Поэтому для привода мешалок рекомендуется применять асинхронные электродвигатели краново-металлургических серий. Для лопастных мешалок мощность электродвигателя можно определить как и для двигателя флотационных машин по формуле (14), где  $r$  — расстояние от оси вращения до внутреннего края лопасти. Если лопасть наклонена к направлению движения на угол  $\alpha$ , то в числителе формулы добавляется множитель:  $(h \sin \alpha + \delta \cos \alpha)$ , где  $\delta$  — толщина лопасти мешалки, м.

Мощность  $P$  (кВт) двигателя для привода пропеллерной (винтовой) мешалки определяется так же, как и для пропеллерного вентилятора

$$P = \frac{V_c p}{10 \eta_n},$$

где  $V_c$  — объем жидкости, перекачиваемой за 1 с через пропеллер мешалки,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $V_c = m_s / \rho$ ,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $m_s$  — масса материала в мешалке, кг;  $\rho$  — плотность перемешиваемого материала,

$\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $p$  — давление, создаваемое винтом,  $p = \frac{\rho}{9,81 \eta_r} \left( h + \frac{v_0^2 - v_F^2}{2g} \right)$  Па;  $h$  — шаг винта, м;  $v_0$  — фактическая скорость

просасывания жидкости через винт,  $\text{м}/\text{с}$  ( $v_0 = V_c / F_0$ , где  $F_0$  — площадь окружности, описываемой винтом,  $\text{м}^2$ );  $v_F$  — скорость жидкости в свободном сечении мешалки,  $\text{м}/\text{с}$  ( $v_F = V_c / F$ , где  $F$  — площадь свободного сечения мешалки,  $\text{м}^2$ );  $\eta_r$  — средний гидравлический КПД;  $\eta_n$  — КПД промежуточной передачи.

Спекательная (агломерационная) машина состоит из непрерывно движущейся замкнутой ленты, состоящей из спекательных тележек. Особенность работы спекательных машин — необходимость плавного регулирования скорости движения тележек вниз от номинальной. Поэтому для привода спекательных машин и соответствующих питателей используют двигатели постоянного тока, работающие по системе генератор — двигатель или от тиристорных преобразователей. Мощность (кВт) электродвигателей наиболее распространенных спекательных машин и питателей составляет:

Электропривод машины площадью 16 м <sup>2</sup> .....	9,5
Электропривод питателей .....	2,7
Электропривод машины площадью 50 м <sup>2</sup> .....	25,4
Электропривод питателей .....	5,4

Если условия эксплуатации спекательной машины отличаются от принятых заводом-изготовителем, то мощность  $P$  (кВт) электродвигателя для привода машины может быть приближенно определена по формуле

$$P = \frac{1,3(F_1 + F_2)D_3\omega}{1000 \cdot 2\eta_n k},$$

где  $F_1$  — усилие, необходимое для передвижения всех тележек по верхним направляющим, Н;  $F_2$  — усилие, необходимое для подъема тележек, Н;  $D_3$  — диаметр звездочки в механизме передачи, м;  $k$  — общее передаточное число механизма передачи;  $\eta_n$  — КПД передачи;  $\omega$  — максимальная угловая скорость двигателя, рад/с.

При этом

$$F_1 = [N_T(G_{ш} + G_a + G_T) + 2G_T] \mu_c \cdot 102,$$

где  $N_T$  — число тележек, движущихся по верхнему поясу;

$G_{ш}$  — вес шихты на одной тележке, кН;  $G_a$  — вес постели на одной тележке, кН;  $G_T$  — вес тележки с колосниками и роликами, кН;  $\mu_c = 0,18 \div 0,23$  — коэффициент трения скольжения;

$$F_2 = \left( G_T \frac{N}{2} + G_T N \mu_k \right) 102,$$

где  $N$  — число тележек на полуокружности звездочки;  $\mu_k = 0,006$  — коэффициент трения качения роликов.

Агломерат охлаждается на ленточных, чашевых и других видах охладителей. Поскольку скорость их связана со скоростью спекательных машин, для привода охладителей также применяют электродвигатели постоянного тока. Условия выбора электродвигателя для ленточного охладителя те же, что и для машин непрерывного транспорта. Для чашевых, барабанных и круглых охладителей применяют трехфазные двигатели с короткозамкнутым ротором мощностью соответственно 8,5; 25; 11 кВт.

Грохоты, применяемые на агломерационных фабриках, не отличаются от машин, сведения о которых приведены в предыдущих разделах.

Для создания разрежения и просасывания через спекаемую шихту воздуха и удаления продуктов горения от спекательной машины служат эксгаустеры. Режим их работы — с редкими пусками. Условия пуска — нормальные. Поэтому для привода эксгаустеров, как и для компрессора, применяют асинхронные или высоковольтные синхронные двигатели. Пусковая обмотка у синхронных двигателей эксгаустеров отсутствует, вследствие

чего повышается надежность их эксплуатации. Пуск двигателей — асинхронный при полном или пониженном напряжении с помощью реактора до 85% от номинального напряжения сети. Исполнение этих двигателей — закрытое с симметричной радиальной вентиляцией. Для питания обмотки возбуждения используют возбудитель, соединенный с двигателем эластичной муфтой, или тиристорный преобразователь. Мощность на валу приводного двигателя определяют так же, как и для насоса, умножая полученный результат на коэффициент запаса  $k_s = 1,1 \div 1,2$ .

Зависимость мощности от производительности дается обычно для эксгаустеров при температуре отсасываемого газа  $T_r = 425$  К. При отклонении температуры от 425 К мощность (кВт) подсчитывается по формуле:  $P_{\text{факт}} = \frac{T_r}{T_{\text{ф}}} P$ , где  $T_{\text{ф}}$  — фактическая температура отсасываемого газа, К;  $P$  — мощность, потребляемая эксгаустером при температуре 425 К.

#### 4.6.2. Электропривод механизмов окомковательных фабрик

На фабриках окомкования основными технологическими машинами являются окомкователи, а также описанные в предыдущих разделах машины обогатительных и агломерационных фабрик: машины непрерывного транспорта, дробилки, мельницы, смесители, обжиговые машины, охладители, эксгаустеры.

В качестве окомковательных машин применяют барабанные смесители. Процесс окомкования и качество окатышей зависят не только от состава шихты, но и от частоты вращения барабана. Поэтому для привода окомкователей применяют двигатели постоянного тока, позволяющие регулировать частоту вращения машин в пределах 3:1. Для питания двигателей и управления ими используют тиристорные преобразователи. Мощность двигателей та же, что и у двигателей смесителей агломерационных фабрик.

Кроме главного двигателя на окомкователях устанавливают вспомогательный двигатель для привода скребковых очистителей. Регулирование частоты вращения здесь не требуется, применяют двигатель переменного тока с короткозамкнутым ротором мощностью  $1,5 \div 2$  кВт.

## 5. ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ ФАБРИК

### 5.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

#### И ХАРАКТЕРНЫЕ СХЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Основной источник электроэнергии промышленных предприятий — это электрические станции, объединенные в энергетические

системы. В случаях, когда предприятие находится в отдаленных районах, питание его может осуществляться от местных электростанций, работающих изолированно от других. В обоих случаях электростанции вырабатывают трехфазный переменный ток частотой 50 Гц.

Электрическая энергия от источника подается к потребителям, как правило, с помощью линий электропередач (ЛЭП). Напряжение линий выбирают в зависимости от мощности, передаваемой по ним, и их протяженности. Чем выше передаваемая мощность и больше длина ЛЭП, тем выше должно быть ее напряжение. Это позволяет уменьшить ток, протекающий по линии, и, как следствие, снизить в ней потери. Для повышения напряжения в начале ЛЭП устанавливают повышающие трансформаторные подстанции. ЛЭП, питающие промышленные предприятия, имеют напряжение 35, 110 или 220 кВ.

Для приема электроэнергии от сети энергосистемы и распределения ее между цехами на территории предприятия сооружают одну или несколько главных понизительных подстанций (ГПП) или осуществляют глубокий ввод. В последнем случае напряжение поступает на несколько промежуточных подстанций, понижающих напряжение до 6—10 кВ и обслуживающих группу цехов и механизмов. Система глубокого ввода предпочтительней, поскольку способствует снижению потерь и повышению качества электроэнергии (ее стабильности, синусоидальности, симметрии). Глубокий ввод осуществляют от узловых распределительных пунктов по радиальной схеме или по двойным сквозным магистралям. Радиальные линии, а также ответвления от магистральных линий питают подстанции глубокого ввода ПГВ (рис. 57).

Совокупность источников электроэнергии, ЛЭП, главных понизительных подстанций и подстанций глубокого ввода относится к системе внешнего электроснабжения. Задача ее состоит в подаче электроэнергии от энергосистемы к фабрике.

От шин ГПП и ПГВ электрическая энергия поступает непосредственно к крупным механизмам (дробилкам, мельницам, эксгаустерам и др.) и к трансформаторам цеховых подстанций. Аппаратура управления такими электроприемниками может размещаться на ГПП, ПГВ или в распределительных пунктах. А в цехе у механизмов устанавливаются только командные аппараты. На ГПП и ПГВ размещаются также трансформаторы 6-10/0,4-0,23 кВ для удовлетворения собственных нужд подстанций. К ним подключают также потребители напряжением до 1000 В, расположенные вблизи подстанций.

Комплекс сооружений, состоящих из цеховых подстанций, распределительных пунктов, внутривоздушных, меж- и внутрицеховых сетей, предназначенных для распределения или передачи электроэнергии к потребителям, относится к внутренней системе электроснабжения.

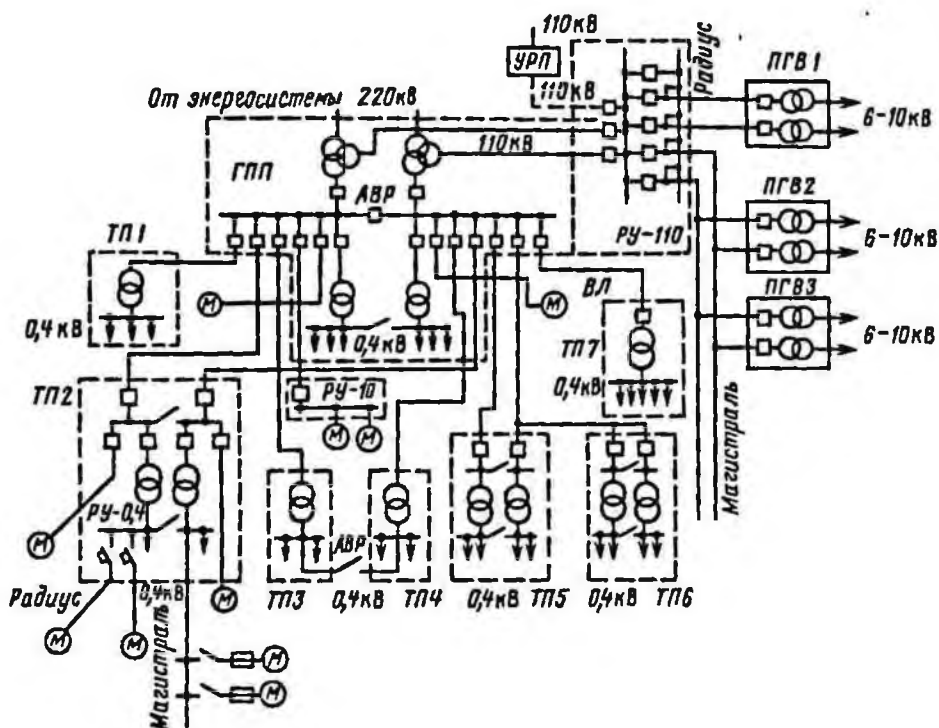


Рис. 57. Схема электроснабжения фабрики

Цеховые подстанции (ТП) и распределительные устройства (РУ) 6-10 кВ, как правило, пристраиваются к корпусу цеха или встраиваются в него. Питание подстанций осуществляют чаще всего кабельными линиями; питание РУ — по кабельным линиям и шинпроводам. При питании подстанций по радиальным кабельным линиям осуществляется непосредственное, без отключающих аппаратов, присоединение питающего кабеля 6-10 кВ трансформатору (например ТП1, рис. 57). При подаче электроэнергии на подстанцию по воздушной ЛЭП (ТП7), а также от магистральной линии установка отключающего аппарата обязательна по условиям защиты подстанции. Для передачи электроэнергии в сетях внутреннего электроснабжения наряду с кабельными линиями широкое распространение получили шинпровода, прокладываемые по шинным тоннелям или подземным галереям.

Электрическую энергию внутри производственных корпусов и между соседними корпусами, получающими электрическую энергию от одной подстанции, распределяют с помощью распределительных линий (РЛ). Распределительные линии могут также быть радиальными, магистральными и комбинированными (рис. 57). Возможна также магистральная линия с шинными магистралями.

В системе внутреннего электроснабжения применяется переменный и постоянный ток следующих напряжений. В сетях

переменного тока до 1000 В—однофазные системы напряжением 12, 36, 220 и 380 В; трехфазные системы напряжением 380/220 В и 660/380 В. Наиболее распространено напряжение 380/220 В, а напряжение 660/380 В применяют для питания электродвигателей типов ВАО (32÷315 кВт), В и ВР (0,25—110 кВт). В сетях переменного тока напряжением выше 1000 В применяют трехфазные системы 3, 6, 10, 20 кВ. Напряжение 3 кВ в настоящее время применяют редко, напряжение 6 кВ—при собственной ТЭЦ, когда имеют соответствующие двигатели (мощностью до 1500 кВт и частотой вращения 750 об/мин), напряжение 10 кВ чаще используют для внутризаводских распределительных сетей и в отдельных случаях для питания двигателей мощностью 900—2000 кВт. Если применяют и 6 и 10 кВ, на ГПП ставят трехобмоточные трансформаторы с соответствующими вторичными обмотками. Напряжение 20 кВ является перспективным.

Постоянный ток получают на фабриках с помощью различных выпрямителей и используют при напряжении 110, 220 и 440 В.

В целом система электроснабжения строится таким образом, чтобы она была надежной и обеспечивала необходимое качество электроэнергии.

## 5.2. ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ ФАБРИК

### 5.2.1. Категории потребителей и качество электроэнергии

В отношении требуемой надежности электроснабжения согласно правилам устройства электроустановок (ПУЭ) все потребители электроэнергии делятся на три категории.

К первой категории относятся электроприемники, нарушение в электроснабжении которых может повлечь за собой опасность для жизни людей, значительный ущерб народному хозяйству, повреждение оборудования, массовый брак продукции, расстройство технологического процесса. Для обеспечения надежности электроснабжения потребители первой категории должны получать электроэнергию от двух независимых источников питания. Перерыв в электроснабжении их может быть допущен только на время автоматического ввода резервного питания. На обогатительных фабриках к первой категории относится сравнительно небольшое число электроприемников: такие как сгустители, вращающиеся печи, насосы смазки аглозкстауэтров, насосы противопожарные и для откачки хвостов.

Ко второй категории относятся электроприемники, перерыв в электроснабжении которых может вызвать недоотпуск продукции, простой рабочих и механизмов. Для потребителей второй категории допустимы перерывы в электроснабжении

на время, необходимое для включения резервного питания дежурным персоналом. На фабриках к этой категории относятся все основные электроприемники (дробилки, мельницы, сепараторы, вентиляторы, отсадочные машины и др.).

К третьей категории относятся электроприемники, не относящиеся к первым двум категориям. При эксплуатации электроприемников третьей категории допустимы перерывы в электроснабжении на время, необходимое для ремонта или замены поврежденного элемента схемы, но не более одних суток. К этой категории относятся большинство электроприемников вспомогательных цехов, таких как склады, механические мастерские, приборазделочные, химические лаборатории и др.

На рис. 57 ТП1 предназначена для питания потребителей третьей категории. Потребители первой и второй категорий питаются по двум или более линиям от разных секций шин ГПП (ТП2, см. рис. 57). Шины распределителя 0,4 кВ также секционируют и для потребителей первой категории предусматривают устройство автоматического включения резерва (АВР). Потребители второй категории и часть первой могут получать питание и по более простой схеме (ТП3 и ТП4).

Качество электроэнергии для систем трехфазного тока характеризуется следующими показателями: отклонениями напряжения от установленных норм; колебаниями напряжения; отклонениями частоты напряжения; несинусоидальностью формы кривой напряжения; несимметрией напряжения, коэффициентом мощности системы.

Причиной отклонений напряжения могут быть изменения режима работы энергосистемы и потребителей данного предприятия. Для регулирования напряжения применяют комплекс мероприятий: глубокий ввод, разукрупнение подстанций, применение трансформаторов с регулированием напряжения под нагрузкой, применение синхронных электродвигателей с регулируемым возбуждением и конденсаторных батарей.

Колебания напряжения возникают при резком нарушении нормального режима, а также при толчках нагрузки, вызванных работой мощных электроприводов, электропечей и сварочных машин. К числу мероприятий, снижающих колебания напряжения, относятся: приближение электроприемников с резкопеременной нагрузкой к мощным источникам питания, выделение их на отдельные линии и трансформаторы, присоединение к разным ветвям трансформаторов с расщепленной обмоткой, применение специальных средств (синхронных двигателей, компенсаторов, конденсаторных батарей, реакторов).

Соблюдение нормированной частоты напряжения в основном обязанность энергоснабжающих организаций.

Несинусоидальность формы кривой напряжения вызывается наличием в сети колебаний кривой напряжения с частотой, в 5—13 и более раз превышающей основную частоту 50 Гц.



Такие колебания кривой напряжения называются высшими гармониками. Основные их источники: полупроводниковые преобразователи, дуговые печи, сварочные устройства, пускорегулирующие устройства люминесцентных ламп, стальные сердечники электрооборудования с нелинейной зависимостью между током и напряжением. Для ограничения высших гармоник применяют: средства, предназначенные для снижения колебаний напряжения; многофазные схемы выпрямления и специальные резонансные фильтры высших гармоник.

Несимметрию напряжения создают неравномерное распределение по фазам однофазных электрических нагрузок и их неодновременное включение. В качестве мер, уменьшающих несимметрию напряжения, применяют меры по снижению колебаний напряжения в сети, специальные симметрирующие устройства и мероприятия по равномерному распределению однофазных электроприемников по фазам питающей сети.

Коэффициент мощности характеризует соотношение активной и реактивной составляющих электроэнергии, потребляемой системой электроснабжения. Активная электроэнергия преобразуется в приемниках в другие виды энергии (механическую, тепловую) и расходуется на производство полезной работы. Реактивная энергия расходуется на создание магнитных полей в обмотках машин и аппаратов, в проводниках сетей и непрерывно циркулирует в сетях, не производя полезной работы, вызывая в них дополнительные потери.

В соответствии с этим ток  $I$ , протекающий в электроприемниках, и мощность  $S$ , потребляемая ими, состоят из активных и реактивных составляющих:  $I_a$ ,  $I_p$  и  $P$ ,  $Q$ . Активная составляющая тока  $I_a$  совпадает по фазе с приложенным напряжением, реактивная составляющая  $I_p$  отстает от него и обуславливает сдвиг по фазе между полным током  $I$  и напряжением  $U$  в месте установки электроприемника на угол  $\varphi$  (см. рис. 12, б). Величина  $\cos \varphi$  называется коэффициентом мощности и представляет собой отношение активной мощности ко всей потребляемой мощности:  $\cos \varphi = P/S$ .

Из этого следует, что для создания лучшего режима работы системы электроснабжения необходимо стремиться к снижению реактивной мощности, потребляемой системой, т. е. стремиться к увеличению коэффициента мощности на вводах всех электроприемников. В соответствии с установленными требованиями коэффициент мощности на вводе в систему электроснабжения предприятия должен быть не ниже 0,92.

### 5.2.2. Учет электрических нагрузок в системе внутреннего электроснабжения

Знание электрических нагрузок необходимо для расчетов за потребляемую электроэнергию с энергоснабжающими организациями, для выбора и проверки проводников и трансформаторов.

маторов по пропускающей способности и экономической плотности тока, а также расчетов потерь, отклонений, колебаний напряжения, для выбора защиты и компенсирующих устройств.

Для этих целей определяют нагрузки: средние, максимальные и пиковые.

Средние нагрузки за наиболее загруженную смену используют для определения расчетного максимума. Для силовых электроприемников их рассчитывают по формулам:

для одиночных приемников

$$P_{см} = K_{н} P_{ном}; \quad Q_{см} = P_{см} \operatorname{tg} \varphi_{см};$$

для групп приемников

$$P_{см.гр} = \sum_1^n P_{см}; \quad Q_{см.гр} = \sum_1^n Q_{см};$$

где  $P_{см}$  и  $Q_{см}$  ( $P_{см.гр}$  и  $Q_{см.гр}$ ) — средние соответственно активная (кВт) и реактивная (кВар) индивидуальные (групповые) нагрузки;  $P_{ном}$  — номинальная мощность электроприемника, кВт;  $\varphi_{см}$  — коэффициент мощности за смену, определяемый по табл. 5;  $K_{н}$  — коэффициент использования нагрузки, определяемый по табл. 5.

Таблица 5

Электроприемники	Коэффициенты	
	$K_n$	$\cos \varphi$
Насосы производственного водоснабжения	0,8	0,85
Насосы песковые производственные	0,75	0,8
Насосы песковые дренажные	0,2	0,8
Вентиляторы, воздуходувки, дымососы, вакуум-насосы	0,75	0,8
Аглоэксгаустеры	1	0,9 (опережающий)
Дробилки крупного дробления, щёковые, конусные с двухдвигательным приводом	0,45	0,62
Дробилки конусные крупного дробления с однодвигательным приводом и среднего дробления	0,6	0,75
Дробилки короткоконусные мелкого дробления	0,7	0,76
Дробилки молотковые и валковые	0,8	0,85
Мельницы шаровые и стержневые	0,8	0,9 (опережающий)
Грохоты разные	0,5	0,65
Конвейеры ленточные с двигателями:		
до 10 кВт	0,5	0,7
свыше 10 кВт	0,75	0,75
Питатели и конвейеры электровибрационные	0,98	0,6
Питатели другие, сепараторы	0,4	0,65
Вагоноопрокидыватели	0,35—0,45	0,45
Вспомогательные механизмы, станки	0,15—0,3	0,5
Краны мостовые, грейферные и др.	0,2—0,3	0,5
Насосы масляные	0,65	0,75
Лабораторное оборудование	0,3	0,8

При наличии данных о среднегодовом расходе активной  $W_{a.g}$  и реактивной  $W_{p.g}$  электроэнергии средние нагрузки могут быть рассчитаны по формулам:  $P_{см} = P_{с.г}/\alpha$ ;  $Q_{см} = Q_{с.г}/\alpha$ , где  $P_{с.г} = W_{a.g}/T_g$  — среднегодовая активная мощность;  $Q_{с.г} = W_{p.g}/T_g$  — среднегодовая реактивная мощность;  $T_g$  — годовое число часов работы предприятия, ч;  $\alpha = 0,75$  — годовой коэффициент энергоиспользования, учитывающий неравномерность нагрузки.

Средняя активная мощность осветительной нагрузки принимается равной максимальной и определяется по формуле

$$P_{см.о} = K_c \sum P_{о.н}, \quad (15)$$

где  $P_{о.н}$  — установленная мощность освещения;  $K_c$  — коэффициент спроса.

Значения коэффициента спроса  $K_c$  осветительной нагрузки могут быть приняты равными:

Мелкие производственные здания .....	0,95
Производственные здания, состоящие из отдельных крупных пролетов ...	0,9
Производственные здания, состоящие из отдельных помещений .....	0,8
Административные здания и здания общественного питания .....	0,85
Лечебные, детские, учебные, конторско-бытовые, лабораторные здания ...	0,75
Складские здания непроизводственного назначения .....	0,6
Аварийное освещение .....	1,0

Для осветительной установки с газоразрядными лампами средняя реактивная мощность нагрузки

$$Q_{см.о} = P_{см.о} \operatorname{tg} \varphi, \quad (16)$$

где  $\operatorname{tg} \varphi$  — коэффициент мощности газоразрядной лампы.

Максимальной нагрузкой называют наибольшую из соответствующих средних нагрузок за промежуток времени 30 мин (получасовой максимум). Этот промежуток времени наиболее близок к постоянным времени нагрева наиболее часто применяемых проводников. Максимальную нагрузку можно определить по формуле:

$$P_{\max} = K_{\max} K_n P_{\text{ном}}, \quad Q_{\max} \approx Q_{см.о}$$

Величина  $K_{\max}$  находится по табл. 6 в зависимости от группового коэффициента использования за наиболее загруженную смену  $K_n$  (см. табл. 5) и от эффективного числа электропри-

емников в группе, определяемого по формуле  $n_3 = \frac{\left(\sum_1^n P_{\text{ном}}\right)^2}{\sum_1^n P_{\text{ном}}^2}$ ,

где  $n_3$  — число электроприемников в группе.

Для осветительных электроприемников максимальная активная и реактивная нагрузки принимаются равными средним за наиболее нагруженную смену [формулы (15) и (16)].

Таблица 6

n,	Значения $K_{max}$ при $K_n$						
	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
4	2,64	2,14	1,87	1,65	1,46	1,29	1,14
5	2,42	2,00	1,76	1,57	1,41	1,26	1,12
6	2,24	1,88	1,66	1,51	1,37	1,23	1,10
7	2,10	1,80	1,58	1,45	1,33	1,21	1,09
8	1,99	1,72	1,52	1,40	1,30	1,20	1,08
9	1,90	1,65	1,47	1,37	1,28	1,18	1,08
10	1,84	1,60	1,43	1,34	1,26	1,16	1,07
12	1,75	1,52	1,36	1,28	1,23	1,15	1,07
14	1,67	1,45	1,32	1,25	1,20	1,13	1,07
16	1,61	1,41	1,28	1,23	1,18	1,12	1,07
20	1,50	1,34	1,24	1,20	1,15	1,11	1,06
25	1,40	1,28	1,21	1,17	1,14	1,10	1,06
30	1,34	1,24	1,19	1,16	1,13	1,10	1,05
40	1,27	1,19	1,15	1,13	1,12	1,09	1,05
45	1,25	1,17	1,14	1,12	1,11	1,08	1,04
50	1,23	1,16	1,14	1,11	1,10	1,08	1,04
60	1,19	1,14	1,12	1,11	1,09	1,07	1,03
70	1,17	1,12	1,10	1,10	1,09	1,06	1,03
80	1,15	1,11	1,10	1,10	1,08	1,06	1,03
90	1,13	1,10	1,09	1,09	1,08	1,05	1,02
100	1,12	1,10	1,08	1,08	1,07	1,05	1,02

Получасовой максимум нагрузки может определяться также по счетчикам и другим приборам, учитывающим нагрузку на подстанциях.

*Пиковой нагрузкой* одного или группы электроприемников называется кратковременная нагрузка продолжительностью 1—2 с, обусловленная пуском электродвигателей, эксплуатационными короткими замыканиями (электросваркой и др.). Пиковый ток группы электроприемников можно определить по формуле:

$$I_{п} = I_{п \max} + (I_{\max} - K_{п} I_{\text{ном. макс. п}}),$$

где  $I_{п \max}$  — наибольший пусковой ток двигателей в группе, А;  $I_{\max}$  — ток максимальной нагрузки всех электроприемников, А;  $I_{\text{ном. макс. п}}$  — приведенный к ПВ=100% номинальный ток двигателя с наибольшим пусковым током, А.

В случае отсутствия заводских данных пусковой ток принимается равным: 5-кратным номинального для короткозамкнутых асинхронных и синхронных двигателей; 2,5-кратным номинального для двигателей асинхронных с фазным ротором и постоянного тока; 3-кратным номинального без приведения к ПВ=100% для печного и сварочного трансформаторов.

### 5.3. ПОДСТАНЦИИ

#### 5.3.1. Назначение, типы и основные схемы подстанций

Подстанция служит для приема, преобразования и распределения электроэнергии и состоит из трансформаторов или

других преобразователей электроэнергии, распределительных устройств с коммутационными аппаратами и сборными шинами, устройств управления, защиты, автоматики, измерения и вспомогательных сооружений.

В зависимости от преобладания той или иной функции подстанции называются трансформаторными или преобразовательными. В зависимости от назначения подстанции бывают узловыми (УРП) на напряжение 110—500 кВ, главными понизительными (ГПП) на напряжение 110—220 кВ, глубоких вводов (ПГВ) на напряжение 110—220 кВ, распределительными на 6—10 кВ (РП), цеховыми 6-10/0,38-0,66 кВ (ТП). В зависимости от размещения оборудования подстанции распределительные устройства могут быть закрытыми и открытыми.

Оперативное управление системой электроснабжения фабрики осуществляется с помощью коммутационных аппаратов подстанций. К таким аппаратам относятся силовые масляные и безмасляные выключатели, отделители, короткозамыкатели и стреляющие предохранители на подстанциях 35—220 кВ. В электрических цепях 6—10 кВ устанавливают выключатели нагрузки и токоограничивающие предохранители, в цепях 0,38—0,66 кВ — автоматы и рубильники. Пропускная способность всех аппаратов должна обеспечивать прохождение максимальной мощности при послеаварийном режиме, т. е. при отключении неисправных линии и трансформатора и перевода нагрузки на исправные.

На высшем напряжении подстанций всех ступеней электроснабжения применяют, как правило, схемы без сборных шин, основанные на блочном принципе: на низшем напряжении подстанций промышленных предприятий — схемы с двумя и одной системами сборных шин.

Схема с двумя системами сборных шин позволяет ремонтировать сборные шины и проводить работы на них без перерыва питания потребителей. Однако такие схемы дороги, сложны в эксплуатации и должны быть оборудованы специальными блокировками при переключениях. На обогатительных фабриках чаще применяют схемы подстанций с одной секционированной системой сборных шин (рис. 57). Такие схемы применяют иногда и в РУ 110—220 кВ ГПП, когда нельзя использовать блочные схемы без сборных шин. Одиночная секционированная шина более надежна, так как для переключений здесь требуется меньше коммутационных аппаратов. В большинстве случаев достаточно двух секций. Каждая секция питается отдельной линией или отдельным трансформатором. Схемы с одной несекционированной системой сборных шин применяют для питания потребителей третьей категории.

Секционируют сборные шины разъединителями или выключателями, а при напряжении до 1000 В — автоматическими выключателями. Секции работают раздельно и секционный аппарат нормально выключен. Такие схемы позволяют по

очереди отключать секции для ревизии и ремонта шин и аппаратов, восстанавливать включением секционного аппарата питание электроприемников, подключенных к секции, питающая линия которой оказалась обесточенной из-за аварии или по другим причинам.

### 5.3.2. Комплектные устройства подстанций

Электроснабжение современных обогатительных фабрик базируется в основном на применении комплектных крупноблочных устройств: комплектных трансформаторных подстанций (КТП); комплектных распределительных устройств различных напряжений, мощностей и назначения (КРУ); распределительных щитов (РЩ) и др. При применении комплектных устройств повышается общее качество электроустановки, надежность и безопасность ее обслуживания, обеспечиваются быстрое расширение и мобильность при реконструкции электрохозяйства.

Комплектные трансформаторные подстанции (КТП) изготовляют на мощности 20—31 500 кВ·А на первичные напряжения 6—220 кВ и на вторичные напряжения 0,22—10 кВ. КТП состоят из распредустройства или ввода первичного напряжения, силового трансформатора и распредустройства вторичного напряжения. Поставляются они в виде отдельных блоков из указанных элементов, собираемых на месте монтажа. На рис. 58, а показана компоновка КТП мощностью 630—1000 кВ·А, состоящей из шкафа ввода высшего напряжения 1, силового трансформатора 2, шкафа ввода низшего напряжения 3, отсека приборов 4, шкафа отходящих линий низшего напряжения 5, секционного шкафа низшего напряжения или шкафа отходящих линий 6, шинного короба 7. Пунктиром показаны элементы подстанции, которые могут присоединяться к основному комплекту.

На рис. 58, б приведена принципиальная схема подстанции в случае установки двух трансформаторов и секционного шкафа низшего напряжения. Электроэнергия от ГПП или ПГВ подается на трансформаторы через предохранители и выключатели нагрузки (Ввод № 1 и Ввод № 2). На низшем напряжении автоматические выключатели служат для подключения секций сборных шин к трансформаторам, соединения секций между собой и для подключения электроприемников через шкаф отходящих линий.

Комплектные распредустройства предназначены для приема и распределения электрической энергии трехфазного переменного тока промышленной частоты. КРУ представляет собой распределительное устройство, состоящее из набора типовых шкафов в металлической оболочке, поставляемых заводом-изготовителем блоками из нескольких шкафов или отдельными шкафами в полностью смонтированном виде, со

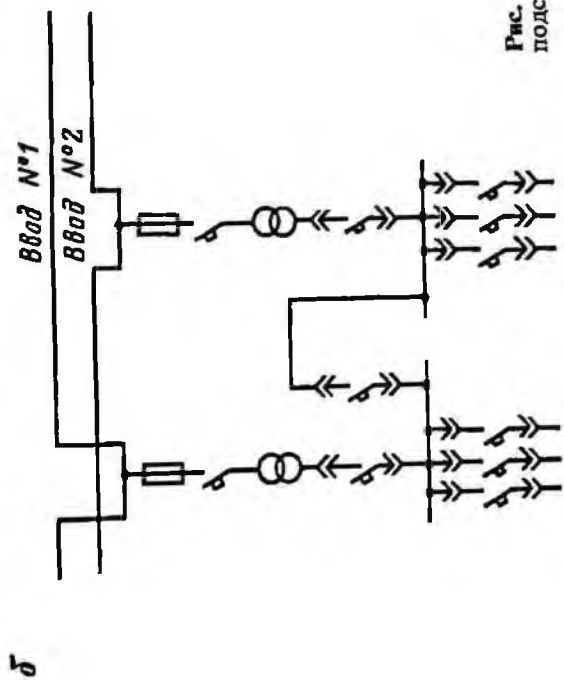
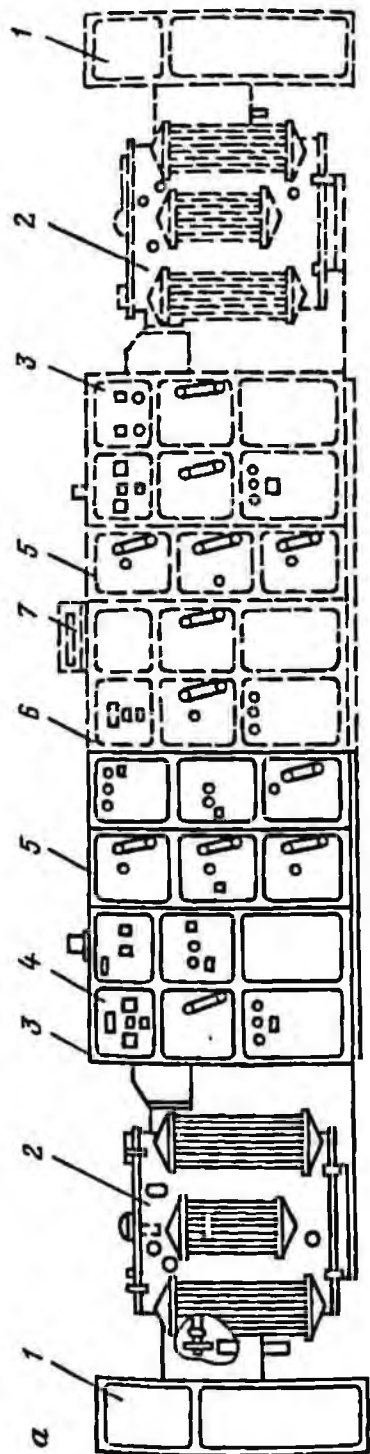


Рис. 58. Комплектная трансформаторной подстанции мощностью 630—1000 кВ·А

всей аппаратурой и всеми соединениями главных и вспомогательных цепей. Комплектные устройства бывают двух видов: стационарные (КСО) и выдвижного типа (КРУ). В КРУ выключатели, измерительные трансформаторы и разрядники устанавливаются на выкатной тележке шкафа. Преимущества такой конструкции — взаимозаменяемость однотипных выкатных тележек и наличие металлических перегородок между отдельными отсеками шкафа. В шкафы комплектных распределительных устройств могут быть встроены выключатели, трансформаторы напряжения, разрядники, кабельные сборки, силовые трансформаторы и аппаратура для собственных нужд подстанций, предохранители, шинные перемычки.

Распределительные щиты рассчитаны на напряжение до 1000 В и предназначены для цеховых подстанций. Изготавливают РЩ одно- и двустороннего обслуживания. Последние удобнее в обслуживании и применяются обычно на крупных и ответственных подстанциях мощностью до 1000 кВ·А и более со значительным числом панелей, при установке сложных коммутационных аппаратов, требующих обслуживания с задней стороны. Такие щиты применяют наряду с выдвижными КРУ до 1000 В. Панели, предназначенные для установки в закрытых помещениях, открыты сверху и сзади; устанавливаемые в производственных помещениях изготавливаются в виде шкафа. В РЩ устанавливают рубильники с предохранителями на общей плите на токи 100, 250 и 500 А со смещенными приводами, рубильники на токи 600 и 1000 А также со смещенными приводами, блоки предохранитель-выключатель типа ПВ на токи 100, 250, 400 и 600 А и блоки типа В на токи 600 и 1000 А, автоматические выключатели с передним присоединением на токи 100, 250, 600 А, а также на токи 400, 1000, 1600 и 2000 А, измерительные приборы, счетчики и трансформаторы тока.

Ошиновка щитов устойчива при ударных токах короткого замыкания до 50 кА.

Распределительные щиты разделяются на линейные, вводные, вводно-линейные, секционные и секционно-линейные, в том числе с АВР. Ввод на щит от трансформатора может быть выполнен кабелями снизу и шинами сверху. В последнем случае ввод осуществляют с помощью вводных щитов или же непосредственно к сборным шинам через устанавливаемый на стене разъединитель.

#### **5.4. ТЕЛЕМЕХАНИЗАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ**

В системах электроснабжения обогатительных фабрик предусматриваются централизованное (диспетчерское) управление и контроль за работой этих систем. Для этого диспетчерская



служба оборудуется средствами телемеханической связи, управления и контроля, подстанции — средствами автоматики. Благодаря централизации управления электроснабжением предприятия повышается надежность электроснабжения, сокращается число обслуживающего персонала на подстанциях и в электрических сетях.

#### 5.4.1. Назначение и состав устройств телемеханизации

Телемеханизация обеспечивает отображение на диспетчерском пункте состояния основных элементов системы электроснабжения, передачу на диспетчерский пункт предупредительных и аварийных сигналов, а также оперативное управление агрегатами и устройствами системы для выбора наиболее рациональных режимов, локализации и ликвидации аварий. В соответствии с этим основными функциями телемеханизации являются: телеизмерения, телесигнализация и телеуправление.

В обычных системах измерений, сигнализации и управления для связи с каждым объектом необходима отдельная линия связи. Расстояние до объекта ограничено потерями в этих линиях. Телемеханические устройства позволяют использовать для связи со многими объектами одну линию связи путем посылки по ней специальных кодированных сигналов. В современных телемеханических системах, как правило, кодирование заключается в преобразовании обычных непрерывных сигналов в дискретные и в придании им определенных качественных (импульсных) признаков. Процесс придания дискретным сигналам качественных признаков называется модуляцией. Так, например, измерительные сигналы от разных элементов подстанции могут быть преобразованы в импульсные посылки разной частоты, передаваемые на диспетчерский пункт по одной (чаще всего кабельной телефонной) линии связи. Такие сигналы могут без искажения передаваться на многие десятки и сотни километров. Точно так же и сигналы управления, предназначенные для разных элементов подстанции, преобразуются на диспетчерском пункте в закодированные дискретные посылки, передаваемые по одной линии связи. В месте приема телеметрических сигналов телемеханические устройства обеспечивают их расшифровку — декодирование. При этом из модулированных импульсов выделяется первичный сигнал, представляющий собой информацию о значении или состоянии (включено-выключено) какого-либо параметра элемента подстанции или, при телеуправлении, команду на действие с соответствующими адресами.

Телемеханические устройства устанавливаются на концах линий связи. К ним сходятся и от них расходятся сигналы соответствующих элементов объекта. Из промышленных устройств телемеханики применяются ВРТФ-3, МКТ-1, МКТ-2, ТМ-300 и др.

По степени бесперебойности питания телемеханические системы относятся к потребителям первой категории. В кабельных распределительных коробках, ящиках и шкафах, относящихся к телемеханическим каналам связи, необходимо иметь дополнительную пломбируемую крышку, разрешающую доступ к пим только спецперсонала, обслуживающего данную систему.

#### 5.4.2. Автоматизация подстанций

Автоматизация подстанций позволяет, не прибегая к сплошному резервированию, простейшими средствами осуществлять надежное питание отдельных ответственных электроприемников. Автоматика на подстанциях может включать в себя следующие устройства: автоматического включения резерва (АВР), автоматического повторного включения (АПВ); автоматической разгрузки по частоте или по току (АРЧ или АРТ).

Автоматическое включение резерва (АВР) позволяет быстро и безошибочно восстанавливать питание. В установках напряжением 6—10 кВ АВР предусматривают на секционных выключателях (см. рис. 57), на резервных вводах, резервной перемычке между подстанциями. В установках до 1000 В АВР предусматривается на секционном автомате и контакторе (см. рис. 57), на шинах вторичного напряжения, на перемычках между подстанциями. Пуск АВР осуществляется от реле минимального напряжения и реле понижения частоты.

Автоматическое повторное включение (АПВ) обеспечивает быстрое автоматическое восстановление питания после кратковременных самоустраняющихся коротких замыканий в воздушных, кабельных линиях и других элементах сети (атмосферные перенапряжения, перекрытие проводов птицами, схлестывание проводов при ветре, толчки нагрузки и др.).

В системах электроснабжения фабрик применяют, как правило, однократные АПВ как наиболее простые и надежные. Реже применяют двухкратные АПВ на линиях при недостаточной их грозозащищенности. Для АПВ используют выключатели, снабженные электромагнитными, пневматическими и пружинными приводами с дистанционным и автоматическим включением и отключением. Схемы АПВ достаточно сложны, поскольку должны обеспечивать: длительный включающий импульс, действующий после возвращения механизмов привода в исходное положение перед включением, исключение многократного включения на короткое замыкание, работоспособность АПВ при управлениях выключателем вручную, от систем телемеханики и защиты. Поэтому АПВ включают в себя дорогостоящую аппаратуру и целесообразно в сетях выше 1000 В.

Автоматическая разгрузка по току или частоте (АРТ, АРЧ) применяется для разгрузки генераторов при послеаварийных

режимах и осуществляется отключением заранее намеченной наименее ответственной нагрузки предприятия с последующим автоматическим включением ее при восстановлении тока или частоты. Установка АРТ или АРЧ предусматривается на линиях 6, 10 и 35 кВ.

## 5.5. УСТРОЙСТВО РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОСЕТЕЙ НА ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ ФАБРИКАХ

### 5.5.1. Способы выполнения электросетей

Распределительные сети системы электроснабжения, прокладываемые по территории обогатительных фабрик, могут представлять собой воздушные и кабельные линии, шинопроводы, токопроводы, а также силовые и осветительные сети, проложенные установочными проводами.

*Воздушные линии* (ВЛ) широко применяют в питающих и распределительных сетях 220—6 кВ при соответствующих условиях окружающей среды, трассы, плотности застройки или верхних технологических коммуникаций. Для воздушных линий используют в основном голые многопроволочные провода—алюминиевые марок А и АКП, сталеалюминиевые марок АС, АСК, АСКС и АСКП, стальные марки ПС и из алюминиевого сплава—АН и АЖ. В качестве грозозащитных тросов применяют стальные многожильные оцинкованные канаты типа ЛК-88 для ВЛ напряжением 35 кВ и типов ТК-9.1 и ТК-11 для ВЛ напряжением 110—220 кВ.

На ВЛ 110—220 кВ применяют подвесные изоляторы, причем в наиболее сложных условиях—стеклянные, для ВЛ 35 кВ—штыревые и подвесные изоляторы, в сложных условиях—подвесные стеклянные, для ВЛ 6—10 кВ—штыревые изоляторы и только для проводов больших сечений на анкерных опорах подвесные изоляторы, в сетях до 1000 В—штыревые изоляторы.

В качестве опор для воздушных линий применяют: промежуточные, анкерные, угловые, концевые, транспозиционные и специальные опоры. Промежуточные опоры служат для поддержания проводов на заданной высоте над землей, анкерные—для жесткого закрепления проводов в некоторых точках трассы воздушной линии. Такие опоры полностью воспринимают натяжение проводов в смежных пролетах. По виду используемого для опор материала различают опоры—железобетонные, стальные, деревянные с железобетонными пасынками и из сплавов алюминия.

*Кабельные линии* до недавнего времени применялись преимущественно в сетях до 1000 В, 6—10 кВ и реже 35 кВ. Однако в последнее время из экономических соображений (сокращение территорий фабрик, затрат на планировку, на

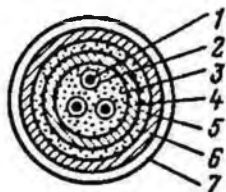


Рис. 59. Конструкция кабеля

прокладку сетей) применяют кабельные глубокие вводы 110—220 кВ. Кабель состоит из следующих основных элементов (рис. 59): многопроволочная или цельная токоведущая жила 1, фазовая изоляция 2, наполнитель 3, оболочка 4. В зависимости от назначения и марки кабеля оболочки изготавливают из свинца, алюминия, поливинилхлорида, полиэтилена и специальной резины. От механических повреждений отдельные марки кабеля защищают резиновым шлангом или броней 6 из стальных оцинкованных лент, защищенных от коррозии пропитанной пряжей 7. Между оболочкой и броней имеется защитная подушка 5 из битумного состава, пропитанной бумаги или пряжи.

В зависимости от условий кабели прокладывают в траншеях

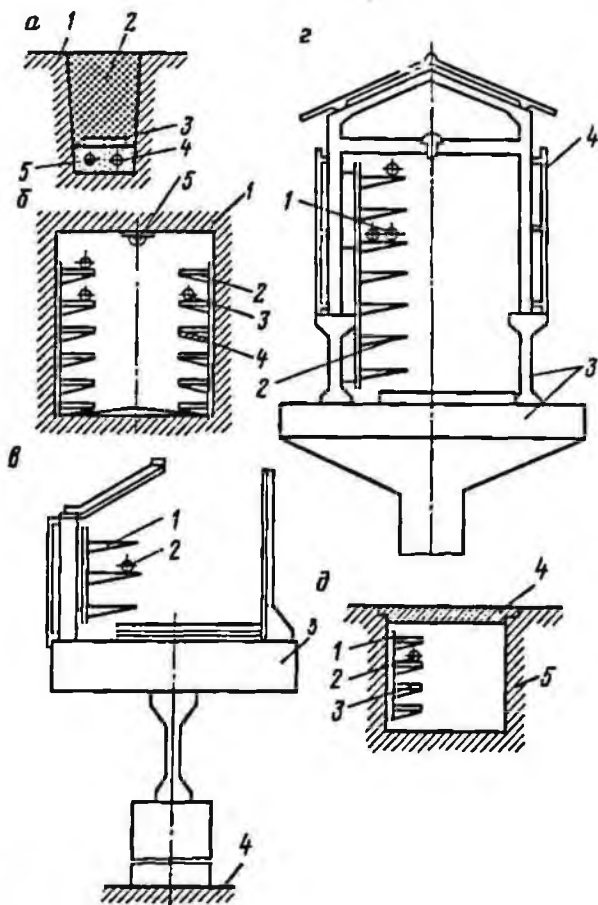


Рис. 60. Способы прокладки кабелей:

а—в траншеях: 1—грунт; 2—насыпной грунт; 3—кирпич; 4—кабель; 5—песок; б—в тоннелях: 1—железобетон (моноклитный или сборный); 2—полка; 3—кабель; 4—огнестойкая перегородка; 5—светильник; в—в эстакадах: 1—полка; 2—кабель; 3—железобетонная конструкция; 4—солнцезащитные панели; г—в каналах: 1—кабельная конструкция; 2—кабель; 3—полка; 4—съемная панель; 5—грунт

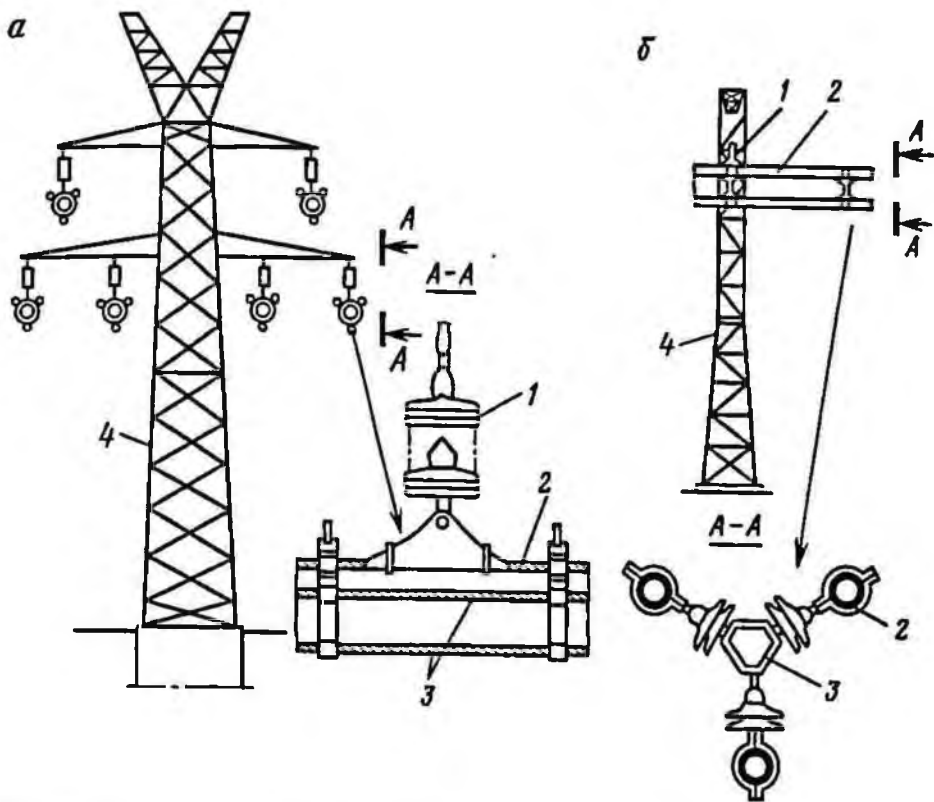


Рис. 61. Конструкции токопроводов:

*a* — гибкий токопровод: 1 — гирлянда подвесных изоляторов; 2 — трос; 3 — токопровод фазы из алюминиевых или медных проводов; 4 — металлическая опора; *б* — жесткий токопровод: 1 — подвеска токопровода; 2 — токопровод (шина алюминиевая трубчатая); 3 — междуфазная распорка; 4 — металлическая опора

(рис. 60, *a*) или в кабельных сооружениях: туннелях (рис. 60, *б*), эстакадах (рис. 60, *в*), галереях (рис. 60, *г*), каналах (рис. 60, *д*). Кабельные сооружения предусматривают 20%-ный резерв для прокладки дополнительных кабелей. Кабельные линии, предназначенные для питания электроприемников первой категории, прокладывают по отдельным, изолированным друг от друга трассам.

При прокладке кабельных трасс по возможности используют существующие технологические, водо-, тепло- и воздухокоммуникации, стены зданий, лотки, межферменные пространства, натянутые между зданиями троса.

Кабельные сооружения по степени пожароопасности относятся к категории В и выполняются из негорючих материалов.

*Токопроводы* используют при концентрированном расположении нагрузок и большом числе часов использования максимума нагрузки. При этом дефицитные кабели 6, 10 и 35 кВ заменяют неизолированными алюминиевыми шинами или проводами. Повышается надежность питания, упрощается эксплуатация, повышается способность к перегрузке. К недостаткам

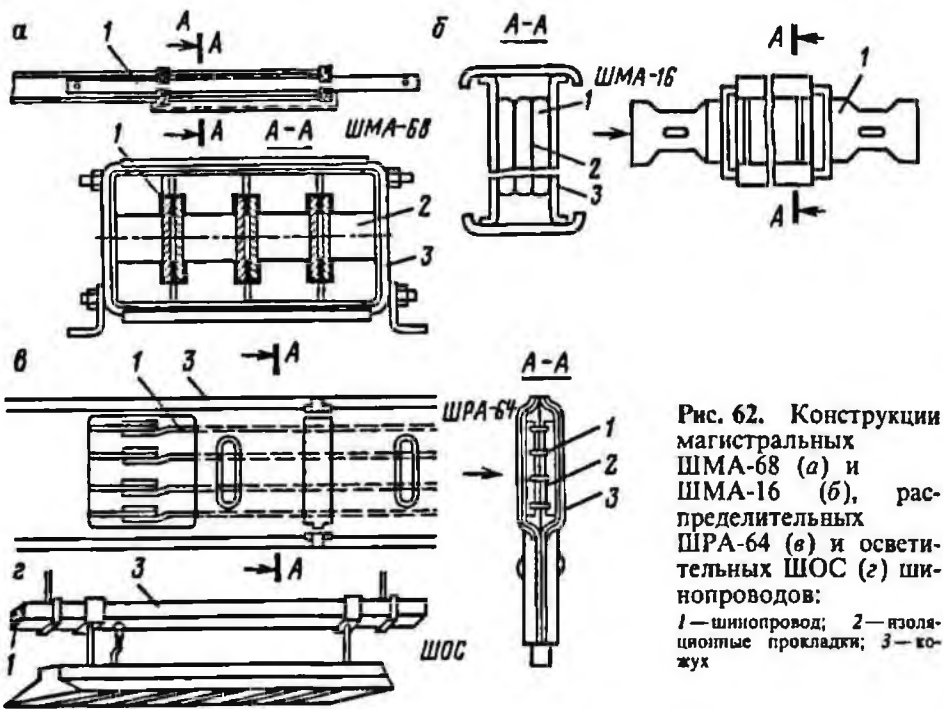


Рис. 62. Конструкции магистральных ШМА-68 (а) и ШМА-16 (б), распределительных ШРА-64 (в) и осветительных ШОС (г) шиннопроводов:  
1 — шиннопровод; 2 — изоляционные прокладки; 3 — кожух



Рис. 63. Установочные провода

токопроводов следует отнести высокую стоимость строительной части, их реактивность, вносимую строительными и крепящими конструкциями, которая приводит к дополнительным потерям в токопроводе и снижению напряжения у потребителя, необходимость резервирования, так как аварии на токопроводе сказываются на большом числе потребителей. При проектировании токопроводов принимают меры, уменьшающие влияние этих недостатков. Применяются следующие конструкции токопроводов:

1. Гибкий токопровод, выполняемый голыми расщепленными проводами больших сечений, подвешенными с помощью гирлянд подвесных изоляторов на специальных железобетонных и стальных опорах (рис. 61, а).

2. Жесткий токопровод, состоящий из пакета шин развитого сечения (квадратов, швеллеров, труб и др.) и смонтированный на опорных и подвесных изоляторах, закрепленных на необходимых строительных конструкциях — тоннелях, эстакадах, опорах, кронштейнах, закрепленных на крышах зданий (рис. 61, б).

Шиннопроводы применяют для межцеховых (напряжением 6 ÷ 35 кВ) и цеховых (на напряжения до 1000 В) магистралей. Шиннопроводы для межцеховых магистралей чаще всего из-

готовляют из алюминиевых шин, размещенных в общем алюминиевом круглом кожухе.

Шинопроводы для цеховых магистралей изготовляют в виде комплектных устройств трех исполнений: магистральные большой мощности типов ШМА-68 (рис. 62, а) и ШМА-16 (рис. 62, б) на токи 1600, 2500 и 4000 А, распределительные средней мощности ШРА-64 (рис. 62, в) на токи 250, 400 и 600 А, осветительные ШОС (рис. 62, г) на токи 25 А.

Закрытые шинопроводы устанавливают на любой высоте, защищенные—на высоте не менее 2,5 м от пола. Применяют также открытые шинопроводы, выполняемые голыми шинами, проложенными по изоляторам, закрепленным на кронштейнах и траверсах нижнего пояса ферм, стен, колонн на высоте не ниже 3,5 м от пола.

*Установочные провода* широко применяют наряду с шинопроводами и кабелями для подключения двигателей, выполнения схем управления и осветительных сетей. Наибольшее распространение имеют провода ПР, АПР, ПРТО и другие (рис. 63, а), у которых токопроводящая алюминиевая или медная (цельная или многопроволочная) жила 1 изолирована вулканизированной резиной 2, миткалевой лентой 3 и хлопчатобумажной оплеткой, пропитанной компаундом 4. Большое применение находят также ленточные провода ППВ и АППВ (рис. 63, б) с параллельным расположением токоведущих жил 1, изолированных одна от другой ленточным основанием из поливинилхлорида—2 шириной 5 мм и толщиной 0,6 мм.

Установочные провода прокладывают открыто (в лотках и желобах) и в газовых трубах. Прокладка в газовых трубах обеспечивает надежную защиту проводов от механических воздействий, допустима в помещениях с любой характеристикой среды и выполняется в любом месте: в бороздах в полу, по стенам и потолкам (открыто и скрыто), по металлическим конструкциям зданий и технологического оборудования. Провода с алюминиевыми жилами не применяют при прокладке по конструкциям, подверженным сотрясениям и ударам. Если возможно воздействие на провода масел и их паров, то в трубах прокладывают провода ППВ и АППВ. Эти провода используют также для скрытой проводки осветительных сетей.

### 5.5.2. Основные положения по выбору сечений проводников сетей

Выбор сечений проводников распределительных сетей основан на соблюдении нормированных условий в отношении нагрева проводников, экономической плотности тока и потерь в них напряжения, механической прочности проводников.

Для выбора сечения по нагреву используется получасовой максимум нагрузки (см. раздел 5.2.2). Соответствующее сечение

Таблица 7

Время использования максимальной нагрузки $T_m$	Экономическая плотность тока, А/мм <sup>2</sup> для				
	голых проводов и шин		кабелей с бумажной изоляцией		кабелей с резиновой изоляцией и медными жилами
	медных	алюминиевых	медных	алюминиевых	
1000—3000	2,5	1,3	3,0	1,6	3,5
3000—5000	2,1	1,1	2,5	1,4	3,1
5000—8760	1,8	1,0	2,0	1,2	2,7

проводника выбирается по таблицам длительно допустимых токовых нагрузок, приведенных в таблицах Правил устройства электроустановок [21]. Длительно допустимые токовые нагрузки определены здесь в зависимости от способа прокладки сети и температуры окружающей среды.

Для постоянных сетей напряжением выше 1000 В, групповых и магистральных сетей напряжением до 1000 В с продолжительностью использования максимума нагрузки более 5000 ч в год выбранное сечение сравнивают с экономически целесообразным сечением  $F_2$  (мм<sup>2</sup>), определяемым в зависимости от средней нагрузки  $I_{см}$  (см. раздел 5.2.2).

$$F_2 = I_{см} / i_3,$$

где  $i_3$  — экономическая плотность тока, определяемая по табл. 7 в зависимости от времени  $T_m$  использования максимальной нагрузки ( $T_m = T_r \alpha$ , см. раздел 5.2.2).

Выбранные сечения проводников проверяют на потери напряжения в сети  $\Delta U$ , которые при номинальном режиме не должны превышать 6—7%. Потери напряжения  $\Delta U$  (В) в сетях можно определить по формулам:

в трехфазной линии переменного тока

$$\Delta U = \sqrt{3} I (R \cos \varphi + X \sin \varphi);$$

в линии постоянного тока и однофазного переменного тока с активной нагрузкой

$$\Delta U = 2 I_{\max} R,$$

где  $I_{\max}$  — расчетный ток, в качестве которого принимается получасовой максимальный ток, А;  $R = r_l \frac{L}{F} \cdot 10^3$  — активное сопротивление проводника (удельное активное сопротивление принимают для меди  $r_l = 0,02$ , для алюминия  $r_l = 0,033$ ), Ом;  $X$  — индуктивное сопротивление проводника, Ом;  $\cos \varphi$  — коэффициент мощности нагрузки;  $L$ ,  $F$  — соответственно длина (м) и сечение (мм<sup>2</sup>) проводника.



Таблица 8

Характеристика ВЛ	Минимальное допустимое сечение (мм <sup>2</sup> ) проводов марки	
	А и АН	АС и АЖ
Без пересечений при напряжении < 1000 В	16	10—16
> 1000 В	35	25
Пересечения:		
с линиями связи	70	35
с надземными трубопроводами и канатными дорогами	70	35
с железными дорогами	Не допускается	35

Реактивное сопротивление  $X$  (Ом) определяют по формулам: для круглых проводников, расположенных симметрично (в вершинах равнобедренного треугольника),

$$X = \left( 0,1445 \lg \frac{2D}{d} + 0,0157 \right) L,$$

где  $D$  — расстояние между осями проводников, см;  $d$  — диаметр провода, см;

для круглых проводников, расположенных на одной прямой, можно пользоваться предыдущей формулой, приняв в ней  $D = 1,26a$ , где  $a$  — расстояние между осями проводников, см;

для плоских шин и шин из угловой стали, расположенных на одной прямой,

$$X = \left( 0,1445 \lg \frac{2,52a}{d_{эк}} \right) L,$$

где  $a$  — расстояние между осями шин, см;  $d_{эк}$  — эквивалентный радиус шин (для плоских шин  $d_{эк} = 0,2235/b + \delta$ , для шин из угловой стали  $d_{эк} = 2\sqrt{0,158b^2 + 0,177\delta}$ , где  $b$  и  $\delta$  — соответственно ширина и толщина полосы или полки уголка).

Для воздушных линий выбранные сечения проводников сравнивают с приведенными в табл. 8 минимальными сечениями, допустимыми по условиям механической прочности.

## 5.6. РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ ФАБРИК

Релейная защита — основное средство защиты линий, трансформаторов, двигателей и преобразовательных агрегатов обогатительных фабрик от аварийных и аномальных режимов. Релейной защитой называют специальные защитные устройства, выполняемые при помощи реле и других аппаратов и предназначенные для отключения выключателей в установках

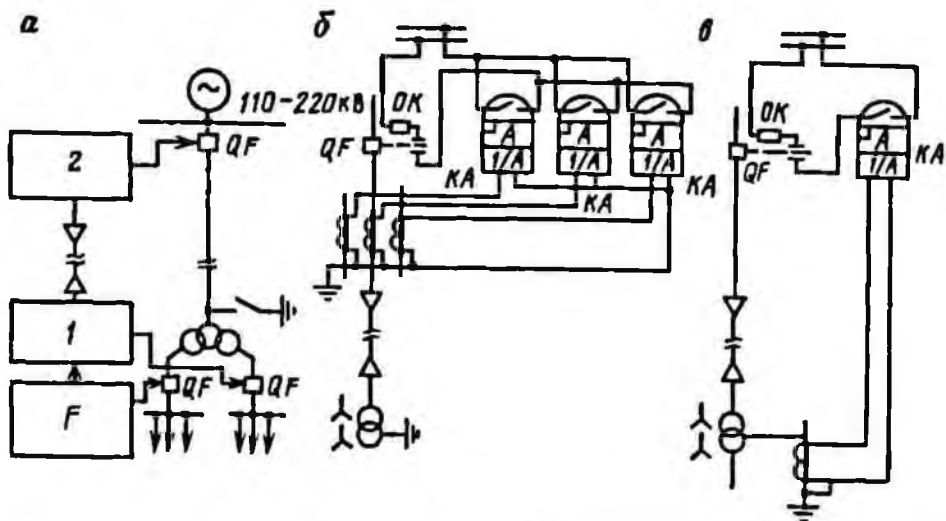


Рис. 64. Принципиальные схемы защиты высоковольтных линий (а), внутрицеховых сетей от многофазных замыканий (б) и замыканий на землю (в)

напряжением выше 1000 В или автоматических выключателей в установках напряжением до 1000 В. К релейной защите предъявляются следующие основные требования: селективность, т. е. способность защиты отключать только поврежденный участок; быстрдействие; надежность действия; чувствительность, т. е. способность отключать поврежденные участки на начальном этапе повреждения.

### 5.6.1. Защита линий

Релейная защита высоковольтных линий, питающих ГПП и ПГВ, устанавливается, как правило, только на головных участках (со стороны питания), где могут быть предусмотрены также АПВ и АПР. При этом от защиты *F* трансформатора формируется импульс на отключение головного выключателя *QF* питающей линии, передаваемый с помощью телемеханических устройств 1 и 2 (рис. 64, а).

Для защиты внутризаводских сетей предназначены комплекты устройств защиты и сигнализации, работающие на переменном и постоянном токе.

Основная защита в сетях 6÷35 кВ—это максимальная токовая защита, которая предназначена для отключения аварийного участка при коротких замыканиях в конце защищаемой линии (т. е. при минимальных токах короткого замыкания): на землю и многофазных—в сетях с глухозаземленной нейтралью; двух- и трехфазных—в сетях с изолированной нейтралью.

Максимальная токовая защита от многофазных замыканий осуществляется с помощью токовых реле *KA*, установленных во всех трех фазах и отключающей катушки *OK* выключателя

$QF$  (рис. 64, б). Для сетей с изолированной нейтралью допускается установка реле в двух фазах трехфазной системы. Защита от однофазных замыканий на землю возможна также с помощью реле  $KA$ , установленного в нулевом проводе и выключателя  $QF$  (рис. 64, в). Ток срабатывания на последовательных участках линий по направлению к источнику питания повышается. Если выдержка времени максимальной токовой защиты неприемлема по обеспечению термической устойчивости кабелей или устойчивости синхронных машин, то применяют более чувствительные быстродействующие защиты, в том числе продольную дифференциальную токовую защиту и токовую отсечку. Такую же защиту применяют и для токопроводов, предъявляющих более жесткие требования к селективности защиты. Более жесткие требования объясняются здесь большим реактивным сопротивлением токопроводов, ограничивающим ток короткого замыкания и делающим его соизмеримым в конце линии с максимальным током нагрузки.

Те же принципы применяют и при защите цеховых сетей напряжением до 1000 В. В качестве устройств защиты здесь используют плавкие предохранители или максимальные расцепители автоматических выключателей. Для обеспечения надежности действия защиты от токов короткого замыкания в данном случае токи плавких вставок предохранителей и уставок максимальных расцепителей выбирают по возможности минимальными, но такими, которые не отключали бы установку при нормальных кратковременных перегрузках (пусковых токах, пиках технологических нагрузок). Как и в системах напряжением выше 1000 В (см. рис. 64, а), защита магистралей 380/220 В может выполняться на стороне высшего напряжения питающего трансформатора.

### 5.6.2. Защита трансформаторов

Для трансформаторов мощностью менее 1000 кВ·А в качестве основной защиты применяют максимальную токовую защиту, которую устанавливают только на стороне питания. Для трансформаторов 1000 кВ·А и более основными видами защиты служат дифференциальная токовая защита и газовая. При выборе тока срабатывания защиты трансформатора необходимо учитывать токи перегрузки при наличии АВР, а также токи самозапуска электродвигателей. Специальная защита трансформатора от перегрузки, как правило, не применяется. В отдельных случаях, когда возможны опасные систематические перегрузки, предусматриваются защиты от них, действующие на сигнализацию или на отключение ответственных потребителей. Газовая защита применяется для всех трансформаторов мощностью 630 кВ·А и более, устанавливаемых на внутрицеховых подстанциях.

Для трансформаторов, залитых соавтолом, вместо газовой защиты предусматривают защиту от повышения давления.

### 5.6.3. Защита электродвигателей

Для электродвигателей предусматривают следующие виды защит: от многофазных замыканий на выводах и в обмотках статора; от замыканий на землю в обмотке статора; от перегрузок, обусловленных технологическими причинами, а также затянувшимся пуском или самозапуском продолжительностью не менее 20 с; от потери питания. Для синхронных двигателей еще и от асинхронного режима.

Защита от многофазных замыканий для двигателей напряжением выше 1000 В выполняется в виде релейной токовой отсечки в двухфазном и трехфазном исполнениях. Для двигателей напряжением до 1000 В она осуществляется предохранителями с плавкими вставками, автоматическими выключателями и токовой отсечкой с помощью токовых реле косвенного действия. Токовой отсечкой защищаются двигатели, подключенные к сети через контакторы.

Для защиты от однофазных замыканий на землю обмотки статора двигателя для всех двигателей применяют максимальную токовую защиту, выполняемую с помощью одного токового реле, которое устанавливают в нулевой провод или подключают к трансформатору тока нулевой последовательности типа ТНП.

Защита от перегрузки двигателей напряжением выше 1000 В выполняется в виде однофазной или двухфазной максимальной токовой защиты, действующей, как правило, на сигнализацию или на разгрузку механизма. Такую же защиту предусматривают для защиты синхронных двигателей от асинхронного режима. В данном случае возможно также отключение двигателя на время разгрузки механизма и последующее его включение с помощью АПВ.

Защита от перегрузки двигателей напряжением до 1000 В выполняется с помощью теплового реле или теплового расцепителя автоматического выключателя и осуществляется с выдержкой времени и действием на отключение, сигнал или разгрузку.

Защиту от снижения напряжения выполняют для всех двигателей с помощью трех реле (для надежности) минимального напряжения и применяют для отключения неответственных двигателей (с выдержкой времени 0,5—1,5 с) или всех двигателей, самозапуск которых недопустим по условиям безопасности или безаварийности. Если для ответственных двигателей самозапуск допустим, то их отключение релейной защитой производится только при длительном (до 10—15 с) отсутствии напряжения.

## 6. ОСВЕЩЕНИЕ ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ ФАБРИК

### 6.1. ОСОБЕННОСТИ ОСВЕЩЕНИЯ ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ ФАБРИК

Для освещения территорий и производственных помещений обогатительных фабрик применяют общее, местное и комбинированное освещение. Освещение подразделяется на рабочее и аварийное.

Общее освещение может быть равномерным и локализованным. При равномерном освещении светильники устанавливают равномерно, на равном расстоянии один от другого, и служат для освещения всей территории или помещения, создавая примерно одинаковую освещенность. При общем локализованном освещении освещенность разных зон территории и помещения не одинакова. На обогатительных фабриках локализованное освещение предусматривают для обслуживания крупногабаритного оборудования. В этих местах обеспечивают более высокую освещенность по сравнению с освещенностью на других участках.

Местное освещение предусматривают только на отдельных рабочих местах. Для этой цели используют также переносные светильники. Местное освещение устанавливают обязательно вместе с общим.

Комбинированное освещение предусматривает установку и общего и местного освещения. Светильники общего освещения должны в этом случае создавать освещенность не менее 10% от предусмотренной нормами. Комбинированное освещение всегда применяется в больших помещениях и позволяет обеспечить рациональную освещенность рабочей поверхности и оборудования.

Общее и комбинированное освещение относятся к рабочему освещению. Рабочее освещение обеспечивает предусмотренную нормами освещенность рабочих мест в темное время суток. К рабочему освещению относят также охранное освещение.

На случай аварийного отключения рабочего освещения предусматривают аварийное освещение. Цель аварийного освещения — обеспечение продолжения работ или эвакуация людей.

Аварийное освещение для продолжения работ предусматривают в помещениях или на открытых площадках, где отсутствие света может привести к длительному нарушению технологического процесса, порче оборудования, к травматизму людей. Такое освещение должно составлять не менее 10% освещенности, предусмотренной нормами для общего рабочего освещения лампами накаливания.

Аварийное эвакуационное освещение служит для обеспечения безопасного выхода людей из помещений при отключении рабочего освещения. Эвакуационное освещение устанавливается в местах прохода людей. Из экономических соображений аварийное освещение устраивают как часть ра-

бочего. При этом светильники аварийного освещения должны отличаться от светильников рабочего или соответственно маркироваться. Для аварийного освещения применяют лампы накаливания, а также люминесцентные лампы при температуре не ниже  $10^{\circ}\text{C}$  и напряжении сети постоянно не ниже 90% номинального. Применение для аварийного освещения ламп ДРЛ запрещено из-за их длительного разгорания.

## 6.2. Основные светотехнические величины

К основным светотехническим величинам, определяющим качество искусственного освещения, относятся: световой поток, сила света и освещенность.

*Световым потоком  $F$*  называется та часть излучаемой источником света лучистой энергии, которая воспринимается глазом как световое ощущение. Единицей светового потока является люмен (лм). В качестве международного эталона люмена принят световой поток, излучаемый абсолютно черным телом с площадью выходного отверстия  $0,5305\text{ мм}^2$  при температуре затвердевания платины.

*Силой света  $I$*  называется пространственная плотность светового потока, т. е. отношение светового потока к величине пространственного угла, в котором заключен поток. Если световой поток равномерно распределен в пространственном углу  $\omega$ , то сила света  $I$  определяется соотношением  $I = F/\omega$ .

В качестве единицы принята сила света точечного источника, излучающего внутри пространственного угла в 1 стерадиан (ср) световой поток в 1 лм. Эта единица называется канделой. Кандела — сила света, излучаемого с площади  $1/60\text{ см}^2$  сечения излучателя в перпендикулярном к этому сечению направлении при температуре затвердевания платины и давлении  $101325\text{ Па}$ .

*Освещенность  $E$*  характеризует степень или интенсивность освещения и представляет собой количество светового потока, приходящегося на единицу освещаемой поверхности. Единицей освещенности служит люкс (лк), равный освещенности, создаваемой на площади в  $1\text{ м}^2$  равномерно распределенным световым потоком в 1 лм,  $E = F/S$ .

Связь между силой света  $I$  точечного источника и освещенностью  $E$  выражается соотношением  $E = I \cos \alpha / l^2$ , где  $\alpha$  — угол между перпендикуляром к освещаемой поверхности и направлением силы света;  $l$  — расстояние между источником света и освещаемой поверхностью.

## 6.3. ИСТОЧНИКИ СВЕТА И ОСВЕТИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ

### 6.3.1. Типы и основные характеристики источников света

Для освещения производственных помещений обогатительных фабрик применяют газоразрядные лампы низкого давления, для подсобных помещений — лампы накаливания. Допус-

кается применение ламп накаливания и для освещения помещений основного производственного назначения.

Открытые производственные площадки, территории, проезды и отдельные участки подъездных путей освещаются газоразрядными лампами высокого давления. Допускается применение ламп накаливания.

Основными нормируемыми характеристиками источников света являются: номинальное напряжение (В), номинальная мощность (Вт), световой поток (лм), средний срок службы (ч).

*Электрические лампы накаливания* представляют собой стеклянную колбу с телом накаливания в виде вольфрамовой нити или спирали. Колба лампы после откачки воздуха заполнена инертным газом до давления  $\approx 100$  кПа. Это исключает окисление нити и замедляет ее распыление во время горения. Для целей освещения выпускают лампы накаливания на напряжение 12, 36, 127 и 220 В и мощности 15—1000 Вт.

Световая отдача ламп накаливания невысока—20 лм/Вт. Только 2,5—3% потребляемой лампой энергии превращается в свет, остальная часть расходуется на нагревание окружающей среды и на излучение, лежащее за пределами видимости. Лампы накаливания искажают цвета окружающих предметов и очень чувствительны к колебаниям напряжения. Так, изменения напряжения на  $\pm 10\%$  приводят: к изменению мощности на +17 и -15%, светового потока на +37 и -30%, срока службы на -33 и +500%. Средний срок службы ламп накаливания ниже, чем других источников света, однако в отличие от других источников света коэффициент мощности их равен 1. Основные характеристики ламп накаливания приведены в справочнике [5].

*Газоразрядные лампы низкого давления* наибольшее распространение получили в виде трубчатых люминесцентных ламп, представляющих собой стеклянную трубку 3 (рис. 65, а), в которую после откачки воздуха введен аргон под давлением 400—500 Па и капля ртути для получения паров ртути. На концах трубки расположены цоколи 4, к штырям которых присоединены оксидированные спиральные вольфрамовые электроды 1, служащие термокатодами. Внутренняя поверхность трубки покрыта тонким слоем специального вещества—люминофора 2.

Управление зажиганием лампы производится с помощью пускорегулирующих аппаратов (ПРА). Процесс зажигания состоит в нагреве термокатодов, излучающих при этом большое количество электронов, и в последующем подключении к ним переменного напряжения зажигания. Электроны устремляются от отрицательного в данный момент электрода к положительному, ионизируют атомы аргона и паров ртути и вызывают в трубке дуговой разряд. В результате через газовый промежуток между электродами начинает протекать переменный

бочего. При этом светильники аварийного освещения должны отличаться от светильников рабочего или соответственно маркироваться. Для аварийного освещения применяют лампы накаливания, а также люминесцентные лампы при температуре не ниже  $10^{\circ}\text{C}$  и напряжении сети постоянно не ниже 90% номинального. Применение для аварийного освещения ламп ДРЛ запрещено из-за их длительного разгорания.

## 6.2. Основные светотехнические величины

К основным светотехническим величинам, определяющим качество искусственного освещения, относятся: световой поток, сила света и освещенность.

*Световым потоком  $F$*  называется та часть излучаемой источником света лучистой энергии, которая воспринимается глазом как световое ощущение. Единицей светового потока является люмен (лм). В качестве международного эталона люмена принят световой поток, излучаемый абсолютно черным телом с площадью выходного отверстия  $0,5305\text{ мм}^2$  при температуре затвердевания платины.

*Силой света  $I$*  называется пространственная плотность светового потока, т. е. отношение светового потока к величине пространственного угла, в котором заключен поток. Если световой поток равномерно распределен в пространственном углу  $\omega$ , то сила света  $I$  определяется соотношением  $I = F/\omega$ .

В качестве единицы принята сила света точечного источника, излучающего внутри пространственного угла в 1 стерадиан (ср) световой поток в 1 лм. Эта единица называется канделой. Кандела — сила света, излучаемого с площади  $1/60\text{ см}^2$  сечения излучателя в перпендикулярном к этому сечению направлении при температуре затвердевания платины и давлении  $101325\text{ Па}$ .

*Освещенность  $E$*  характеризует степень или интенсивность освещения и представляет собой количество светового потока, приходящегося на единицу освещаемой поверхности. Единицей освещенности служит люкс (лк), равный освещенности, создаваемой на площади в  $1\text{ м}^2$  равномерно распределенным световым потоком в 1 лм,  $E = F/S$ .

Связь между силой света  $I$  точечного источника и освещенностью  $E$  выражается соотношением  $E = I \cos \alpha / l^2$ , где  $\alpha$  — угол между перпендикуляром к освещаемой поверхности и направлением силы света;  $l$  — расстояние между источником света и освещаемой поверхностью.

## 6.3. ИСТОЧНИКИ СВЕТА И ОСВЕТИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ

### 6.3.1. Типы и основные характеристики источников света

Для освещения производственных помещений обогатительных фабрик применяют газоразрядные лампы низкого давления, для подсобных помещений — лампы накаливания. Допус-



кается применение ламп накаливания и для освещения помещений основного производственного назначения.

Открытые производственные площадки, территории, проезды и отдельные участки подъездных путей освещаются газоразрядными лампами высокого давления. Допускается применение ламп накаливания.

Основными нормируемыми характеристиками источников света являются: номинальное напряжение (В), номинальная мощность (Вт), световой поток (лм), средний срок службы (ч).

*Электрические лампы накаливания* представляют собой стеклянную колбу с телом накаливания в виде вольфрамовой нити или спирали. Колба лампы после откачки воздуха заполнена инертным газом до давления  $\approx 100$  кПа. Это исключает окисление нити и замедляет ее распыление во время горения. Для целей освещения выпускают лампы накаливания на напряжение 12, 36, 127 и 220 В и мощности 15—1000 Вт.

Световая отдача ламп накаливания невысока — 20 лм/Вт. Только 2,5—3% потребляемой лампой энергии превращается в свет, остальная часть расходуется на нагревание окружающей среды и на излучение, лежащее за пределами видимости. Лампы накаливания искажают цвета окружающих предметов и очень чувствительны к колебаниям напряжения. Так, изменения напряжения на  $\pm 10\%$  приводят: к изменению мощности на +17 и -15%, светового потока на +37 и -30%, срока службы на -33 и +500%. Средний срок службы ламп накаливания ниже, чем других источников света, однако в отличие от других источников света коэффициент мощности их равен 1. Основные характеристики ламп накаливания приведены в справочнике [5].

*Газоразрядные лампы низкого давления* наибольшее распространение получили в виде трубчатых люминесцентных ламп, представляющих собой стеклянную трубку 3 (рис. 65, а), в которую после откачки воздуха введен аргон под давлением 400—500 Па и капля ртути для получения паров ртути. На концах трубки расположены цоколи 4, к штырям которых присоединены оксидированные спиральные вольфрамовые электроды 1, служащие термокатодами. Внутренняя поверхность трубки покрыта тонким слоем специального вещества — люминофора 2.

Управление зажиганием лампы производится с помощью пускорегулирующих аппаратов (ПРА). Процесс зажигания состоит в нагреве термокатодов, излучающих при этом большое количество электронов, и в последующем подключении к ним переменного напряжения зажигания. Электроны устремляются от отрицательного в данный момент электрода к положительному, ионизируют атомы аргона и паров ртути и вызывают в трубке дуговой разряд. В результате через газовый промежуток между электродами начинает протекать переменный

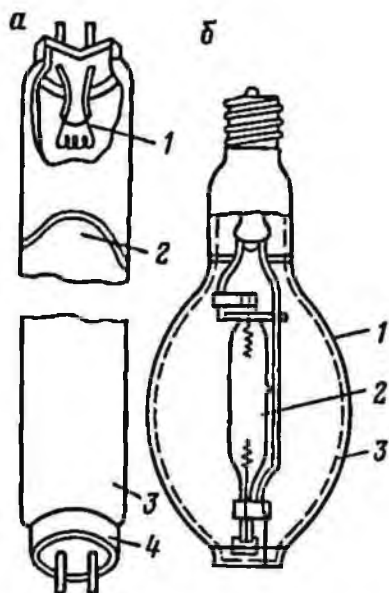


Рис. 65. Газоразрядные источники света

ток, сопровождающийся интенсивным ультрафиолетовым излучением. Это излучение превращается люминофором в видимый свет, проходящий через стекло лампы в окружающее пространство. Цветность излучения зависит от состава люминофора. Изготавливают лампы: ЛДУ—с улучшенной цветопередачей; ЛД—дневные; ЛХБ—холоднобелые; ЛБ—белого света; ЛТБ—тепlobелого света.

Преимущества этих ламп: более правильная передача цвета, в 3—4 раза большая световая отдача, в 1,5—2 раза больший энергетический КПД, в 5 раз больший срок службы. Недостатки: для включения в сеть требуют дорогостоящей пускорегулирующей аппаратуры, в которой теряется 20—30% энергии; при температуре ниже  $0^{\circ}\text{C}$  и снижении напряжения на 10—15% в обычном исполнении не зажигаются; наличие стробоскопического эффекта, проявляющегося в том, что движущиеся с определенной скоростью предметы кажутся неподвижными или движущимися с малой скоростью в обратном направлении; коэффициент мощности этих ламп ниже и составляет 0,5—0,6.

Газоразрядные лампы высокого давления представлены чаще всего дуговыми ртутными лампами (ДРЛ). Лампы ДРЛ (рис. 65, б) выпускаются двухэлектродными— мощностью 250—1000 Вт и четырехэлектродными— мощностью 80—1000 Вт. Двухэлектродная лампа представляет собой толстостенную кварцевую трубку 2, заполненную парами ртути под давлением 0,5—1 МПа. Трубка заключена в наружную стеклянную колбу 1, покрытую внутри люминофором 3, улучшающим цветность излучения лампы. В отличие от четырехэлектродных ламп, для включения двухэлектродных требуется специальное зажигающее устройство.

Применяются и другие газоразрядные лампы высокого давления: ДНаТ—натриевая, ДРИ—металлогалогенная. Все эти лампы применяют для освещения наружных территорий, а также основных производственных помещений высотой более 10—12 м.

Перспективными лампами высокого давления являются ксеноновые лампы мощностью до 100 кВт—ДКсТ (дуговая ксеноновая трубчатая). Они характеризуются хорошей цветопередачей, а их излучение приближается к солнечному свету. Изготавливают ксеноновые лампы небольшими партиями. При-

меняют их для освещения больших территорий и производственных помещений, карьеров, отвалов.

### 6.3.2. Назначение и классификация осветительных приборов

Источники света излучают в окружающее пространство световой поток по всем направлениям. Поэтому их обязательно заключают в специальную световую арматуру, предназначенную для перераспределения потока в нужном направлении с наименьшими потерями. Осветительная арматура служит для крепления ламп и подвода к ним напряжения сети, также для предохранения глаз от слепящего действия лампы, для защиты самой лампы от механических повреждений, пыли, дыма и копоти.

Совокупность источника света и осветительной арматуры называют осветительным прибором. Различают приборы ближнего света—светильники и приборы дальнего света—прожекторы. Светильники предназначены для освещения поверхностей, находящихся на расстоянии от источника света не более 20—30 м. Более отдаленные поверхности освещают прожекторами.

Для перераспределения световых потоков в нужном направлении в осветительных приборах устанавливают рассеиватели, отражатели, преломляющие оптические системы.

Основными светотехническими характеристиками осветительных приборов служат коэффициент полезного действия и защитный угол.

Коэффициент полезного действия для современных конструкций составляет 0,8—0,85 и определяется отношением:  $\eta_c = F_c / F_d$ , где  $F_c$  и  $F_d$ —световой поток соответственно светильника и лампы.

Защитный угол светильника, определяющий защиту глаза от прямых лучей источника света, образуется между горизонталью, проходящей через нить накала лампы, и линией, соединяющей край отражателя с противоположной крайней точкой нити накала. Чем больше защитный угол светильника, тем меньше его слепящее действие.

По способу защиты от воздействия окружающей среды светильники подразделяют на следующие группы: открытые (лампы не отделены от окружающей среды); перекрытые (свето- и воздухопропускающей оболочкой—решеткой, сеткой и др.); брызго-водозащищенные (в первом случае контакты и лампа защищены от брызг, во втором—от попадания на них струй воды с любого направления); пылезащищенные и пыленепроницаемые (конструкция препятствует проникновению частиц пыли размером: более 0,1 мм в первом случае и менее 0,1 мм во втором); взрывозащитные и взрывонепроницаемые (при установке во взрывоопасном помещении конструкция исключает: возможность взрыва в первом случае,

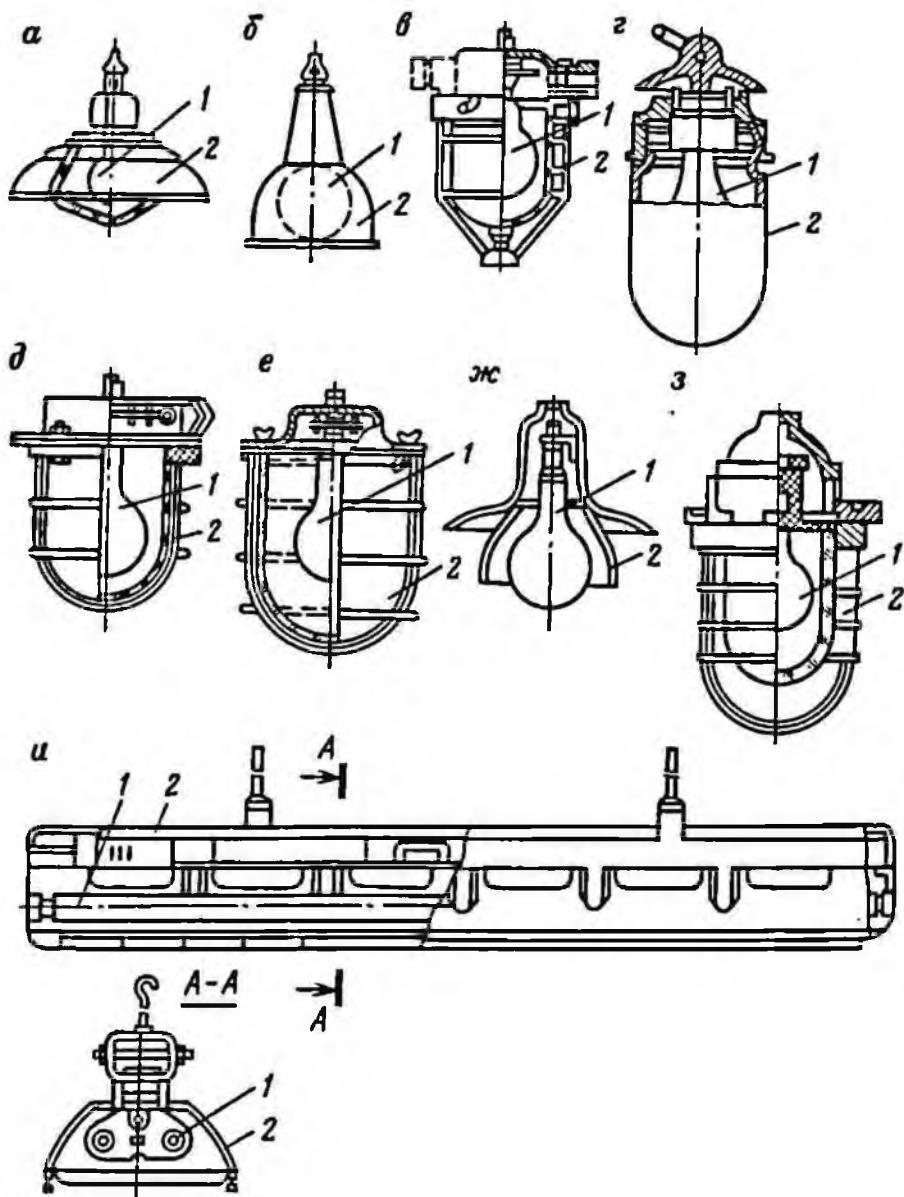


Рис. 66. Конструкции светильников «Универсаль» (а), глубокоизлучателя типа Г (б), фарфорового полугерметического (в), типа РН-100 (д), типа РН-200 (е), типа СПО (ж), взрывобезопасного типа ВЗГ (з), для люминисцентных ламп ЛДОР-2-40 (и); 1—источник света; 2—осветительная арматура

распространение внутреннего воспламенения во внешнюю среду—во втором).

На рис. 66 изображены наиболее распространенные типы светильников, применяемых на обогатительных фабриках.

#### 6.4. РАСЧЕТ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

Расчет осветительных установок проводится с целью определения мощности и числа ламп, необходимых для обеспечения нормированной освещенности  $E_n$  на рабочих местах. Мощность ламп может быть определена методами удельной мощности, коэффициента использования светового потока, точечным. Предварительно должны быть установлены: система освещения (см. раздел 6.1), тип светильников и способ их расположения. Исходными материалами для расчета являются планы (рис. 67, а) и разрезы (рис. 67, б) помещений и территорий.

Расположение светильников определяется следующими основными величинами:  $h_p$ —высота рабочей поверхности над уровнем пола (если не задана, принимают равной 0,8—1 м);  $h$ —расчетная высота светильника над рабочей поверхностью, м;  $H$ —высота помещения, м;  $h_c$ —высота от потолка до светового центра светильника (высота свеса), м;  $h_n$ —высота подвеса над полом;  $L$ —расстояние между светильниками, м;  $a$ —расстояние от стен до крайних светильников, м.

В целях удобства обслуживания высоту  $h_n$  устанавливают не более 5—5,5 м, высоту свеса  $h_c$  не более 1,5—2 м во избежание раскачивания светильников. Если требуется большой свес, то светильники подвешивают к горизонтально натянутым тросам. В справочниках для различных производств приводится наивыгоднейшее отношение  $L/h$ , по которому, зная расчетную высоту  $h$ , можно определить  $L$ . В горизонтальной плоскости светильники располагают по сторонам квадрата со стороной  $L$ . Расстояние  $a$  от стен до крайних светильников принимают равным  $(0,25—0,5) L$ .

*Метод удельной мощности* наиболее простой и применяется для расчета общего равномерного освещения. Он неприменим для расчета локализованного освещения, освещения наклонных и вертикальных плоскостей, а также помещений, площадь которых меньше  $10 \text{ м}^2$ .

Под установленной удельной мощностью  $p$  подразумевается

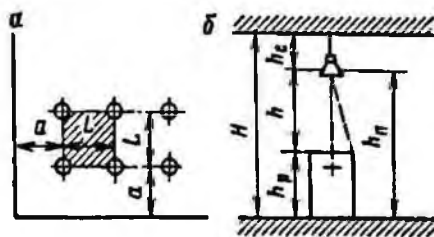


Рис. 67. Основные величины, определяющие характеристику и расположение светильников

отношение общей установленной мощности осветительной установки  $P_0$  (Вт) к освещаемой поверхности  $S$  ( $\text{м}^2$ ). Определяют удельную мощность  $p$  по справочникам для проектирования электрического освещения в зависимости от типа светильника, высоты его подвеса, размеров помещения, норм освещенности.

Следовательно, зная удельную мощность, необходимую для получения заданной освещенности в данном помещении при выбранном типе светильника, можно получить общую установленную мощность  $P_0 = pS$  и мощность одной лампы  $P_n = P_0/n = pS/n$ .

Зная мощность  $P_n$ , по тем же справочникам<sup>1</sup> выбирают лампу ближайшей мощности.

Метод коэффициента использования светового потока позволяет при расчете общего освещения закрытых помещений обеспечить нормируемую освещенность горизонтальных рабочих поверхностей симметрично расположенными светильниками. При этом учитывается отражение света от стен и потолка.

Расчетный световой поток лампы  $F_n$  (лм), которую необходимо установить в светильнике, может быть определен из выражения

$$F_n = \frac{E_n k z S}{n \eta},$$

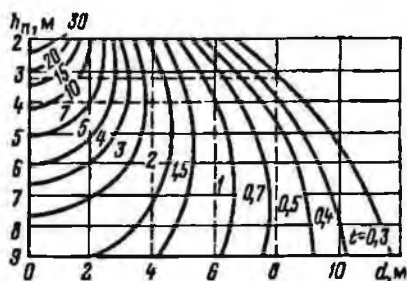
где  $E_n$  — минимальная нормируемая освещенность конкретного производственного помещения, установленная отраслевыми нормами;  $k$  — коэффициент запаса, учитывающий старение лампы и принимаемый в зависимости от окружающей среды для ламп накаливания 1,8—2; для люминесцентных ламп 1,5—1,7;  $z$  — поправочный коэффициент, устанавливаемый в светотехнических справочниках в зависимости от величины  $L/h$ ;  $\eta$  — коэффициент использования светового потока, определяемый по светотехническим справочникам в зависимости от отражающей способности стен и потолков, а также от индекса

$i = \frac{S}{H(A+B)}$ ;  $A$ ,  $B$  — соответственно длина и ширина помещения, м;  $S$  — площадь помещения,  $\text{м}^2$ ;  $n$  — число устанавливаемых светильников;  $H$  — высота помещения, м.

Вычислив световой поток лампы  $F_n$ , по таблицам справочников находят мощность одной лампы. Поскольку ряд мощностей люминесцентных ламп невелик, при расчете люминесцентного освещения задаются световым потоком одной лампы

<sup>1</sup> Справочная книга для проектирования электрического освещения / Т. М. Кнорринг, Ю. Б. Оболенцев, Р. И. Берим, В. М. Крючков. Л., Энергия. 1976.

Рис. 68. Изолюксы для условных ламп со световым потоком 1000 лк



(в зависимости от выбранной мощности) и из выражения определяют число светильников  $n = \frac{E_n k z S}{\eta F_n}$ .

*Точечный метод* применяют в тех случаях, когда требуется определить освещенность в заданной точке освещаемой горизонтальной, вертикальной или наклонной плоскости. Им пользуются при расчетах локализованного освещения. При этом считают, что влиянием отраженного света можно пренебречь.

Расчет этим методом ведут по специальным номограммам, графикам, вспомогательным таблицам. Наиболее простым случаем расчета освещения точечным методом является определение освещенности в горизонтальной плоскости. Для этого используют графики, называемые изолюксами. В справочниках по проектированию освещения для светильника каждого типа с условной лампой, рассчитанной на световой поток  $F_n = 1000$  лк, приведены изолюксы — линии, соединяющие точки с одинаковой освещенностью  $e$  (рис. 68). Изолюксы строятся в координатах  $h_n$  (высота подвеса) —  $d$  (расстояние по горизонтали от проекции светильника на расчетную плоскость до точки, в которой определяется освещенность).

Так, если требуется определить освещенность в точке и заданы  $h_n = 4$  м и  $d = 6$  м, по рис. 68 находим условную освещенность в данной точке  $e_1$  от всех светильников. Тогда световой поток каждой лампы, необходимый для создания нормируемой освещенности  $E_n$ , определяют из выражения

$$F_n = \frac{1000 E_n k}{\mu \Sigma e_1},$$

где  $\Sigma e_1$  — сумма условных освещенностей определенных по изолюксам для каждого светильника;  $\mu$  — коэффициент, учитывающий влияние удаленных светильников и принимаемый для эмалированных светильников прямого света 1,1—1,2, для зеркальных 1.

Если световым потоком задаться, то для данного расположения светильников можно определить фактическую освещенность

$$E_\phi = \frac{F_n \mu \Sigma e_1}{1000 k}.$$

## 6.5. УСТРОЙСТВО ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ

### 6.5.1. Основные схемы питания осветительных установок

Лампы накаливания к питающей сети подключаются непосредственно, с помощью патронов, установленных в светильниках.

Схемы питания газоразрядных ламп сложнее и содержат специальные пускорегулирующие аппараты (ПРА). Применяют разные аппараты, устройство которых зависит от типа и назначения лампы.

Для питания люминесцентных светильников существуют одно-, двух- и трехламповые схемы, стартерные и бесстартерные. На рис. 69, а приведена стартерная схема включения люминесцентной лампы. Схема содержит собственно лампу ЛЛ и пускорегулирующий аппарат, включающий в себя дроссель LL, стартер СТ, конденсаторы C'1 и C''1 и термокатоды K1, K2. Роль стартера играет небольшая газоразрядная лампа тлеющего разряда, стеклянная колба которой наполнена инертным газом (неон или смесь гелия с водородом) и помещена в алюминиевый или пластмассовый корпус. Внутри колбы помещены биметаллические электроды, способные при нагревании изгибаться и замыкаться между собой. Кроме того, между электродами может гореть тлеющий разряд, напряжение зажигания которого  $U_z$  меньше напряжения сети  $U_c$ .

Для зажигания лампы пускорегулирующий аппарат подключают к питающей сети. При этом напряжение сети подается на разомкнутые электроды стартера. В стартере зажигается тлеющий разряд, ток которого (20—50 мА) недостаточен для разогрева термокатодов, но достаточен для нагрева электродов стартера. Последние, изгибаясь, замыкаются, тлеющий разряд прекращается и в цепи термокатодов протекает ток их разогрева, превышающий в 1,5—2 раза нормальный ток лампы. Термокатоды нагреваются до 800—900° С и начинают излучать электроны, необходимые для ионизации газа в лампе. Осты-

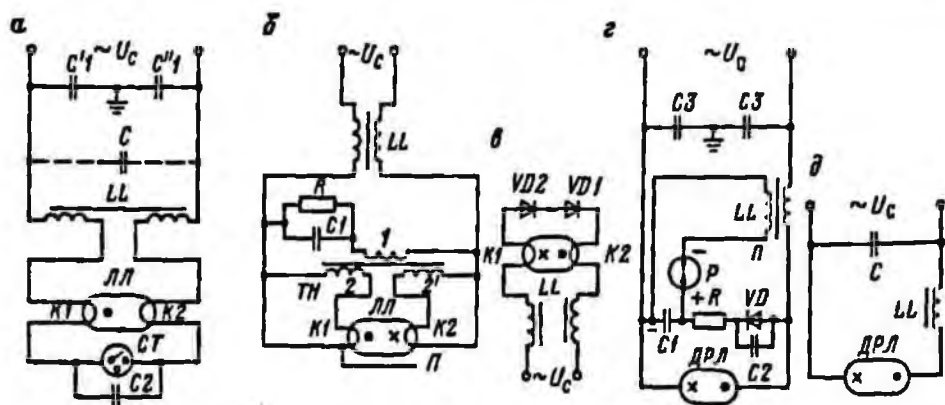


Рис. 69. Схемы включения газоразрядных ламп



вшие за это время электроды стартера размыкаются и резко меняют ток, протекающий через дроссель  $LL$ , благодаря чему в обмотке дросселя индуктируется большой импульс ЭДС самоиндукции  $E_L$ . ЭДС  $E_L$ , складываясь с напряжением сети, увеличивает напряжение на лампе до 400—600 В и в лампе возникает дуговой разряд, вызывающий ее свечение.

После зажигания лампы напряжение сети распределяется между лампой и дросселем. При этом сопротивление дросселя подобрано так, что напряжение на лампе составляет  $\approx 0,65U_c$ . Этого напряжения уже недостаточно для зажигания в стартере тлеющего разряда и стартер при горячей лампе в работе не участвует.

Если при первом срабатывании стартера лампа не зажглась, то процесс зажигания повторяется. Конденсаторы  $C'1$  и  $C''1$  служат для подавления радиопомех, конденсатор  $C2$ —для увеличения импульса зажигающего напряжения и предотвращения сваривания электродов стартера, конденсатор  $C$  для уменьшения радиопомех.

Для уменьшения пульсаций светового потока применяют двухламповые схемы, процесс зажигания в которых тот же. Для компенсации низкого коэффициента мощности при массовом применении люминесцентных ламп дополнительно подключают специальные компенсирующие конденсаторы (индивидуальные или групповые).

Со временем стартер лампы стареет. При этом уменьшается напряжение зажигания в нем тлеющего разряда. В результате электроды стартера могут замкнуться при горячей лампе и она погаснет. Остыв, электроды вновь разомкнутся и зажгут лампу. Лампа начнет мигать и в результате выйдет из строя. Поэтому широкое распространение получили также бесстартерные схемы включения люминесцентных ламп (рис. 69, б). Здесь катоды  $K1$  и  $K2$  разогреваются с помощью накального трансформатора  $TН$ . Сумма напряжений сети, дросселя и конденсатора создает на лампе напряжение  $U = (1,05 + 1,3) U_c$ , достаточное для зажигания лампы. При зажигании сопротивление дросселя ограничивает напряжение на лампе до величины  $U = 0,5U_c$ . Подобные схемы применяют и при двух лампах.

Зажигание ламп в таких схемах облегчается тем, что на наружную сторону лампы наносят прозрачную токопроводящую полосу  $П$ , соединенную с одним из катодов и снижающую напряжение зажигания.

Применяют также схемы, в которых роль стартера играют динистор  $VD1$  и диод  $VD2$  (рис. 69, в). В положительный полупериод напряжения динистор проводит ток, который разогревает катоды. В отрицательный полупериод, если катоды достаточно прогреты, все напряжение приложено к лампе и она зажигается. Диод  $VD2$  служит для ограничения тока подогрева катодов. При горении лампы напряжения на динисторе недостаточно для его открывания.

Натриевые лампы низкого давления — разновидность люминесцентных ламп. Включаются они с помощью повышающего автотрансформатора, необходимого для зажигания и стабилизации горения.

Дуговые ртутные лампы ДРЛ включаются с помощью схем, подобных приведенной на рис. 69, з. При подключении схемы к сети напряжение сети  $U_c$  подается на электроды лампы и цепь поджигающего устройства. Конденсатор  $С1$  через выпрямитель  $VD$  начинает заряжаться, напряжение на нем и соответственно на разряднике  $P$  растет. Когда это напряжение достигнет  $180 \div 220$  В, произойдет пробой разрядника и импульс тока, проходящего через поджигающую обмотку  $\Pi$ , создаст импульс высокого напряжения в основной обмотке дросселя  $LL$ , зажигающего лампу. В процессе горения напряжение сети так распределяется между дросселем и лампой, что на лампу приходится  $130—140$  В. Такого напряжения недостаточно для зарядки конденсатора до напряжения пробоя разрядника. Если лампа не зажглась с первого раза, то процесс зажигания повторяется. Четырехэлектродные лампы включаются по более простой схеме (рис. 69, д), включающей конденсатор  $С$  и дроссель  $LL$ . Эти лампы имеют дополнительные поджигающие электроды.

При включении лампы под действием напряжения сети сначала зажигается разряд в небольшом газовом промежутке между рабочим и поджигающим электродами. При достаточной ионизации газа разряд перебрасывается на рабочие электроды и лампа зажигается.

Принцип зажигания натриевых и металлогалогенных ламп высокого давления тот же. Зажигаются они с помощью электронных устройств, создающих импульс высокого напряжения в течение  $1—2$  мкс.

### 6.5.2. Управление освещением

Управление освещением участков и производственных помещений обогатительных фабрик осуществляют с групповых осветительных щитков. В крупных корпусах фабрик, имеющих большое число групповых щитков, удаленных друг от друга, для удобства обслуживания предусматривается централизованное управление освещением с диспетчерского пункта или с подстанции. При этом должен осуществляться дифференцированный подход к включению тех или иных светильников в зависимости от освещенности отдельных участков в разное время суток. При выполнении ремонтных работ в ремонтную смену рабочее освещение должно включаться локализованно.

Групповые щитки для промышленных предприятий выпускаются в различном исполнении (навесные, стоячие, утопленные в нишах стен). В нормальных условиях широко применяют групповые щитки ОЩВ, для управления освещением небольших объектов — щитки ПОН с выключателями и предохранителями.

Для взрывоопасных помещений выпускают групповые щитки типа ЩОВ во взрывонепроницаемом исполнении.

Для автоматического переключения аварийного освещения с основного источника питания на резервный при прекращении основного питания применяют типовые станции в виде блоков и панелей.

В практике управления наружным освещением получают распространение разнообразные фотоавтоматы, включающие и отключающие светильники в зависимости от естественной освещенности. Такие автоматы позволяют экономить до 30% электроэнергии, благодаря своевременному отключению освещения. Элементом, следящим за изменением естественной освещенности, служит фоторезистор ФС, сопротивление которого зависит от освещенности. При нормальном освещении сопротивление резистора мало и в его цепи протекает фототок, препятствующий включению освещения.

С наступлением темноты, когда естественная освещенность падает, сопротивление фоторезистора растет, фототок в его цепи уменьшается, что является сигналом для включения освещения.

Большое значение имеет также регулирование напряжения в осветительной сети при его повышении, позволяющее увеличить срок службы ламп и снизить потребляющую мощность. Для этих целей применяют тиристорные регуляторы. Принцип действия их основан на понижении среднего напряжения в осветительной сети путем задержки отпирания тиристора в начале полупериода напряжения.

### 6.5.3. Электроснабжение осветительных установок

Для осветительных установок применяют сети напряжением 380/220 В и 220/127 В. Если светильники устанавливаются на высоте менее 2,5 м и их конструкция допускает свободный доступ к лампе накаливания, то они должны питаться напряжением не более 36 В. Напряжение 36 В должно применяться также для ламп накаливания местного освещения. Для ручных переносных светильников во всех основных цехах предприятий цветной металлургии применяют напряжение 12 В.

В подавляющем большинстве источниками питания осветительных сетей служат трансформаторы, питающие одновременно и силовую нагрузку. Исключение составляют случаи, когда напряжение силовых трансформаторов (например 660 В) не совпадает с напряжением осветительной сети или работа силовой нагрузки создает недопустимые колебания напряжения в осветительной сети.

Светильники аварийного освещения, предназначенные для продолжения работы, должны питаться от независимых источников, например от аккумуляторных батарей или от

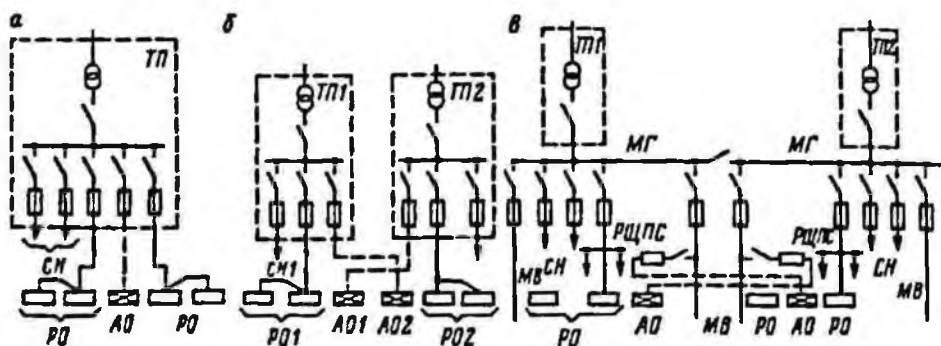


Рис. 70. Схемы электроснабжения осветительных установок

трансформатора с независимым питанием со стороны высокого напряжения.

Светильники, предназначенные для аварийного эвакуационного освещения, допускается подсоединять к общей сети, если она не зависит от сети рабочего освещения.

Если производственные здания не имеют окон и фонарей, аварийное освещение обоих видов должно питаться от независимых источников. Автоматическое переключение аварийного освещения на независимые или резервные источники должно осуществляться только при аварийных режимах.

Схемы электроснабжения осветительных установок зависят от конкретных условий. Наиболее распространенные из них приведены на рис. 70.

Схема, приведенная на рис. 70, а, соответствует случаю электроснабжения цеха от однотономной подстанции. В этом случае силовые нагрузки СН, групповые щитки рабочего РО и аварийного АО освещения питаются от шин низшего напряжения подстанции ТП по самостоятельным питающим линиям. Если аварийно отключается трансформатор, то при необходимости аварийное освещение должно питаться здесь от резервного источника. На рис. 70, б представлена схема питания осветительной сети при двух однотономных подстанциях. В этом случае для питания рабочего освещения используется трансформатор подстанции ТП1, для питания аварийного — подстанция ТП2 и наоборот (перекрестная схема). На рис. 70, в показана схема питания нагрузок по системе трансформатор — магистраль. В данном случае на трансформаторных подстанциях отсутствует щит низкого напряжения. От зажимов трансформатора по цеху прокладываются шины главных магистралей МГ, образующих местные питающие линии. Между МГ установлен разъединитель Р. От главных магистралей отходят вторичные магистрали МВ меньших сечений. Они служат для питания аварийного освещения по перекрестной схеме. Питание рабочего освещения осуществляют здесь от головных участков главных магистралей через распределительные щитки РЩПС питающей линии

и групповые щитки рабочего освещения *PO*. Главная магистраль питает и силовую нагрузку *CH*. При отключении любого из трансформаторов главные магистрали можно соединять одну с другой через разъединитель.

На всех участках передачи электроэнергии к осветительным приборам предусматривается защита: на питающих линиях — автоматические выключатели или плавкие предохранители, на групповых щитках — одно- или трехполосные автоматические выключатели с тепловыми расцепителями.

Сети для подвода питания от групповых щитков к светильникам, так называемые групповые сети, выполняются главным образом кабелями, прокладываемыми для наружного освещения в земле, в производственных помещениях — в полу, по стенам и потолкам с креплением скобами или на тросе. В местах, где возможны механические повреждения и при прокладке на высоте менее 2,5 м от уровня пола, а также при спусках и подъемах кабели прокладывают в стальных трубах. При прокладке на высоте более 3,6 м поперек ферм и балок осветительные сети выполняют проводами на изоляторах, если это не мешает работе подъемных механизмов.

Для прокладки осветительных сетей в производственных помещениях широкое распространение получили также комплектные шинопроводы ШОС, позволяющие резко сократить объем монтажных работ при прокладке и создающие удобства при эксплуатации. Шинопровод ШОС выпускается в виде секций со штепсельными соединениями, с помощью которых они подключаются одна к другой. На секциях имеются также ответвления для светильников и приспособления для их крепления. Каждая секция представляет собой стальной короб длиной 1,5—3 м с проложенными внутри медными изолированными проводами сечением 10 мм<sup>2</sup>. Шинопровод используется в качестве четырехпроводной магистрали на напряжение 380/220 В и номинальный ток 25 А.

Во взрывоопасных и пыльных помещениях осветительная проводка прокладывается в трубах. Светильники при этом крепят навинчиванием на резьбу стальной трубы. Обычно светильники подключаются к сети — к одному фазному и нулевому проводу.

Сечение проводников осветительной сети *S* определяют по допустимой потере напряжения (не более 2,5%),

$$S = \frac{P_{\max} L}{\Delta U c}, \text{ мм}^2,$$

где  $P_{\max}$  — максимальная расчетная нагрузка, кВт;  $L$  — длина рассчитываемого участка линии, м;  $\Delta U$  — потери напряжения, %;  $c$  — коэффициент, определяемый по табл. 9 в зависимости от величины напряжения, системы сети и материала провода.

Таблица 9

Напряжение сети, В	Система сети	Провод	
		алюминиевый	медный
380/220	Четырехпроводная	50	83
	Трехпроводная	22	37
	Двухпроводная	8,3	14
220/127	Четырехпроводная	16,5	28
	Трехпроводная	7,3	12,2
	Двухпроводная	2,8	4,6
3 × 220	Трехпроводная (трехфазная)	16,5	28
	Двухпроводная (двухфазная)	8,3	14
3 × 36	Трехпроводная (трехфазная)	0,44	0,74
2 × 36	Двухпроводная (двухфазная)	0,22	0,37

## 7. ДИСПЕТЧЕРСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ НА ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ ФАБРИКАХ

### 7.1. РОЛЬ И ЗНАЧЕНИЕ ДИСПЕТЧЕРСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

Сложный комплекс разнообразного технологического и транспортного оборудования обогатительных фабрик, поточный характер производства, требующий непрерывного контроля и координации работы отдельных его звеньев, обуславливают необходимость централизации оперативного управления производством. Эта задача решается с помощью диспетчерской системы управления.

Диспетчеризация на обогатительной фабрике обеспечивает контроль и управление технологическими механизмами, оперативное планирование и учет выполнения производственных программ каждым участком фабрики, регулирование их взаимоотношений, распределение материальных и энергетических ресурсов, транспортных средств, учет работы оборудования.

В сложных интегрированных системах диспетчеризация обеспечивает также связь с производственным объединением (комбинатом), включающим в себя обогатительную фабрику.

Структура и задачи диспетчерского управления зависят от конкретных условий и определяются особенностями технологической схемы и производительностью фабрики, ее территориальными масштабами и составом оборудования.

В соответствии с этим имеется три типичных структуры диспетчерского управления обогатительными фабриками:

1. Централизованная одноступенчатая система с одним центральным диспетчерским пунктом.

2. Система с самостоятельными рассредоточенными операторскими пунктами.

3. Смешанные двухступенчатые системы, предусматривающие систему с рассредоточенными операторскими пунктами, из которых один выделяется в качестве главного.

В первом случае вся оперативная, отчетная и исследовательская информация поступает на диспетчерский пункт. Оперативная информация используется диспетчером для оперативного управления технологическими механизмами, в том числе для изменения заданий автоматическим регуляторам, пуска, переключения и остановки оборудования. Отчетная и исследовательская информация передается руководству фабрики. На ее основе специальный отдел фабрики составляет рекомендации по введению изменений в технологический процесс, планирует работу фабрики на определенный период.

В случае системы с рассредоточенными операторскими пунктами операторы независимы друг от друга. Однако предусматривается определенное взаимодействие между ними, координируемое руководством фабрики.

При смешанных двухступенчатых системах оперативное управление сосредоточено в руках операторов, получающих всю оперативную информацию о технологическом процессе. Диспетчер обычно не вмешивается в оперативное управление. С помощью соответствующих технических средств он получает отчетную и исследовательскую информацию, данные об эффективности работы фабрики. На основе этих данных диспетчер выдает операторам сведения о необходимых изменениях в ведении технологических процессов и в планировании. Аналогично функционируют системы с рассредоточенными операторскими пунктами, из которых один главный.

Независимо от конкретной структуры диспетчерского управления основная его цель заключается в обеспечении централизованного контроля и централизованного управления.

Технический уровень системы централизованного контроля и централизованного управления также зависит от конкретных местных условий. Они могут быть как самостоятельными, так и входить составной частью в системы автоматизированного управления технологическими процессами (АСУ ТП) или в организационно-технические автоматизированные системы управления фабрикой (АСУ ОТ).

## 7.2. ЦЕНТРАЛИЗОВАННЫЙ КОНТРОЛЬ

### 7.2.1. Основные функции и принципы построения систем централизованного контроля за состоянием технологического потока и оборудования

Централизованный контроль на обогатительных фабриках предусматривает контроль: качественных и количественных характеристик промпродуктов, концентратов и хвостов; параметров технологического процесса и выявление их отклонений за установленные границы; состояния основного технологического оборудования; расхода энергетических ресурсов.

Алгоритмы (программы) реализации каждой из этих функций включают в себя алгоритмы: сбора измерительной информации; обработки измерительной информации; вывода оперативной измерительной информации на соответствующие устройства.

*Алгоритмы первой группы* обеспечивают ввод измерительной информации в устройства контроля операторских и диспетчерских пунктов. При этом в зависимости от структуры диспетчерского управления и точек контроля предусматривается постоянный, циклический, инициативный или ручной режим ввода информации.

При постоянном режиме ввода измерительная информация непрерывно поступает от конкретных измерительных преобразователей (датчиков) на индивидуальные измерительные приборы, расположенные на щитах или пультах диспетчерских и операторских пунктов.

При циклическом режиме ввода измерительная информация вводится на общий измерительный прибор в результате периодического опроса датчиков. Интервал опроса выбирается с учетом характера информации, способа ее обработки и дальнейшего использования. Так, датчики параметров, характеризующих процесс измельчения, могут опрашиваться чаще, чем датчики параметров, характеризующих флотационный процесс. Датчик, включенный в систему автоматического регулирования, должен опрашиваться чаще, чем датчик, информация с которого используется для визуального наблюдения.

При инициативном режиме информация в момент ее возникновения вводится в систему контроля по инициативе самого источника информации. Такой режим ввода информации необходим, например, для немедленного извещения оператора или диспетчера об аварийной ситуации.

Режим ручного ввода используется при отсутствии возможности получения информации от автоматического датчика, например, ввод результатов анализа содержания металлов в пробах, полученных в центральной заводской лаборатории (ЦЗЛ) фабрики, ввод в систему контроля служебной информации (граничных значений параметров, плановых показателей и др.).

*Алгоритмы второй группы* обеспечивают первичную обработку измерительной информации: масштабирование сигнала, сравнение его с граничными значениями, регистрацию времени выхода измеряемого параметра за установленные границы и включение сигнализации, регистрацию измеряемых параметров, вычисление показателей, представляющих оперативный интерес и интерес для подведения итогов.

*Алгоритмы третьей группы* обеспечивают индикацию результатов измерения.

Основными техническими средствами централизованного контроля, реализующими перечисленные группы алгоритмов,



служат всевозможные датчики информации, устройства измерения, обработки и индикации информации.

Из датчиков широко применяют как серийные общепромышленные (датчики перемещения, механических усилий, давления, расхода, температуры, времени работы механизмов и др.), так и специальные датчики, применяемые только в обогащительном производстве и предназначенные для контроля уровней твердых и жидких продуктов, контроля их расхода, контроля плотности гидросмеси и др. К этой категории технических средств следует отнести и широко применяемые сегодня средства контроля вещественного состава руд и продуктов на базе выпускавшихся ранее рентгеноспектральных анализаторов КРФ-17, КРФ-18 и современных СРМ-20, СРМ-25, СРМ-31, а также других приборов (атомно-абсорбционных, оптико-спектральных, полярографических, рН-метров), информация от которых вводится в систему централизованного контроля вручную или автоматически (при наличии автоматизированных систем аналитического контроля АСАК).

В зависимости от расстояний, на которые передается измерительная информация, средства передачи информации бывают дистанционными или телемеханическими. Для дистанционной передачи специальные средства не применяются. Сигналы передают по обычным индивидуальным проводным каналам связи. Для телемеханической передачи информации используют средства, упомянутые в разделе 5.4.1.

К устройствам измерения, обработки и индикации измерительной информации относятся приборы, осуществляющие прием, измерение, масштабирование сигнала датчика и его представление в форме, удобной для восприятия человеком или техническими средствами. Сюда следует отнести всевозможные аналоговые и цифровые измерительные приборы (в том числе одно- и многоточечные обегаящего контроля) государственной системы приборов (ГСП) — амперметры, вольтметры, потенциометры, счетчики расхода, и др.

При большом числе контролируемых параметров производственного процесса и оборудования основная часть измерительной информации принимается, обрабатывается и представляется операторам с помощью специальных машин централизованного контроля (М4, МАРС, ЭЛРУ, ряда М40 и др.), в более сложных системах — с помощью информационных вычислительных комплексов на базе КТС, ЛИУС, АСКР, АКЭСР, а также типовых машин серии М-6000, СМ ЭВМ. Указанные машины по заданным алгоритмам собирают, масштабируют, сравнивают, обрабатывают и хранят информацию о ходе производственного процесса. В этом случае резко сокращается число показывающих приборов, заменяемых на более простые устройства сигнализации и регистрации нарушений нормального хода процесса, устанавливаемые на mnemonic-схемах технологической цепочки.

## 7.2.2. Пример системы централизованного контроля обогатительной фабрики

На рис. 71, *а* приведена структурная схема диспетчерского управления одной из обогатительных фабрик. Стрелками показаны направления потоков информации. Операторский пункт главного корпуса 1 имеет в сфере своего влияния отделения измельчения и флотации. На него же возложена задача оперативной координации работы всех отделений и в этом смысле этот пункт фабрики является главным, т. е. осуществляет диспетчерское управление всей фабрикой.

В лаборатории экспресс-анализа 10 получают информацию о составе сырья и промпродуктов. Подразделение 11 обрабатывает отчетную и исследовательскую информацию и занимается анализом и планированием работы фабрики.

В операторском пункте дробильного отделения имеются промышленные телеустановки и оснащенный системой сигнализации мнемощит, которые позволяют контролировать подход составов с рудой, установку думпкаров над приемным

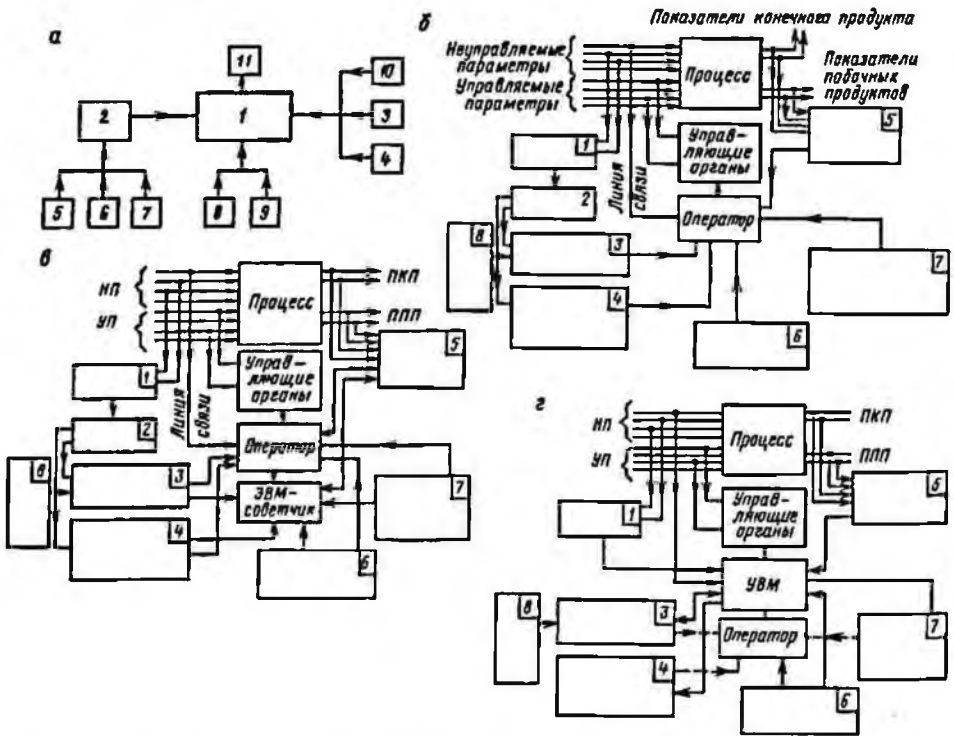


Рис. 71. Структурные схемы централизованного: *а* — контроля;

1 — операторский пункт главного корпуса фабрики; 2 — операторский пункт дробильного отделения; 3 — операторский пункт отделения обезвоживания; 4 — операторский пункт погрузки концентрата; 5 — 7 — местные шиты управления в отделениях крупного, среднего и мелкого дробления; 8 — местный шит управления в отделении изготовления реагентов; 9 — местный шит управления в хвостовой насосной; 10 — лаборатория экспресс-анализа; 11 — исследовательское подразделение; *б, в, з* — управления: 1 — датчики; 2 — информационная машина; 3 — устройство регистрации; 4 — устройства сигнализации; 5 — приборы определения характеристик; 6 — критерии управления; 7 — программа производства и ограничения; 8 — ввод из лаборатории экспресс-анализа

бункером, работу дробилок всех трех стадий дробления и обслуживающих их транспортных средств. Так, с помощью телекамер и датчиков уровня контролируется загрузка наклонного желоба, подающего руду от головной дробилки первой стадии дробления к дробилкам второй стадии. Если руда в желобе достигает нижнего уровня, то включается сигнализация, с выдержкой времени отключается головная дробилка. В случае достижения верхнего уровня включается сигнализация и головная дробилка отключается без выдержки времени. Также контролируется уровень руды в бункере, служащем для распределения ее между дробилками третьей стадии. Имеется световая и звуковая сигнализация о разрыве ленты конвейера.

Информация о работе дробилок поступает и на мнемощит оператора главного корпуса.

На местных щитах управления 5—7 установлена дублирующая световая и звуковая сигнализация о состоянии и неисправностях дробилок и питателей.

Подобным образом организован централизованный контроль в других отделениях фабрики.

Операторский пункт отделения обезвоживания обслуживает технологические цепочки сгущения, фильтрации и сушки концентрата. Он оборудован мнемонической схемой отделения, на которой имеются приборы контроля и сигнализации, информирующие о работе сгустителей, насосов, вакуумрессиверов и другого оборудования, а именно: о перегрузке сгустителей, о предельных значениях плотности сгустителей, о перегреве подшипников и прекращении циркуляции охлаждающей воды вакуум-насосов, падении вакуума в вакуум-линиях, о давлении в магистрали сжатого воздуха, поступающего на отдувку фильтров и др.

Сюда же поступает информация о расходе твердого, поступающего в сгустители, мутности сливов сгустителей, плотности гидросмеси на выходе из сгустителя.

Операторский пункт погрузки концентрата находится в специальной кабине над складами и железнодорожными путями, на которые подаются платформы с контейнерами под погрузку концентрата. На щите операторского пункта расположены приборы контроля и сигнализации, информирующие об установке платформы под погрузку, о состоянии бункеров, питателей, конвейеров, тягового устройства передвижения железнодорожного состава. Сюда приходит также информация о составе концентрата.

Щиты контрольно-измерительных приборов и автоматики отделения приготовления реагентов располагаются непосредственно у растворительных чанов. На этих щитах размещены все необходимые приборы контроля: концентрации, уровня, веса, степени растворения реагента и др.

Все агрегаты хвостовой насосной управляются из операторского пункта главного корпуса. Постоянный персонал здесь

не предусматривается. Однако на щите КИП здесь имеются используемые для контроля, наладки и ремонта оборудования дублирующие приборы для периодического контроля состояния агрегатов.

На операторском пункте главного корпуса помимо оборудования, связанного с управлением технологическими процессами, расположена информационная машина обегаящего контроля, а также мнемощит отделений измельчения и флотации. Здесь же размещены отдельные панели сигнализации, на которые поступает информация из отделений дробления, обезвоживания, приготовления реагентов и хвостовой насосной. Установлена вычислительная машина-советчик, в которую вводятся данные, собираемые информационной машиной. Имеются автоматические пишущие машинки, на которых печатается информация, поступающая от информационной машины и машины-советчика, в том числе информация, вводимая вручную и поступающая из лаборатории экспресс-анализа о вещественном составе исходной руды, промпродуктов и хвостов, информация из отделения дробления о количестве продробленной руды, из операторского пункта отгрузки концентрата о количестве и качестве отгружаемой продукции. В отличие от операторского пункта дробильного отделения здесь отсутствуют регистрирующие приборы автоматического контроля. Все данные о технологическом процессе и работе оборудования поступают от датчиков на информационную машину и машину-советчик.

Из отделения флотации информационная машина получает данные о расходах твердого на флотации каждой стадии, о количестве твердого, уходящего с хвостами, о величине рН, об остаточной концентрации ксантогената и других реагентов, о расходах реагентов обобщенно по каждому реагенту и отдельно по каждой точке, о количестве твердого в продуктах флотации, об уровнях гидросмеси в камерах основной флотации.

С машиной связана информационная панель, на которой размещены световые табло, индицирующие отклонения от нормы технологических параметров оборудования, цифровые индикаторы для вывода текущих значений параметров, их верхних и нижних границ с указанием размерности, а также табло ввода, предназначенное для индикации вводимой информации (например новых границ технологического параметра) с указанием адреса, значения и наименования данных.

Отделение обработки исследовательской и отчетной информации имеет несколько автоматических печатающих машинок, на которые выводится обобщенная общефабричная информация, поступающая из операторского пункта главного корпуса.

Система централизованного контроля позволяет, таким образом, сконцентрировать на операторских и диспетчерских

пунктах всю необходимую информацию, должным образом ее обработать и представить в виде, удобном для оперативного управления производством и его планирования.

### 7.3. ЦЕНТРАЛИЗОВАННОЕ УПРАВЛЕНИЕ

#### 7.3.1. Основные принципы централизованного управления механизмами обогатительной фабрики

Возможны три варианта централизованного управления.

По первому варианту (рис. 71, б) система централизованного управления двухуровневая: нижний уровень—это системы автоматической стабилизации отдельных параметров технологических агрегатов и процессов, системы программного управления агрегатами и обслуживающий персонал неавтоматизированных агрегатов; верхний уровень—это система централизованного контроля и оператор (диспетчер). Оператор (диспетчер) осуществляет оперативное управление механизмами. Принимаемые им решения зависят от информации, поступающей по системам диспетчерской связи от датчиков 1 и лаборатории 8 на информационную машину 2, щиты контрольных приборов 5, мнемосхемы 4 и регистрирующие устройства 3. Всю поступающую информацию анализирует сам оператор (диспетчер). Анализ ведется в соответствии с программой 7, критериями управления 6 и опытом, представляющим набор некоторых логических связей и элементарных математических действий, позволяющих принимать решения по управлению механизмами и процессом. Пользуясь диспетчерской связью и приборами управления, установленными на мнемосхеме и пульте управления, оператор (диспетчер) обеспечивает прием руды из рудников, управляет рудными потоками, меняет уставки систем автоматической стабилизации параметров агрегатов и процессов обогащения, выясняет причины нарушений режимов и аварий, организует их устранение.

Второй вариант (рис. 71, в) встречается при больших объемах производства и усложненных процессах обогащения. Характеризуется он наличием средств автоматического анализа информации. При этом анализ осуществляется по гораздо более сложным алгоритмам и более точно, чем это способен сделать человек. Средством анализа в данном случае служит управляющая вычислительная машина-советчик. Оператор (диспетчер) контролирует выдаваемые машиной-советчиком технико-экономические советы, при необходимости корректирует их, сообразуясь с реальной ситуацией, и дает разрешение на их выполнение.

Информация, получаемая с помощью машины-советчика, передается на автоматические печатающие машинки или на устройства приема алфавитно-цифровой информации—дисплеи.

В этом случае управление чаще всего трехуровневое. На нижнем уровне, как и в первом варианте, имеются системы автоматической стабилизации и программного управления агрегатами, а также персонал, обслуживающий неавтоматизированное оборудование. На среднем уровне находятся операторы-технологи отделений и цехов, которые, с одной стороны, выполняют указания главного оператора или диспетчера о целесообразных решениях по ведению процессов, с другой, — имеют возможность непосредственно управлять режимами отдельного оборудования. Централизованное управление производством всей фабрики (верхний уровень системы) осуществляет главный оператор или диспетчер. Технические средства управления в данном случае те же, что и в первом варианте (диспетчерская связь, приборы управления, установленные на мнемосхеме и пульте управления). В качестве машин-советчиков применяют управляющие вычислительные машины (УВМ) М6000 и серии СМ.

Применение машин-советчиков объясняется тем, что в большинстве случаев пока еще не решаются доверить машине полное управление производством из-за несовершенства и неполноты алгоритмов управления, а также из-за ненадежности вычислительных машин.

Тем не менее на обогатительных фабриках некоторых крупных горно-обогатительных комбинатов ведутся работы, связанные с использованием УВМ для непосредственного оптимального управления процессами производства. В случае данного — третьего варианта управления (рис. 71, 2) — УВМ вырабатывает непосредственные управляющие сигналы, подаваемые на регулирующие органы, либо на задатчики регуляторов и программных устройств. При этом возможен вариант, когда регуляторы и программные устройства отсутствуют, а УВМ вырабатывает управляющие сигналы непосредственно для регулирующих и исполнительных органов.

В данном случае система централизованного контроля является одной из подсистем системы автоматизированного управления технологическим процессом. Функции ее также реализуются автоматически, с помощью той же УВМ.

В режиме автоматического функционирования системы централизованного управления диспетчер и операторы наблюдают за процессами, при необходимости корректируют в соответствии с реальной ситуацией, принимают на себя управление в случае выхода из строя УВМ или ее отдельных узлов, осуществляют проверку и представление отчетной информации.

Меняются функции и рабочих нижнего уровня. В их обязанности входят визуальный контроль за состоянием агрегатов и процессов, подчистка просыпей, информирование операторов о параметрах неавтоматизированных агрегатов, устранение нарушений режимов и аварий.

Действия обслуживающего персонала координируются с по-

мощью систем громкоговорящей и телефонной диспетчерской связи.

Обогатительная фабрика представляет собой поточное производство. Поэтому в каждом из описанных вариантов система централизованного управления должна обеспечивать три режима управления: централизованное управление с операторского или диспетчерского пункта; местное управление для производства ремонтных работ; местное заблокированное управление для наладочных работ и для случая выхода из строя централизованной системы управления.

При этом пуск оборудования всегда осуществляют в определенном порядке. Применяют два способа последовательного пуска:

1. Залповый—когда для пуска следующего агрегата используют блок-контакты пускателей предыдущих по пуску электродвигателей и происходит почти одновременный пуск всех агрегатов участка;

2. Пуск в функции времени—когда пуск механизмов осуществляют по очереди через определенные промежутки времени (2—5 с) с помощью специальных реле времени или реле скорости.

Залповый пуск связан с совпадением пусковых токов и применяется при небольших мощностях электродвигателей.

Для безопасного обслуживания и нормальной эксплуатации механизмов поточного производства в случае централизованного управления ими всегда предусматривают следующую сигнализацию: предупредительную, предупреждающую персонал о предстоящем пуске (40—60 с); ответную сигнализацию из цеха оператору о готовности механизма к централизованному пуску (используется там, где есть обслуживающий персонал или требуется подготовка механизма к пуску); о положении механизма (свечение сигнальных ламп на мнемосхеме—о включении электродвигателей, погашение—об их остановке); аварийную (сигнализирует с помощью ламп и звукового сигнала об аварийной остановке механизма или ситуации на участке); предупреждающую (сигнализирует об отклонении от нормального состояния узлов поточного производства).

### 7.3.2. Пример системы централизованного управления механизмами и процессами на обогатительной фабрике

Система централизованного управления дополняет систему централизованного контроля, структурная схема которой приведена на рис. 71, а—это вариант смешанного трехуровневого управления с рассредоточенными операторскими пунктами, из которых один выделен в качестве главного. Главным в данном случае является операторский пункт главного корпуса фабрики.

На операторском пункте дробильного отделения расположены все средства управления поточно-транспортными систе-

мами, системы телефонной и громкоговорящей диспетчерской связи и промышленного телевидения, а также описанные выше средства централизованного контроля. На мнемонической схеме размещены средства управления (ключи, кнопки), которые органично сливаются со схемой.

Оператор дистанционно управляет дробильно-транспортными механизмами, переключает и выбирает отсеки промежуточных складов или бункеров для их автоматического наполнения рудой с послойным усреднением руды по челночно-точечной программе, выбирает рабочий и резервный питатели промежуточного склада руды, осуществляет пуск и остановку всего комплекса механизмов в заданном порядке. На отдельных щитах операторского пункта находятся устройства автоматического регулирования загрузки дробилок. Параметром регулирования служит удельная мощность, потребляемая электродвигателями дробилок, устанавливаемая оператором.

Операторский пункт процессов обезвоживания также оборудован мнемонической схемой отделения, в которую встроены ключи дистанционного управления агрегатами (насосами, вакуум-ресиверами и др.). На отдельных щитах расположены регулирующие приборы разгрузки сгустителей, стабилизации их питания, автоматической отдувки тканей фильтров, автоматической откачки фильтрата из вакуум-ресиверов в зависимости от уровня в них фильтрата.

Пользуясь информацией, поступающей от системы централизованного контроля, и диспетчерской связью оператор дистанционно управляет вентилями на вакуум-линиях, вакуум-насосом, выбирает программы отдувки тканей фильтров и включения насосов, откачивающих гидросмесь из сгустителей, корректирует задания системам регулирования и стабилизации в зависимости от возникающих ситуаций.

Оператор отделения погрузки концентрата, пользуясь данными о количестве и составе концентрата на складе, обеспечивает его погрузку в контейнеры, установленные на железнодорожных платформах. При этом оператор дистанционно управляет грейферным краном, предназначенным для переноса концентрата в промежуточный бункер, конвейерным питателем, подающим концентрат из промежуточного бункера на систему взвешивания с порционными весами, тяговым устройством для передвижения вагонов и установкой выносного конвейера, направляющего концентрат после взвешивания в контейнеры.

Все агрегаты отделений приготовления реагентов и хвостовой насосной управляются из операторского пункта главного корпуса фабрики. В отделениях не предусматривается постоянный обслуживающий персонал.

Главный операторский пункт оснащен мнемосхемой отделений измельчения и флотации, на которой имеются панели сигнализации, поступающей из других отделений фабрики. В отличие от других операторских пунктов главный пункт



оснащен вычислительной машиной-советчиком, помогающей оператору управлять процессами флотации, принимать решения общефабричного уровня, формировать исследовательские и отчетные данные.

Другое отличие главного операторского пункта — отсутствие на мнемосхеме ключей централизованного запуска технологических агрегатов. Технологическая цепочка конвейер — мельница — классификатор и флотационные машины запускаются по распоряжению оператора только с расположенных у агрегатов местных щитов. Схемы запуска агрегатов предусматривают заданную последовательность пуска и остановку всех агрегатов при неисправности на одном из них.

На щитах операторского пункта и местных щитах установлены регуляторы и стабилизаторы процессов обогащения (стабилизации рН среды, уровня гидросмеси в камерах флотационных машин, автоматизации насосных установок, реагентных питателей, подачи руды, подачи воды в мельницу и плотности слива классификатора). Мельницы защищены автоматическими системами защиты от перегрева подшипников, перегрузки электропривода и др. Основные автоматические системы имеют выходы на пульт оператора, с которого оператор осуществляет дистанционное управление уставками автоматических систем. Например, в зависимости от уровней руды в каждом отсеке бункера дробленой руды оператор выбирает число и номера питателей, подающих руду в мельницы. Оператор корректирует дозировку флотационных реагентов в соответствии с рекомендациями машины-советчика, имеющей данные о вещественном составе руды и продуктов обогащения, получаемые из экспресс-лаборатории фабрики.

Одну из сторон работы оператора можно проиллюстрировать на примере ввода нового задания системе автоматической стабилизации параметра агрегата. Оператор находит на информационной панели табло интересующего его параметра и набирает на клавишном поле пульта управления адрес в виде трехзначного числа. Первая цифра этого числа указывает номер табло, две остальные — местоположение ячейки параметра на табло. При этом для проверки на табло ввода высвечивается набранный адрес, на табло параметра — надпись ячейки параметра, на табло технологических границ — верхняя и нижняя границы технологической нормы, задание системе регулирования и усредненное текущее значение параметра.

Для ввода нового задания на пульте оператора нажимается клавиша ввода уставок. На клавишном поле набирается нужное значение вводимого задания, которое индицируется на табло ввода. После проверки правильности набора нажимается клавиша «Ввод». Машина-советчик обеспечивает обработку и доставку данного сигнала регулятору управляемого агрегата.

После проверки оператором машина-советчик выводит так-

же на автоматические печатающие машинки отдела обработки исследовательской и отчетной информации обобщенную общефабричную информацию. На основе ее обработки корректируется и планируется работа всей фабрики.

#### 7.4. ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ДИСПЕТЧЕРСКОГО УПРАВЛЕНИЯ НА ОБОГАТИТЕЛЬНОЙ ФАБРИКЕ

Внедрение того или иного варианта системы централизованного диспетчерского контроля и управления на обогатительной фабрике должно быть экономически оправдано. Экономический эффект от внедрения системы диспетчеризации

$$\mathcal{E} = [(C_0 - C_n) - E_n K_d] A_n, \quad (17)$$

где  $\mathcal{E}$  — годовой экономический эффект;  $C_0$ ,  $C_n$  — себестоимость единицы продукции соответственно до и после внедрения отдельных частей системы;  $E_n = 0,32$  — нормативный коэффициент сравнительной эффективности капитальных затрат;  $K_d$  — удельные капитальные затраты в расчете на единицу продукции, связанные с внедрением отдельной части системы;  $A_n$  — объем продукции, произведенной за год в натуральных единицах после внедрения отдельной части системы диспетчеризации.

В качестве исходных показателей себестоимости и удельных капитальных затрат принимают их фактические значения до и после внедрения отдельной части системы.

Преобразовав (17):

$$\mathcal{E} = (C_0 - C_n) A_n - E_n K_d A_n, \quad (18)$$

где  $(C_0 - C_n) A_n = \mathcal{E}_c$  — годовая экономическая эффективность от снижения себестоимости продукции в результате внедрения отдельной части системы;  $K_d A_n = K_r$  — капитальные затраты на внедрение отдельной части системы за год:

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_c - E_n K_r. \quad (19)$$

При оценке экономической эффективности от внедрения системы централизованного диспетчерского управления учитывают экономию, которая должна быть получена в результате внедрения отдельных ее частей и их дальнейшего функционирования, а также капитальные затраты на создание этих частей системы.

Ниже, в качестве примера, приведен расчет экономической эффективности от снижения себестоимости переработки руды в результате внедрения автоматизированной системы диспетчерского управления на одной из фабрик.

1. Предполагается, что в течение 7 лет ежегодно в систему будут вводиться отдельные ее части — подсистемы. Годовой экономический эффект от их внедрения составит

Год .....	1	2	3	4	5	6	7
Э <sub>с</sub> , тыс. руб. ....	129,6	22	363,8	92,5	200,5	198,8	238,2

Суммарный экономический эффект с учетом продолжительности функционирования отдельных подсистем составит:

$$\begin{aligned} \text{Э}_{\text{с. сум}} &= 129,6 \cdot 7 + 22,0 \cdot 6 + 363,8 \cdot 5 + 92,5 \cdot 4 + 200,5 \cdot 3 + 198,8 \cdot 2 + 238,2 = \\ &= 4465 \text{ тыс. руб.} \end{aligned}$$

Среднегодовой экономический эффект

$$\text{Э}_{\text{ср}} = 4465/7 = 637 \text{ тыс. руб.}$$

Экономический эффект должен быть получен благодаря повышению производительности труда и извлечению металлов.

Согласно действующей инструкции по планированию, учету и калькулированию себестоимости все текущие затраты на содержание системы диспетчеризации фабрики должны быть учтены в себестоимости переработки 1 т руды.

2. При расчете капитальных затрат, связанных с внедрением системы диспетчеризации, учитывают все капитальные затраты за 7 лет внедрения и два предшествующих года:

Год .....	1	2	3	4	5	6	7	8	9
К, тыс. руб. ....	14	161,7	630,6	952,5	1014,6	360	459	590,9	692

Суммарные капитальные затраты:

$$K = 14 + 161,7 + 630,6 + 952,5 + 1014,6 + 360 + 459 + 590,9 + 692 = 4875,3 \text{ тыс. руб.}$$

Среднегодовые капитальные затраты:

$$K_r = (K/M) A_n = (K/M)(M/7) = K/7 = 4875,3/7 = 696,8 \text{ тыс. руб.,}$$

где  $M$  — масса продукции, выпущенной после внедрения отдельных подсистем за рассматриваемый период, тыс. т;  $K/M$  — удельные капитальные затраты, руб/т;  $M/7$  — среднегодовой выпуск продукции после внедрения отдельных подсистем за рассматриваемый период, тыс. т.

3. Общий экономический эффект от внедрения автоматизированной системы диспетчерского управления за период от начала внедрения до последнего отчетного года рассчитывают по формуле, аналогичной (18):

$$\text{Э} = 4465 - 0,32 \cdot 4875,3 \approx 2905 \text{ тыс. руб.}$$

Среднегодовой эффект за указанный период:

$$\text{Э} = 637 - 0,32 \cdot 696,8 \approx 414 \text{ тыс. руб.}$$

4. Срок окупаемости  $T$  рассчитывают по формуле:

$$T = K/\text{Э}_c = 4875,3/4465 \approx 1,1 \text{ года.}$$

Таким образом, все капитальные затраты окупаются за 1,1 года.

## 8. ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЭЛЕКТРОХОЗЯЙСТВА ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ ФАБРИК

### 8.1. ОРГАНИЗАЦИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРОХОЗЯЙСТВА

Целью эксплуатации электрохозяйства обогатительных фабрик является обеспечение безопасности, экономичности, высокой производительности, надежности и бесперебойной работы агрегатов.

Эксплуатация электрохозяйства должна осуществляться

в соответствии с Правилами технической эксплуатации электроустановок потребителей—ПТЭ и Правилами техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей—ПТБ [33] по следующим направлениям: создание эффективной структуры службы эксплуатации электрохозяйства; обеспечение рабочих мест обслуживающего персонала необходимой нормативной и технической документацией; организация межремонтного обслуживания; организация ремонтных работ.

*Служба эксплуатации электрохозяйства* состоит из бригады электриков и электрослесарей по цеху в целом или его участкам в соответствии с технологическим процессом, а также бригад, обслуживающих электрооборудование кранов, кабельные сети, автоматические устройства. Мастер или электрик участка организует работу бригад.

На каждом участке имеется старший дежурный, который ведет необходимую оперативную документацию.

Мастер или электрик участка должен периодически, но не реже 1 раза в 10 дней, лично осматривать электрооборудование участка и записывать свои замечания в журнал планово-предупредительных осмотров, составлять план планово-предупредительных ремонтов (ППР), заниматься подготовкой к ППР (готовить необходимые запасные части), контролировать совместно с дежурным электриком качество ремонта, вести агрегатные журналы на крупные машины.

*Нормативно-техническая и техническая документация*, необходимая для эксплуатации электрохозяйства, включает: ПТЭ и ПТБ, инструкции по эксплуатации электрооборудования по утвержденному списку, график межремонтного обслуживания электрооборудования, журнал замечаний, обнаруженных при планово-предупредительных осмотрах, принципиальные схемы электрооборудования агрегатов. На принципиальных схемах должны быть отражены все изменения и исправления, которые осуществлялись при монтаже, пусконаладочных работах или в процессе эксплуатации. В архиве мастера или электрика цеха должен храниться комплект документации, не используемый в повседневной работе: комплекты монтажных схем, схем распределительных сетей и внешних соединений, кабельные журналы, инструкции заводов-изготовителей и паспорта электрооборудования, протоколы пусконаладочных работ, журналы проверки защит и электросопротивлений заземлений, графики и акты ремонтов.

*Межремонтное обслуживание* основано на составляемом по каждому участку соответствующем графике—нормированном ежедневном задании электротехническому персоналу по проведению плановых осмотров и поддержанию электрооборудования в работоспособном состоянии в межремонтный период. В течение смены каждый дежурный электрик должен

осмотреть все закрепленное за ним электрооборудование с целью выявления возможных дефектов. Результаты осмотров фиксируют в журнале с подробным описанием дефектов. Мелкие дефекты устраняются дежурным электриком на месте, сложные и трудоемкие включают в планы ППР.

Осмотр обесточенного оборудования совмещают с замером сопротивления изоляции. При замере сопротивления изоляции исходят из значения сопротивления, предписываемого Правилами устройства электроустановок (ПУЭ) и составляющего 1 кОм на 1 В рабочего напряжения. Для напряжения 380 В это составляет 0,5 мОм, для напряжения 6 кВ—6 мОм. Систематические замеры сопротивления изоляции во многом определяют надежность работы электрооборудования. За три-четыре дня до ППР должно быть замерено сопротивление изоляции всего электрооборудования. Уменьшение его на величину более 30% служит сигналом тревоги и принятия мер по его повышению.

Сопротивление изоляции проверяется мегомметром, рассчитанным на напряжения: 500 В—для сетей до 220 В; 1000 В—для сетей 380—1000 В; 2500 В—для сетей выше 1000 В.

Основная форма *организации ремонтных работ* по электрооборудованию—это планово-предупредительный ремонт. Задача ППР заключается в поддержании электрооборудования в работоспособном состоянии периодическим его восстановлением. Различают ремонты текущие и капитальные.

Затраты на текущий ремонт относят на себестоимость продукции.

Затраты на капитальный ремонт относят к амортизационным отчислениям.

Наиболее совершенная форма организации ремонта электрооборудования—централизованный ремонт. При этом электроремонтный персонал концентрируют в электроремонтном цехе или на электроремонтных участках, оснащенных металлорежущими станками, специальным оборудованием, приспособлениями и инструментом.

Для выполнения большого объема работ, в том числе замены электрооборудования и отдельных его частей, привлекают централизованные электроремонтные предприятия—ведомственные, республиканские и союзные. Централизованный ремонт улучшает качество работ, сокращает их сроки и снижает стоимость.

Результаты ремонта должны в установленном порядке контролироваться и приниматься эксплуатационным персоналом.

## 8.2. НОРМИРОВАНИЕ РАСХОДА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Нормирование расхода электроэнергии—это установление плановой меры ее потребления при производстве единицы продукции установленного качества. Основная задача нор-

мирования электроэнергии—это обеспечение ее рационального использования и осуществление режима экономии.

Различают нормы расхода—технологические, цеховые и общефабричные.

Технологической нормой называют норму расхода электроэнергии, которая учитывает общий расход ее на основные и вспомогательные операции какого-либо законченного технологического процесса (например, дробления, грохочения и др.). Цеховой называют норму расхода электроэнергии, которая учитывает общий расход ее на основные и вспомогательные технологические процессы, осуществляемые в цехе. Общефабричной называют норму расхода электроэнергии, которая учитывает общий расход ее на производство конечной продукции—концентрата, агломерата или окатышей.

Нормы расхода электроэнергии разрабатывают в двух основных направлениях: расчет плановых норм исходя из мощности и среднего числа часов работы установленного оборудования; периодическое составление электробаланса предприятия и уточнение норм расхода электроэнергии.

### 8.2.1. Расчет плановой общефабричной нормы расхода электроэнергии

При разработке общефабричной нормы расхода электроэнергии на производство 1 т концентрата необходимо определить нормы расхода ее дробильным, обогатительным и вспомогательными цехами.

Для определения нормы расхода электроэнергии  $W_{з.ц}$  (кВт·ч/т) дробильным цехом определяют соответствующие технологические нормы.

1. Норма расхода электроэнергии на операцию дробления

$$W_{др} = \frac{\sum_{i=1}^m P_{ном} n T_r}{\Pi_r},$$

где  $m$ —число стадий дробления;  $P_{ном}$ —средняя активная мощность дробилки данной стадии, кВт;  $n$ —число дробилок, работающих одновременно в определенной стадии дробления;  $T_r$ —планируемый годовой фонд рабочего времени одной дробилки, ч;  $\Pi_r$ —планируемая годовая производительность цеха, т.

2. Норма расхода электроэнергии на операцию грохочения

$$W_{гр} = \frac{\sum_{i=1}^n P_{ном} n K_n T_r}{\Pi_r},$$

где  $P_{ном}$ —номинальная мощность электропривода грохота, кВт;  $n$ —число одновременно работающих питателей и гро-

хотов;  $K_n = 0,6 \div 0,7$  — коэффициент использования мощности электроприемника;  $T_r$  — планируемый годовой фонд рабочего времени соответствующей стадии дробления, ч.

3. Норма расхода электроэнергии на транспортирование руды конвейерами

$$W_k = \frac{\sum^n P_n T_r}{\Pi_r},$$

где  $m$  — число конвейерных участков (участком называют параллельно установленные конвейеры с одинаковыми параметрами);  $P$  — средняя активная мощность конвейера, кВт;  $n$  — число работающих одновременно конвейеров на участке;  $T_r$  — планируемый годовой фонд рабочего времени одного конвейера.

4. Норма расхода электроэнергии на вспомогательные работы и нужды дробильного цеха

$$W_{всп} = \frac{\sum P_{\Sigma ном} K_n K_z T_r}{\Pi_r},$$

где  $P_{\Sigma ном}$  — суммарная мощность электроприемников с одинаковым режимом работы, кВт;  $K_n$  и  $K_z$  — соответственно коэффициенты включения и загрузки по активной мощности электроприемников:

	$K_n$	$K_z$
Установки приточной вентиляции .....	0,2	0,3
Установки вытяжной вентиляции .....	0,6	0,6
Маслонасосы .....	1,0	0,6
Дренажные насосы .....	0,6	0,65
Установки постоянного освещения .....	1,0	1,0
Установки временного освещения .....	0,45	1,0

Цеховая норма расхода электроэнергии дробильного цеха

$$W_{д.ц} = \frac{W_{пр} + W_{гр} + W_k + W_{всп}}{k_n},$$

где  $k_n = 0,96 \div 0,98$  — коэффициент, учитывающий потери в общезаводских питающих сетях и установках.

Для определения нормы расхода электроэнергии  $W_{о.ц}$  (кВт·ч/т) обогатительным цехом также определяют соответствующие технологические нормы.

1. Норма расхода электроэнергии мельницами всех стадий измельчения:

$$W_m = \frac{\sum^n P_n K_n T_r}{\Pi_r},$$

где  $m$  — число стадий измельчения;  $P$  — средняя мощность, потребляемая мельницей данной стадии, кВт;  $n$  — число мельниц, одновременно работающих в одной стадии измельчения;

$K_n = 0,96 \div 0,98$  — коэффициент включения мельниц одной стадии;  $T_r$  — планируемый фонд рабочего времени мельниц одной стадии.

2. Норма расхода электроэнергии на операции обогащения  $W_o$  (кВт · ч/т) зависит от качества исходной руды  $\alpha$ , концентрата  $\beta$  и его выхода  $\gamma$ , а также от принятой схемы обогащения; поэтому в каждом конкретном случае она определяется или опытным путем, или по эмпирическим формулам, найденным для отдельных сходных предприятий.

3. Норму расхода на вспомогательные операции  $W_{всп}$  определяют так же, как и для дробильного цеха.

В результате цеховую норму расхода электроэнергии можно определить по формуле:

$$W_{o.ц} = \frac{W_m + W_o + W_{всп}}{k_n}$$

К вспомогательным цехам относят: ремонтно-механический, ремонтно-строительный, автотранспортный и др. Расход электроэнергии вспомогательными цехами  $W_{всп.ц}$  учитывают коэффициентом энергоемкости вспомогательных цехов  $k_{э.всп.ц}$ , представляющим собой отношение расхода электроэнергии этими цехами к нормируемому расходу электроэнергии основными цехами за один и тот же период. Для современных крупных горно-обогатительных комбинатов  $k_{э.всп.ц} = 0,25 \div 0,35$ . Тогда

$$W_{всп.ц} = k_{э.всп.ц} (W_{д.ц} + W_{o.ц})$$

и общефабричная плановая норма расхода электроэнергии на производство 1 т концентрата:  $W_{конц} = W_{д.ц} + W_{o.ц} + W_{всп.ц}$ .

## 8.2.2. Составление электробаланса предприятия

Электробаланс промышленного предприятия состоит из прихода и расхода электроэнергии (активной и реактивной). В приход включают всю электроэнергию, полученную предприятием от энергосистемы или из других источников. Расходная часть включает в себя общие затраты электроэнергии на производство продукции (в том числе непроизводительные, связанные с потерями электроэнергии).

Составление электробаланса — основной метод анализа и уточнения электропотребления на предприятии. Задачами составления электробаланса являются: определение действительных норм расхода электроэнергии на единицу продукции; выявление непроизводительных и прямых расходов электроэнергии при производстве продукции и планирование их сокращения.

Сводный электробаланс фабрики строится на основе частных электробалансов цехов, групповых и индивидуальных балансов



установок, расчетов потерь в распределительных питающих сетях и преобразовательных установках. Составление и анализ электробаланса целесообразно проводить не реже 1 раза в 5 лет. Проводится он, как правило, силами научно-исследовательских институтов или наладочных организаций при участии работников энергетических и технологических служб фабрики.

Методики составления электробалансов предприятий изложены в специальной литературе [4].

Электробаланс фабрики—основа всех мероприятий по экономии электроэнергии, в том числе по снижению расхода ее реактивной составляющей путем повышения коэффициента мощности в элементах сети.

### 8.2.3. Способы повышения коэффициента мощности на обогатительных фабриках

Способы повышения коэффициента мощности в электросети фабрики делятся на естественные и искусственные. К естественным относят способы снижения потребления реактивной мощности основными приемниками электроэнергии: асинхронными двигателями, трансформаторами, вентиляльными преобразователями. Как правило, эти способы не требуют значительных капитальных затрат и предполагают решение следующих вопросов: замена малозагруженных асинхронных двигателей двигателями меньшей мощности (осуществляется, если средняя нагрузка двигателя составляет менее 45% номинальной мощности); понижение напряжения у двигателей, систематически работающих с малой нагрузкой (осуществляется при невозможности замены двигателя путем переключения его статорной обмотки с треугольника на звезду, секционирования статорных обмоток, понижения напряжения в сети переключением ответвлений трансформаторов); ограничение холостого хода асинхронных двигателей (осуществляется, когда промежутки работы на холостом ходу превышают 10 с); замена или отключение в период малых нагрузок трансформаторов; применение наиболее целесообразной силовой схемы в системе управления вентиляного (полупроводникового) преобразователя (перспективна схема последовательного соединения мостов с поочередным управлением).

К искусственным относят способы, предусматривающие приоритетное использование, где это возможно, синхронных двигателей, а также специальных компенсаторов—источников реактивной энергии. К последним относят: синхронные компенсаторы, представляющие собой синхронные двигатели облегченной конструкции; батареи конденсаторов; статические компенсирующие устройства, состоящие из конденсаторов и дросселей, накапливающих электромагнитную энергию, и тиристоров, обеспечивающих ее быстрое преобразование.

## 8.3. ТАРИФИКАЦИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

### 8.3.1. Основная плата за электроэнергию

Плату за электроэнергию, отпускаемую промышленным предприятиям, производят по одно- и двуставочному тарифам.

По одноставочному тарифу оплачивают электроэнергию, расходуемую предприятиями с присоединенной мощностью до 750 кВ·А, а также электроэнергию, расходуемую на освещение и прочие нужды зданий и помещений, не связанных с производством (жилые поселки, кинотеатры, столовые и др.).

По двуставочному тарифу оплачивают электроэнергию, расходуемую предприятиями с присоединенной мощностью 750 кВ·А и выше. Двуставочный тариф состоит из годовой оплаты за 1 кВт заявленной потребителем максимальной мощности, участвующей в максимуме нагрузки энергосистемы (основная ставка) и платы за 1 кВт·ч отпущенной предприятию активной электроэнергии, учтенной счетчиком (дополнительная ставка).

При нескольких питающих линиях за заявленную мощность принимают совмещенный получасовой максимум нагрузки фабрики в часы максимума нагрузки энергосистемы.

Если счетчик, по которому оплачивается дополнительная ставка, установлен на вторичной стороне, то оплата умножается на коэффициент 1,025, учитывающий потери в трансформаторе.

### 8.3.2. Скидки и надбавки к тарифу на электроэнергию

При расчетах с предприятиями применяют скидки и надбавки к тарифу на электроэнергию за компенсацию реактивной мощности в электроустановках предприятий.

Скидка или надбавка к тарифу для предприятий с присоединенной мощностью до 750 кВ·А определяется в зависимости от коэффициента  $k = \frac{Q_{к.ф}}{Q_{к.з}} \cdot 100$ , где  $Q_{к.ф}$  — фактическая мощность компенсирующего устройства;  $Q_{к.з}$  — мощность компенсирующего устройства, заданная электроснабжающей организацией.

$k$ .....	130 и более	110—130	90—110	70—90	50—70	30—50	До 30
Размер скидки (-) и надбавки (+).							
% .....	+50	+10	-5	0	+10	+30	+50

При несоблюдении заданных электроснабжающей организацией периодов работы компенсирующего устройства применяют надбавку к тарифу в размере 50% за квартал, в котором замечено нарушение.

Для предприятий с присоединенной мощностью 750 кВ·А и выше скидка или надбавка состоит из двух составляющих:

1. Надбавки  $H_1$  за повышенное потребление реактивной

мощности  $Q_{\phi 1}$  по сравнению с заданным электроснабжающей организацией  $Q_{\phi 1}$  в часы максимума нагрузки энергосистемы:

$$H_1 = \frac{Q_{\phi 1} - Q_{\phi 1}}{P_{\phi}} \cdot 30,$$

где  $P_{\phi}$  — фактическое значение максимальной активной мощности предприятия; при  $Q_{\phi 1} \leq Q_{\phi 1}$  принимается  $H_1 = 0$ ;

2. Надбавки или скидки  $H_2$  (%) за отклонение режима работы компенсирующих устройств от заданного электроснабжающей организацией, оцениваемое отклонением фактического потребления реактивной мощности  $Q_{\phi 2}$  от заданного —  $Q_{\phi 2}$  в часы минимума нагрузки энергосистемы:

$$H_2 = \frac{Q_{\phi 2} - Q_{\phi 2}}{P_{\phi}} \cdot 20 - 2;$$

разность в числителе всегда принимают положительной; величина  $H_2 > 0$  или  $H_2 < 0$  означает соответственно надбавку или скидку.

Скидка или надбавка относится к обеим ставкам тарифа. Контроль  $Q_{\phi 1}$  и  $Q_{\phi 2}$  осуществляют по счетчикам и приборам, учитывающим потребляемую реактивную мощность.

#### 8.4. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОХОЗЯЙСТВА

В системах электроснабжения, централизованного контроля и управления электроустановками фабрик, применяют большое количество различных измерительных приборов и устройств. Каждое из этих средств должно обеспечивать определенную точность измерения. Достигается это двумя путями: техническим и нормативным. В первом случае — показания прибора периодически сравнивают с показаниями специальных образцовых средств измерений, т. е. осуществляют метрологическую поверку средств измерений. Во втором — с помощью специальных нормативных документов (стандартов, методик и др.) определяют единые условия и правила измерений и поверочных работ.

Комплекс мероприятий, обеспечивающих единство и требуемую точность измерений, называют метрологическим обеспечением измерений. Осуществляет эти мероприятия метрологическая служба фабрики совместно с ответственными за средства измерений по ее подразделениям. Ответственные по подразделениям следят за сроками поверки средств измерений. В соответствии с графиками поверки сдают их в метрологическую службу или вызывают ее представителей на место. В случае необходимости обеспечивают своевременную сдачу средства измерения в ремонт.

Метрологическую поверку средств измерений могут осуществлять как территориальные органы Госстандарта СССР

(государственная поверка), так и территориальные отраслевые метрологические службы или метрологические службы предприятий при наличии у них соответствующего разрешения (ведомственная поверка). Обязательной государственной поверке подлежат образцовые средства измерений, используемые для ведомственной поверки, а также рабочие средства, предназначенные для учета получаемых со стороны энергоресурсов, для экспертиз по требованию государственного арбитража и органов контроля. Государственной поверке подлежат также средства измерения, не обеспеченные ведомственной поверкой.

Положительные результаты метрологической поверки средств измерений удостоверяют с помощью поверительных клейм (государственных или ведомственных). Отгиски поверительных клейм наносят на средства измерений или эксплуатационные документы (учетные карточки, журналы поверки и др.).

Нестандартизованные средства измерений (НСИ), изготовленные на предприятии или сторонними организациями, а также приобретенные по импорту, допускаются к эксплуатации после первичной метрологической аттестации. Метрологическую аттестацию НСИ и их периодическую поверку организует метрологическая служба предприятия.

## **8.5. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ**

### **8.5.1. Физиологическое действие электрического тока на организм человека**

При попадании человека под напряжение через его тело протекает электрический ток. Сила этого тока зависит от значения напряжения и сопротивления тела человека. Сопротивление тела меняется в широких пределах. На его значение сильно влияет состояние кожи. Наибольшим сопротивлением обладает чистая, сухая, неповрежденная кожа (около 100 кОм). Сопротивление влажной, загрязненной пылью и грязью кожи около 1 кОм, внутренних органов 300—500 Ом.

Сила тока 0,1 А и выше считается смертельно опасной. Наиболее опасно воздействие тока на жизненно важные органы человека — сердце, легкие, головной мозг. При этом может иметь место прямое воздействие тока на них или рефлекторное, когда орган не лежит на пути тока. В результате наступает остановка или фибрилляция (хаотическое сокращение) сердца с прекращением кровообращения. Непосредственное или рефлекторное воздействие тока на мышцы, участвующие в дыхании, может привести к прекращению дыхания.

В сухих местах при нормальной температуре безопасным (малым) напряжением является 36 В, в сырых местах и в металлических резервуарах — 12 В. Напряжение свыше 42 В считается опасным.

### 8.5.2. Мероприятия, обеспечивающие безопасность работ с электроустановками

Безопасность работ с электроустановками обеспечивается организационными и техническими мероприятиями.

К организационным мероприятиям относят комплекс мер, связанных с оформлением и соблюдением порядка допуска и окончания работ на электроустановках, а также с надзором за проведением работ. Осуществляет эти меры оперативный дежурный. Регламентируют их правила технической эксплуатации электроустановок потребителей ПТЭ и правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей ПТБ.

К техническим мерам относят: оборудование защитного заземления и обеспечение электрорезервными средствами.

### 8.5.3. Защитное заземление

Причиной поражения электрическим током может быть повреждение изоляции или образование между токоведущими частями и металлическим корпусом электроустановки токопроводящих мостиков из пыли и влаги. При этом металлический корпус оказывается под напряжением и может стать причиной поражения током человека (рис. 72, а). Ток, проходящий через тело человека,

$$I_{\text{ч}} = \frac{3U_{\text{ф}}}{R_{\text{ч}} + R},$$

где  $U_{\text{ф}}$  — фазное напряжение сети;  $R_{\text{ч}}$ ,  $R$  — сопротивление

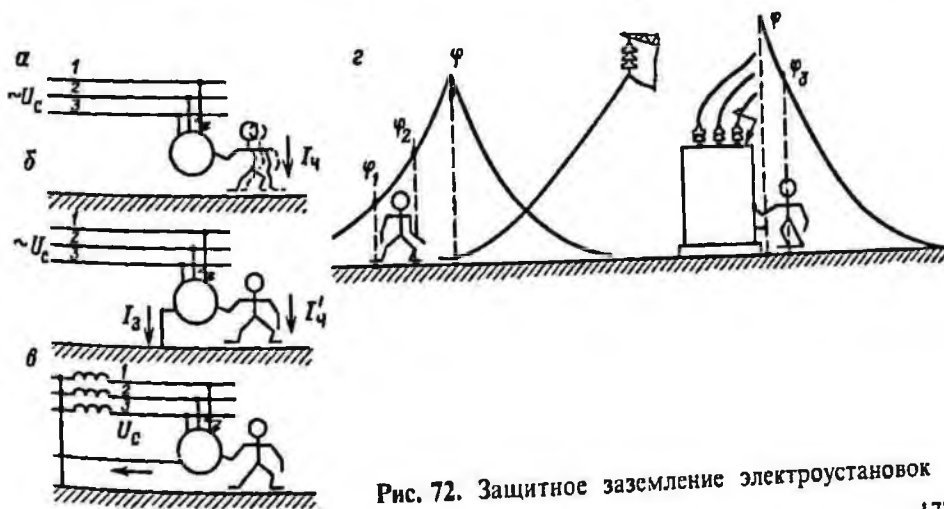


Рис. 72. Защитное заземление электроустановок

соответственно тела человека и первой фазы по отношению к земле.

Для обеспечения безопасности работы с электроустановками устраивают защитное заземление их металлических корпусов (рис. 72, б).

Ток замыкания на землю, протекающий через защитное заземление, имеющее сопротивление  $R_z$ ,  $I_z = \frac{3U_\phi}{R_z + R}$ . Тогда на корпусе электроустановки относительно земли будет иметь место напряжение:  $U_z = R_z I_z$  и через тело человека пройдет ток  $I'_q = U_z / R_q$ , при этом  $I'_q \ll I_q$ .

В сетях напряжением до 1000 В с глухозаземленной нейтралью применяют зануление — преднамеренное соединение металлических корпусов электроустановок с заземленной нейтралью трансформатора нулевым защитным проводником (рис. 72, в). Электрическое замыкание на землю приводит в этом случае к защитному отключению напряжения.

Защитное заземление осуществляют с помощью заземлителя и заземляющих проводников. Заземлители разделяют на естественные и искусственные. Естественные заземлители — это металлические конструкции, арматура железобетонных конструкций, стальные трубопроводы и оборудование, имеющие надежное соединение с землей. Не допускается использовать в качестве заземлителя алюминиевую оболочку кабелей, так как образующийся оксид алюминия имеет большое сопротивление. В качестве искусственных заземлителей применяют вертикально забитые в грунт стальные трубы, угловую сталь, металлические стержни, а также горизонтально проложенные в земле стальные полосы, круглую сталь и прочие проводники. Расположенные в земле заземлители не должны иметь окраску.

В качестве заземляющих проводников могут использоваться: нулевые проводники сети, металлические конструкции зданий и оборудования, проложенные открыто трубопроводы (кроме предназначенных для горючих и взрывоопасных смесей) и подобные им.

В установках напряжением до 1000 В сопротивление защитного заземления не должно превышать 4 Ом, в установках напряжением выше 1000 В — 10 Ом. Измерение сопротивления защитного заземления должно производиться не реже 1 раза в год.

При обрыве и падении на землю высоковольтного провода или замыкании на корпус высоковольтной обмотки трансформатора опасная ситуация может возникнуть несмотря на соединение их с землей (рис. 72, г). В месте соединения на поверхности земли возникает потенциал  $\varphi = I_z R_z$  ( $I_z$  — ток замыкания на землю;  $R_z$  — сопротивление растеканию тока в месте заземления). По мере удаления от этих мест потенциал поверхности земли уменьшается. Если к местам заземления приближается человек, то его ноги оказываются под действием

разности потенциалов  $U_{\text{шаг}} = \varphi_2 - \varphi_1$ , называемой напряжением шага. По мере приближения к месту заземления напряжение шага увеличивается.

При прикосновении к трансформатору человек попадает под напряжение прикосновения  $U_{\text{пр}} = \varphi - \varphi_3$ . Шаговое напряжение и напряжение прикосновения могут достигать опасных значений. В данном случае для обеспечения безопасности следует использовать защитные средства.

#### 8.5.4. Электрозащитные средства

Электрозащитные средства делят на основные и дополнительные. Основными защитными средствами допускается касаться токоведущих частей, находящихся под напряжением. К ним относят: изолирующие оперативные штанги, клещи, инструмент с изолированными рукоятками. Дополнительные защитные средства сами по себе не могут защитить от поражения током, а являются дополнительной мерой защиты к основным средствам. К ним относят: резиновые диэлектрические перчатки, боты, галоши, коврики, изолирующие подставки, предохранительные пояса, предупредительные плакаты и др.

#### 8.5.5. Оказание первой помощи при поражении электрическим током

Человека, попавшего под напряжение, необходимо возможно быстрее освободить от напряжения (выключить его или оттянуть человека за одежду).

Если пострадавший не потерял дыхания и пульса, то следует обеспечить доступ свежего воздуха, растегнуть ему одежду и предоставить покой. Пульс проверяют, приложив пальцы к левой стороне гортани (в районе сонной артерии).

Если пострадавший не дышит, то надо немедленно приступить к искусственному дыханию. Для этого необходимо выполнить следующее: положить пострадавшего на спину и встать с левой стороны; подвести под его затылок левую руку, а правой, надавливая на лоб, откинуть голову назад; освободить открывшийся рот от слизи платком; под лопатки положить валик из свернутой одежды; сделать два-три глубоких вдоха и вдуть воздух из своего рта в рот пострадавшего (можно через платок).

Частота вдувания: 10—12 раз в 1 мин.

При отсутствии пульса необходимо одновременно с искусственным дыханием проводить наружный массаж сердца. Массаж выполняется следующим образом: на нижнюю часть грудной клетки кладут разогнутую до отказа ладонь руки; поверх нее кладут другую руку; помогая корпусом, надавли-

вают на грудную клетку так, чтобы сместить ее на 3—5 см; быстро отнимают руки.

Частота надавливания должна быть 1 раз в 1 с. Если помощь оказывает один человек, то после двух-трех вдуваний в рот пострадавшего следует произвести четыре-шесть надавливаний на грудную клетку, затем снова два-три глубоких вдувания и четыре-шесть надавливаний на грудную клетку и т. д. до прибытия врача, а при невозможности его вызова до появления пульса и признаков самостоятельного дыхания.



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

---

1. *Бриллиантов В. В.* Электрооборудование углеобогатительных и брикетных фабрик. М., Недра, 1982.
2. *Основные направления развития техники и технологии обогащения полезных ископаемых.* Материалы Всесоюзного научно-технического совещания. Л., 1983.
3. *Донченко А. С., Донченко В. А.* Справочник механика рудообогатительной фабрики. М., Недра, 1986.
4. *Справочник по электроснабжению и электрооборудованию.* Под ред. Федорова А. А. Т. 1. Электроснабжение. М., Энергоатомиздат, 1986.
5. *Справочник по электроснабжению и электрооборудованию.* Под редакцией Федорова А. А. Т. 2. Электрооборудование. М., Энергоатомиздат, 1987.
6. *Чиликин М. Г., Сандлер А. С.* Общий курс электропривода. М., Энергоиздат, 1981.
7. *Сен П.* Тиристорные электроприводы постоянного тока. Перевод с английского. М., Энергоатомиздат, 1985.
8. *Ходнев В. В.* Комплектные управляющие устройства электропривода. М., Энергоатомиздат, 1984.
9. *Совершенствование процессов дробления, измельчения, грохочения и классификации руд и продуктов обогащения.* Междуведомственный сборник научных трудов. Л., Механобр, 1985.
10. *Родштейн Л. А.* Электрические аппараты. Л., Энергоиздат, 1981.
11. *Волотковский С. А., Емец В. И., Козлов В. К.* Типовой электропривод промышленных установок. Киев, Вища школа, 1983.
12. *Справочник по проектированию электроснабжения.* Под редакцией Круповича В. И., Барыбина Ю. Г., Самовера М. Л. М., Энергия, 1980.
13. *Разумов К. А., Перов В. А.* Проектирование обогатительных фабрик. М., Недра, 1982.
14. *Троп А. Е., Козин В. З., Прокофьев Е. В.* Автоматическое управление технологическими процессами обогатительных фабрик. М., Недра, 1986.
15. *Процупто В. С.* Автоматизированные системы управления технологическими процессами обогатительных фабрик. М., Недра, 1986.
16. *Корнилов Ю. В., Крюков В. И.* Обслуживание и ремонт электрооборудования промышленных предприятий. М., Высшая школа, 1986.
17. *Артемьев Б. Г., Голубев С. М.* Справочное пособие для работников метрологических служб. М., Изд-во стандартов, 1982.
18. *Правила устройства электроустановок.* М., Атомиздат, 1986.
19. *Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей и Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей.* М., Энергоатомиздат, 1986.

## ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

---

### А

- Аналитическое выражение механической характеристики двигателя постоянного тока с независимым возбуждением 10
- Асинхронный двигатель
  - — с фазным ротором 22
  - — с короткозамкнутым ротором 22
- Аппараты ручного управления 56
  - — — рубильники 56
  - — — пакетные выключатели 58
  - — — автоматические воздушные выключатели 58
  - — — контроллеры 59
  - — — барабанные 60
  - — — плоские 60
  - дистанционного и автоматического управления 60
    - — — — контакторы 60
    - — — — реле 62
    - — — — коммандоаппараты 63
    - — — — бесконтактные элементы 65
  - защиты 66
    - — реле тепловые 66
    - — — максимального тока 66
    - — — минимального напряжения 66
    - — — времени 67
    - — предохранитель 68
  - высокого напряжения 71
    - — — разъединители 71
    - — — высоковольтные выключатели 71
    - — — короткозамыкатели 72
    - — — отделители 72
    - — — выключатели нагрузки 72
    - — — измерительные трансформаторы тока и напряжения 72
    - — — шины 73
    - — — изоляторы 74
- Алгоритмы реализации функций централизованного контроля 156

### Б

- Бесконтактные элементы 56
- Безопасность работ с электроустановками 177
  - при эксплуатации электрооборудования 176

## В

- Выбор мощности двигателя
- — — по допустимому нагреву 35
- двигателя по условиям работы 40
- — по исполнению

## Г

Главные понизительные подстанции 115

## Д

- Допустимый нагрев электродвигателя 35
- Диспетчерское управление 154
- — экономические аспекты 166
- Датчик информации 157
- Диспетчерская связь 161

## З

- Защитное заземление 177
- Защита релейных линий 136
- — трансформаторов 137
- — электродвигателей 138

## И

Источники света 140

## К

- Категории потребителей 117
- Качество электроэнергии 118
- Коэффициент мощности 119
- — способы повышения на обогатительных фабриках 173
- Контрольно-измерительные приборы 159
- — щит 159, 160

## Л

### Линии электропередач 115

– воздушные 129

– кабельные 129

### Лампы накаливания 141

– низкого давления газоразрядные 141

– – – – питание 148

– высокого давления газоразрядные 142

– – – – питание 150

## М

### Механические характеристики электродвигателей 7

– – – естественная 8

– – – искусственная 8

– – абсолютно жесткая синхронных двигателей 8

– – жесткая со сравнительно небольшим падением частоты вращения 8

– – мягкая с большим падением частоты вращения 8

### Механические характеристики производственных машин 9

– – – – независящие от частоты вращения 9

– – – – с линейной зависимостью от частоты вращения 9

– – – – с обратно-пропорциональной зависимостью от частоты вращения 9

– – двигателя постоянного тока с последовательным возбуждением 13

– – – соответствующие режиму противозащелкивания 15

– – – соответствующие режиму динамического торможения 15

– – – постоянного тока со смешанным возбуждением 15

– – – асинхронного 16

– – – синхронного 18

### Момент на валу двигателя 7, 9

– – – – статический 33

– – – – динамический 34

### Мощность двигателя 35

– – выбор по допустимому нагреву 35, 38, 39

### Муфта

– глухая 42

– эластичная 42

– гидравлическая 42

– индукторная 43

### Метрологическое обеспечение 175

## Н

### Нагрузки электрические 119

– – средние 120

– – максимальные 121

– – пиковые 122

### Норма расхода электроэнергии 169, 170, 172

## О

- Освещение, виды и особенности на обогатительных фабриках 139
- управление 150
- Осветительные приборы 140
- – назначение и классификация 143
- установки 145
- – расчет 145
- – основные схемы питания 148
- – электроснабжение 151
- – управление 150
- Оперативный пункт 154, 159

## П

- Передачный механизм 6
- Пуск двигателей
- – постоянного и переменного тока 20
- – переменного тока последовательного возбуждения 21
- Преобразовательные агрегаты 52
- – электромагнитные 53
- – статические 54
- Принципы построения схем управления электропроводами 74
- Подстанции 122
- комплектные устройства 124
- автоматизация 128
- глубокого ввода 115
- трансформаторные 116, 122
- узловые распределительные 123
- распределительные 123
- Провода установочные 133

## Р

- Режимы торможения двигателя 12
- – – с отдачей энергии в сеть 12
- – – динамическое 12
- – – противовключением 13
- работы двигателей 37
- – – продолжительный 37
- – – кратковременный 38
- – – повторно-кратковременный 38
- Регулирование частоты вращения двигателя 24
- – – – комбинированное 27
- – – – изменением тока возбуждения 24
- сопротивления в цепи якоря 25
- подводимого к якору напряжения 26
- – – – реостатное 28

- - - - изменением питающего напряжения 29
- - - - переключением числа пар полюсов 29
- - - - изменением частоты питающего напряжения 30
- - - - каскадным включением асинхронных двигателей 31
- Режим работы электрооборудования 44
- Расчет мощности двигателя 38
  - - - при режиме работы продолжительном 38
  - - - - кратковременном 38
  - - - - повторно-кратковременном 39
- Реле 62
- Реостаты 69
- Распределительные линии 116
  - - радиальные 116
  - - магистральные 116
  - - комбинированные 116
- Расчет осветительных установок 145
  - нормы расхода электроэнергии 170
- Распределительные устройства 124
  - - комплектные 124
  - - - стационарные 126
  - - - выдвижные 126
  - щиты 126

## С

- Силовые полупроводниковые приборы 54
  - - - кремниевые диоды 54
  - - - тиристоры 55
- Система электроснабжения 114, 115
  - - внешняя 115
  - - внутренняя 115
- Сечение проводников сетей 133, 153
- Светотехнические величины 140
- Средства передачи информации 157

## Т

- Трансформаторы 49
  - с воздушным охлаждением 50
  - с масляным охлаждением 50
  - силовые 51
  - измерительные 51
  - сварочные 52
- Токопроводы 131
  - гибкие 132
  - жесткие 132
- Тариф на электроэнергию 174

## У

- Управление электродвигателями переменного тока 78
  - — — с ротором короткозамкнутым 78
  - фазным 81
  - — — синхронным 81
  - — — с использованием силовых полупроводниковых элементов 84
  - — постоянного тока 85
- Уравнение механической характеристики двигателя постоянного тока с независимым возбуждением 13
  - электромеханической характеристики двигателя постоянного тока с последовательным возбуждением 13
- Устройства измерения 157
  - обработки и индикации измерительной информации 157
- Управляющая вычислительная машина 161
- Управление поточным производством 163

## Ц

- Централизованный контроль 155
  - — основные функции и принципы построения 155
  - — пример на обогатительной фабрике 158
- Централизованное управление 161
  - — основные принципы 161
  - — пример на обогатительной фабрике 163

## Ш

- Шины 73
  - сборные 123
  - — секционированные 123
  - — несекционированные 123
- Шинопроводы 132, 153

# СОДЕРЖАНИЕ

Введение .....	3
<b>1. Основы теории электропривода .....</b>	<b>5</b>
1.1. Понятие об электроприводе .....	5
1.2. Назначение элементов электропривода .....	
1.3. Механические характеристики электродвигателей и производственных машин .....	7
1.4. Механические характеристики двигателя постоянного тока с независимым возбуждением .....	10
1.5. Механические характеристики двигателя постоянного тока с последовательным возбуждением .....	13
1.6. Механические характеристики двигателя постоянного тока со смешанным возбуждением .....	15
1.7. Механические характеристики асинхронных двигателей .....	16
1.8. Механические характеристики синхронных двигателей .....	18
1.9. Пуск двигателей .....	20
1.10. Регулирование частоты вращения .....	23
1.11. Регулирование частоты вращения двигателей постоянного тока .....	24
1.12. Регулирование частоты вращения двигателей переменного тока .....	27
1.13. Выбор электродвигателя .....	32
1.13.1. Определение статического и динамического моментов на валу двигателя .....	33
1.13.2. Выбор мощности двигателя по допустимому нагреву .....	35
1.13.3. Выбор двигателя по условиям работы .....	40
1.14. Передаточный механизм .....	42
<b>2. Электрические машины и аппараты, применяемые на обогатительных фабриках .....</b>	<b>44</b>
2.1. Особенности электрооборудования обогатительных фабрик .....	44
2.1.1. Категории помещений обогатительных фабрик .....	44
2.1.2. Режим работы электрооборудования .....	44
2.1.3. Виды электрооборудования, применяемого на обогатительных фабриках .....	45
2.2. Основные типы и особенности применяемых электродвигателей .....	46
2.2.1. Электродвигатели вращательного движения .....	46
2.2.2. Электровибрационные двигатели .....	48
2.3. Трансформаторы .....	49
2.3.1. Силовые трансформаторы .....	51
2.3.2. Измерительные трансформаторы .....	51
2.3.3. Сварочные трансформаторы .....	52
2.4. Преобразовательные устройства .....	52
2.5. Аппараты ручного управления .....	56
2.6. Аппараты дистанционного и автоматического управления .....	60
2.7. Аппараты защиты .....	66
2.8. Реостаты .....	69
2.9. Аппараты высокого напряжения .....	71
<b>3. Управление электроприводами механизмов обогатительных фабрик .....</b>	<b>74</b>
3.1. Общие принципы построения схем управления электроприводами на обогатительных фабриках .....	74
3.2. Управление асинхронными электродвигателями переменного тока .....	78
3.3. Управление синхронным электродвигателем .....	81
3.4. Управление электродвигателями переменного тока с использованием	



силовых полупроводниковых элементов .....	84
3.5. Управление электродвигателями постоянного тока .....	85
<b>4. Электропривод механизмов обогатительных фабрик .....</b>	<b>88</b>
4.1. Особенности электропривода механизмов дробления и грохочения ....	88
4.1.1. Электропривод щековых дробилок .....	88
4.1.2. Электропривод конусных дробилок .....	90
4.1.3. Электропривод валковых и молотковых дробилок .....	90
4.1.4. Электропривод обычных грохотов .....	91
4.1.5. Электропривод электровибрационных грохотов .....	92
4.2. Особенности электропривода машин для измельчения, классификации, концентрации и обогащения .....	93
4.2.1. Электропривод мельниц .....	93
4.2.2. Электропривод классификаторов .....	95
4.2.3. Электропривод машин для концентрации .....	96
4.2.4. Электропривод флотационных машин .....	96
4.2.5. Электропривод и электрооборудование электромагнитных сепараторов .....	97
4.3. Особенности электропривода машин для обезвоживания и обеспыливания .....	98
4.3.1. Электропривод сгустителей .....	98
4.3.2. Электропривод центрифуги .....	99
4.3.3. Электропривод вакуум-фильтров .....	99
4.3.4. Электропривод машин для обеспыливания .....	100
4.4. Особенности электропривода насосов и компрессоров .....	102
4.4.1. Электропривод насосов .....	102
4.4.2. Электропривод компрессоров и воздуходувок .....	103
4.5. Особенности электроприводов подъемных и транспортных механизмов .....	104
4.5.1. Электропривод подъемных механизмов .....	104
4.5.2. Электропривод транспортных механизмов .....	107
4.6. Особенности электропривода механизмов агломерационных и окомковательных фабрик .....	111
4.6.1. Электропривод механизмов агломерационных фабрик .....	111
4.6.2. Электропривод механизмов окомковательных фабрик .....	114
<b>5. Электроснабжение обогатительных фабрик .....</b>	<b>114</b>
5.1. Общие сведения и характерные схемы электроснабжения .....	114
5.2. Особенности электроснабжения обогатительных фабрик .....	117
5.2.1. Категории потребителей и качество электроэнергии .....	117
5.2.2. Учет электрических нагрузок в системе внутреннего электроснабжения .....	119
5.3. Подстанции .....	122
5.3.1. Назначение, типы и основные схемы подстанций .....	122
5.3.2. Комплектные устройства подстанций .....	124
5.4. Телемеханизация и автоматизация электроснабжения .....	126
5.4.1. Назначение и состав устройств телемеханизации .....	127
5.4.2. Автоматизация подстанций .....	128
5.5. Устройство распределительных электросетей на обогатительных фабриках .....	129
5.5.1. Способы выполнения электросетей .....	129
5.5.2. Основные положения по выбору сечений проводников сетей .....	133
5.6. Релейная защита электрических сетей обогатительных фабрик .....	135
5.6.1. Защита линий .....	136
5.6.2. Защита трансформаторов .....	137
5.6.3. Защита электродвигателей .....	138
<b>6. Освещение обогатительных фабрик .....</b>	<b>139</b>
6.1. Особенности освещения обогатительных фабрик .....	139

6.2. Основные светотехнические величины .....	140
6.3. Источники света и осветительные приборы .....	140
6.3.1. Типы и основные характеристики источников света .....	140
6.3.2. Назначение и классификация осветительных приборов .....	143
6.4. Расчет осветительных установок .....	145
6.5. Устройство осветительных сетей .....	148
6.5.1. Основные схемы питания осветительных установок .....	148
6.5.2. Управление освещением .....	150
6.5.3. Электроснабжение осветительных установок .....	151
<b>7. Диспетчерское управление на обогатительных фабриках .....</b>	<b>154</b>
7.1. Роль и значение диспетчерского управления .....	154
7.2. Централизованный контроль .....	155
7.2.1. Основные функции и принципы построения систем централизованного контроля за состоянием технологического потока и оборудования .....	155
7.2.2. Пример системы централизованного контроля обогатительной фабрики .....	158
7.3. Централизованное управление .....	161
7.3.1. Основные принципы централизованного управления механизмами обогатительной фабрики .....	161
7.3.2. Пример системы централизованного управления механизмами и процессами на обогатительной фабрике .....	163
7.4. Экономические аспекты диспетчерского управления на обогатительной фабрике .....	166
<b>8. Эксплуатация электрохозяйства обогатительных фабрик .....</b>	<b>167</b>
8.1. Организация эксплуатации электрохозяйства .....	167
8.2. Нормирование расхода электроэнергии .....	169
8.2.1. Расчет плановой общефабричной нормы расхода электроэнергии ....	170
8.2.2. Составление электробаланса предприятия .....	172
8.2.3. Способы повышения коэффициента мощности на обогатительных фабриках .....	173
8.3. Тарификация электроэнергии .....	174
8.3.1. Основная плата за электроэнергию .....	174
8.3.2. Скидки и надбавки к тарифу на электроэнергию .....	174
8.4. Основные положения метрологического обеспечения электрохозяйства .....	175
8.5. Техника безопасности при эксплуатации электрооборудования .....	176
8.5.1. Физиологическое действие электрического тока на организм человека .....	176
8.5.2. Мероприятия, обеспечивающие безопасность работ с электроустановками .....	177
8.5.3. Защитное заземление .....	177
8.5.4. Электрозащитные средства .....	179
8.5.5. Оказание первой помощи при поражении электрическим током .....	179
Список литературы .....	180
Предметный указатель .....	182

Сухоручкин А.П.

С 91 Электрооборудование обогатительных фабрик: Учеб. для техникумов. — М.: Недра, 1989. — 190 с.: ил.

ISBN 5-247-00772-7

Изложены основы электропривода, рассмотрены особенности электроприводов, электрических машин, а также аппаратов основных механизмов и устройств обогатительных фабрик, способы диспетчеризации, централизованного контроля за состоянием производственных процессов и централизованного управления механизмами фабрик. Уделено внимание организации электроснабжения и освещения, метрологическому обеспечению и эксплуатации электрохозяйства на обогатительных фабриках. Приведены сведения по технике безопасности при эксплуатации электрооборудования и первой помощи при поражении электрическим током.

Для учащихся горно-металлургических техникумов.

С 2501000000—373

С

043(01) — 89

28—89 св. план  
для сред. спец.  
уч. заведений

ББК 31.29 : 33.4

**УЧЕБНОЕ ИЗДАНИЕ**

**Сухоручкин Александр Павлович**

**ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ ФАБРИК**

Заведующий редакцией *Е.Г. Вороновская*  
Редактор издательства *Р.С. Яруллина*  
Технические редакторы *С.Г. Веселкина, Н.В. Жидкова*  
Корректор *Г.Л. Петушкова*

ИБ № 7468

---

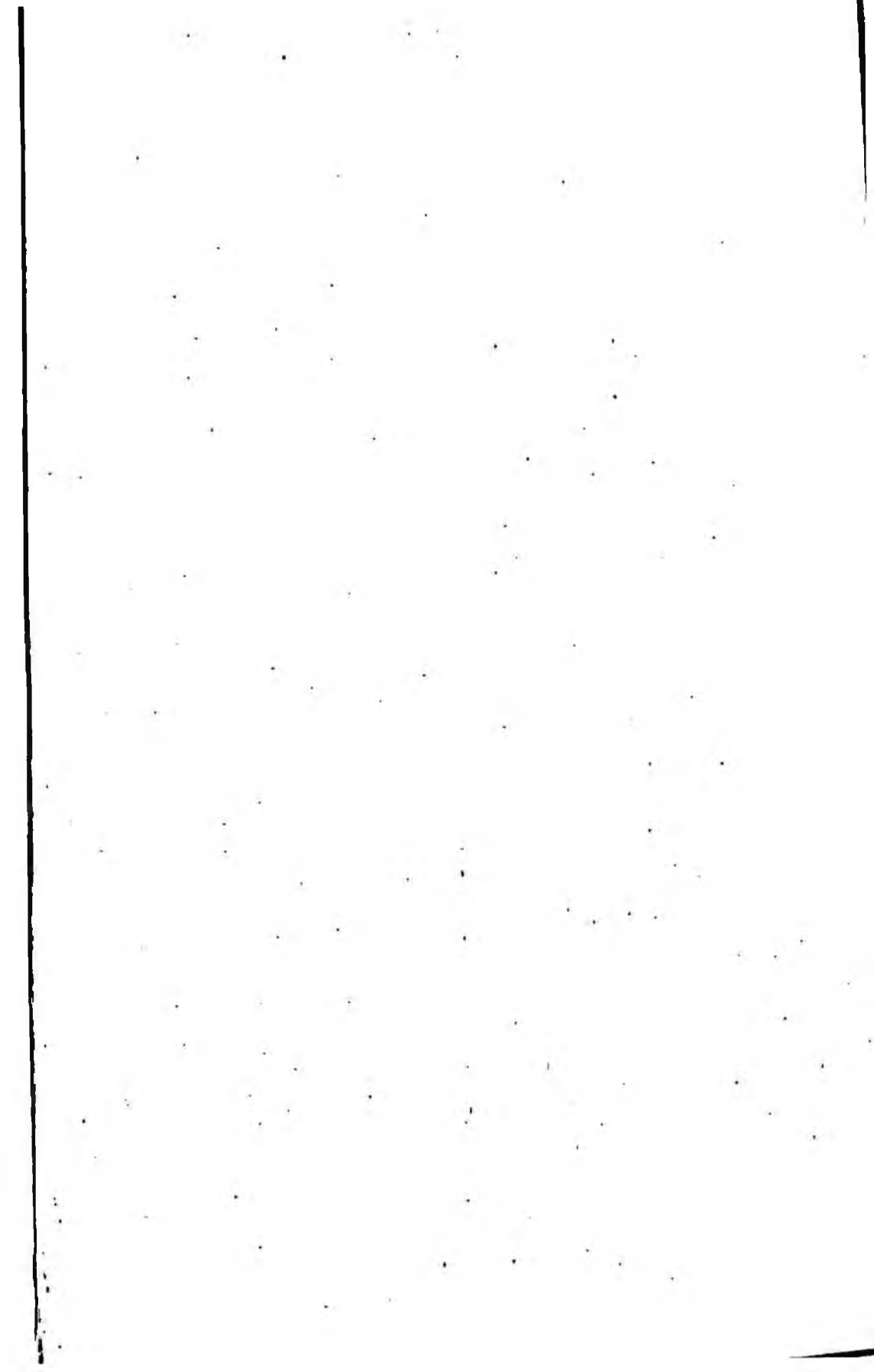
Сдано в набор 21.04.89. Подписано в печать 15.09.89. Т-08781. Формат 60x90<sup>1/16</sup>.  
Бумага офсетная № 1. Гарнитура Таймс. Печать офсетная. Усл. печ. л. 12,0.  
Усл. кр.-отт. 12,25. Уч.-изд. л. 12,95. Тираж 9200 экз. Заказ 567/1557-6.  
Цена 40 коп.

---

Ордена "Знак Почета" издательство "Недра". 125047, Москва, пл. Белорусского вокзала, 3

Набрано в ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени МПО "Первая Образцовая типография" Государственного комитета СССР по печати. 113054. Москва, Валовая, 28.

Московская типография № 6 Государственного комитета СССР по печати  
109088. Москва, Ж-88, Южнопортовая ул., 24.



40 коп.

НЕДРА