

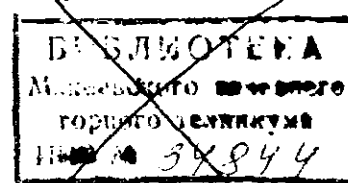
622: 621.3

Л. С. БОРОДИНО

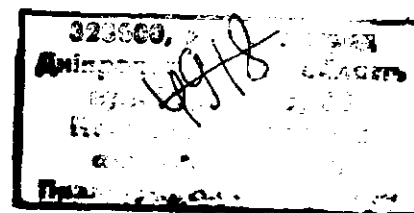
Б, 83

ГОРНАЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

Допущено Министерством угольной промышленности СССР
в качестве учебника для учащихся горных техникумов



111324



МОСКВА «НЕДРА» 1981

Бородин Л. С. Горная электротехника: Учебник для техникумов. — М.: Недра, 1981 — 304 с.

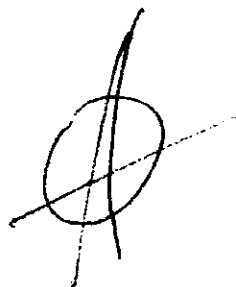
Приведены сведения о системах электроснабжения шахт; рассмотрены вопросы конструктивного исполнения, выбора и эксплуатации высоковольтного и низковольтного электрооборудования подземных и поверхностных электроустановок; даны основные расчеты по выбору параметров электродвигателей, трансформаторов, линий электропередач, пусковой и защитной рудничной аппаратуры; изложены вопросы расчетов и устройств освещения в подземных выработках; освещены технико-экономические показатели электропотребления на шахте и перспективы совершенствования электрооборудования и электроснабжения угольных шахт.

Книга предназначена для учащихся горных техникумов по специальностям 0203 «Подземная разработка угольных месторождений» и 0211 «Строительство горных предприятий».

Табл. 13, ил. 120, список лит. — 29 назв.

Рецензенты:

В. Г. Пащенко и А. А. Карасев (Краснолущский горный техникум),
В. В. Дегтярев (Минуглепром СССР).



30704—293
Б 043(01)—81 213—81

2501020000

© Издательство «Недра»
1981

ПРЕДИСЛОВИЕ

В соответствии с планами развития угольной промышленности непрерывно увеличивается количество машин, работающих непосредственно на добычных и подготовительных участках, конструкция их постоянно совершенствуется, улучшаются технико-экономические показатели. Эффективное использование машин возможно только при наличии у работников, обслуживающих машины, достаточных теоретических знаний и практических навыков.

Будущие горные техники — это непосредственные руководители первичных трудовых коллективов, организаторы эффективного использования машин и механизмов, поэтому их теоретическая и практическая подготовка по горной электротехнике должна быть на высоком уровне.

Учебник составлен в соответствии с программами курса «Горная электротехника» для средних специальных учебных заведений по специальностям 0203 «Подземная разработка угольных месторождений» и 0211 «Строительство горных предприятий».

Изложение материала в учебнике построено с учетом действующих учебных планов таким образом, что:

а) курс базируется на знаниях, полученных учащимися в процессе изучения предметов «Общая электротехника», «Электротехника и вычислительная техника» и «Техническая механика»;

б) своевременно изучаются вопросы безопасности в электроустановках для обеспечения безопасного выполнения учащимися лабораторно-практических работ и технологических практик на производстве.

Автор выражает искреннюю благодарность рецензентам В. В. Дегтяреву, В. Г. Пашенко и А. А. Карасеву за ценные замечания, сделанные при рецензировании рукописи.

Не считая книгу свободной от недостатков, автор с признательностью примет пожелания и замечания от лиц, которые будут пользоваться ею.

Раздел первый ЗАЩИТА ЛЮДЕЙ ОТ ПОРАЖЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ТОКОМ

Глава I

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ЗАЩИТЫ

1. 1. Факторы, определяющие действие электрического тока на организм человека

Широкое применение электрической энергии в подземных выработках, повышенная опасность механических повреждений изоляции элементов электроустройства, повышенная влажность рудничной атмосферы и ограниченность пространства ведут к увеличению вероятности непреднамеренного контакта человека с токоведущими частями. Прохождение тока через организм человека вызывает судорожные, произвольные сокращения мышц, парализует органы дыхания, нарушает ритм работы сердца, вызывает ожоги на теле, может привести к смерти.

Поражающее действие электрического тока на организм человека зависит от величины и длительности действия тока, сопротивления тела человека, величины напряжения прикосновения, рода и частоты тока, путей прохождения тока через организм.

На основании многочисленных наблюдений установлено, что длительный ток величиной в 30 мА является безопасным током, а ток в 0,1 А при длительности действия более 0,2 с — смертельным для человека. С увеличением времени протекания тока через человека безопасная величина его уменьшается.

Правила изготовления взрывозащищенного и рудничного электрооборудования (ПИБРЭ) в СССР предписывают как предельно безопасную величину длительного тока — 30 мА, а Правилами безопасности в угольных и сланцевых шахтах (ПБ) установлена предельная

допустимая длительность действия электрического тока на человека — 0,2 с.

Известно, что сила тока в электрической цепи определяется величиной сопротивления цепи и приложенным напряжением. В нашем случае величина сопротивления электрической цепи — это величина сопротивления тела человека. Она непостоянна, зависит от места контакта, размеров поверхности соприкосновения, состояния кожи, ее влажности, загрязненности, психо-физиологических особенностей человека.

Сопротивление тела человека зависит от величины приложенного напряжения. Так, при напряжении до 30 В сопротивление почти постоянно и равно нескольким десяткам, иногда сотням тысяч омов, а при напряжении около 250 В резко снижается до 1000—1200 Ом.

В подземных условиях, где рудничная атмосфера имеет повышенную влажность, запыленность, а человек склонен к потовыделению, минимальное сопротивление человека принимают равным 1000 Ом.

Исходя из безопасной величины тока $I_0 = 0,03$ А, нижней границы величины сопротивления тела человека $R_{\text{ч}} = 1000$ Ом и времени срабатывания аппаратуры сетевой защиты (не более 0,2 с), Правилами безопасности в угольных и сланцевых шахтах установлена безопасная величина напряжения прикосновения 40 В.

Наблюдениями установлено, что постоянный ток менее опасен, чем переменный ток. Переменный ток промышленной частоты представляет наибольшую опасность для человека. Повышение частоты тока до 2000—2500 Гц не снижает опасность, при дальнейшем увеличении частоты (до сотен тысяч герц) поражающие свойства электрического тока снижаются.

В зависимости от путей прохождения электрического тока через тело человека происходит поражение внутренних или внешних органов. Если ток достаточно большой величины проходит через жизненно важные органы (сердце, легкие, головной, спинной мозг и т. д.), возникает опасность смертельного поражения человека. При прохождении тока через внешние органы, как правило, действие тока вызывает только внешние поражения тела — ожоги разных степеней.

1. 2. Опасность поражения электрическим током в различных сетях электроснабжения

Для снабжения потребителей электрической энергией применяют сети с глухозаземленной и с изолированной нейтралью питающих трансформаторов или генераторов (рис. 1.1).

Глухозаземленной нейтралью называют нейтраль трансформатора или генератора, присоединенную к заземляющему устройству («к земле») непосредственно или через малое сопротивление. Сети с глухозаземленной нейтралью (рис. 1.1, б) дают возможность от одного и того же трансформатора (генератора) получать две величины напряжений $U_{\text{л}}$ и $U_{\text{ф}}$ при четырех проводах (три фазных и один нулевой). Обычно это сети трехфазного переменного тока на поверхности шахт напряжением 220/127 и 380/220 В, а также сети напряжением 110 кВ и выше.

Изолированной нейтралью называют нейтраль трансформатора или генератора, не присоединенную к заземляющему устройству или присоединенную через аппараты с большим сопротивлением (трансформаторы напряжения и др.). Сети с изолированной нейтралью (рис. 1.1, а) применяют там, где возникает повышенная опасность поражения человека током. Это сети напряжением 3, 6, 10, 20, 35 кВ и 220, 380, 660 и 1140 В.

На производстве возможны случаи прикосновения человека, стоящего на земле, к одному из проводов той или иной сети. Вероятность поражения человека в данном случае будет зависеть от системы электроснабжения.

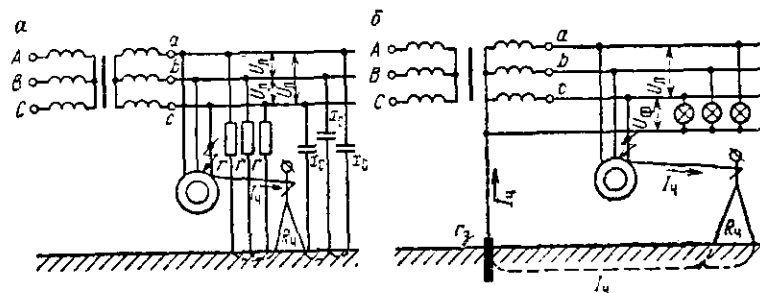


Рис. 1. 1. Схемы электрических сетей, питающих потребителей без заземления их корпусов:

а — с изолированной нейтралью; б — с глухозаземленной нейтралью

Для сетей с изолированной нейтралью, емкостью которых можно пренебречь (в случае, показанном на рис. 1.1, а), при фазном напряжении U_ϕ и сопротивлении тела человека R_q величина тока, проходящего через человека, будет определяться по формуле

$$I_q = \frac{3U_\phi}{3R_q + r}.$$

Так как величина сопротивления изоляции проводов относительно земли r обычно в сотни раз больше величины R_q , то величина тока I_q , который будет проходить через человека, зависит не столько от величины сопротивления человека R_q , сколько от величины r .

Таким образом, в системе электроснабжения с изолированной нейтралью вероятность поражения человека электрическим током при прикосновении его к одной из фаз в значительной степени зависит от качества изоляции других фаз относительно земли.

Для сетей с заземленной нейтралью (в случае, показанном на рис. 1.1, б) при тех же данных, что и для сети с изолированной нейтралью, величина тока, проходящего через человека, будет определяться по формуле

$$I_q = \frac{U_\phi}{R_q + r + z_{тр}}.$$

где r_a — сопротивление заземления нейтрали; $z_{тр}$ — сопротивление обмотки трансформатора.

Так как величины сопротивлений r_a и $z_{тр}$ по сравнению с сопротивлением R_q малы, ими можно пренебречь и тогда

$$I_q = \frac{U_\phi}{R_q}.$$

Промышленные сети имеют фазные напряжения не менее 127 В, поэтому величина тока I_q всегда будет опасной для жизни человека.

Таким образом, в системе электроснабжения с заземленной нейтралью прикосновение человека к обнаженному токоведущему проводу, безусловно, опасно для жизни человека.

В практике эксплуатации сетей возможен контакт между одним из фазных проводов сети и землей.

В сети с заземленной нейтралью (см. рис. 1.1, б) это вызовет фазное короткое замыкание. По замкнутой цепи: фаза a — земля — нуль трансформатора будет идти ток фазного короткого замыкания, значительно больший нормального тока, — аппаратура защиты сети от больших токов сработает и отключит сеть.

В системе электроснабжения с изолированной нейтралью прикосновение одной из фаз к земле при хорошей изоляции других фаз относительно земли может быть и не замечено, так как в цепи будет включено большое сопротивление изоляции фаз, не соприкасающихся с землей. По цепи (см. рис. 1.1, а): фаза a — земля — сопротивление изоляции других фаз — фаза b или c будет проходить небольшой ток $I_{ут}$ (ток утечки), значительно меньший нормального тока сети, — защита не срабатывает, сеть остается под напряжением. Если в это время человек коснется незаизолированной фазы b или c , напряжение прикосновения будет равно линейному напряжению сети U_Δ . В данном случае сеть с изолированной нейтралью с точки зрения возможности поражения человека электрическим током будет опаснее сети с заземленной нейтралью.

ПБ разрешают для электроснабжения потребителей применять в подземных выработках сети с изолированной нейтралью с обязательным контролем величины токов утечки, а на поверхности шахт — сети с заземленной нейтралью.

1.3. Общие меры и индивидуальные средства защиты от поражения электрическим током

В настоящее время применяются следующие меры предупреждения поражения электрическим током:

- 1) разъяснительная работа об опасности электрического тока и соблюдении правил безопасности при обслуживании электроустановок;
- 2) производство монтажных работ в строгом соответствии с правилами устройств электроустановок и правилами безопасности;
- 3) сооружение защитных ограждений для предотвращения случайного прикосновения к токоведущим частям установок;

4) использование знаков, предупреждающих об опасности;

5) размещение электрооборудования в защитных (закрытых) корпусах;

6) установка на защитных корпусах устройств (блокировок), которые препятствуют доступу к токоведущим деталям без снятия напряжения на них;

7) применение пониженного напряжения для питания установок, с которыми человек имеет частый контакт в процессе работы;

8) изоляция нетоковедущих частей электрических машин и механизмов, с которыми человек имеет постоянный контакт во время работы;

9) применение индивидуальных средств защиты.

Однако этих мероприятий недостаточно для обеспечения безопасности обслуживающего персонала, поэтому ПБ предусматривают специальные меры защиты человека от поражающего действия электрического тока.

Глава 2

СПЕЦИАЛЬНЫЕ МЕРЫ ЗАЩИТЫ ЧЕЛОВЕКА ОТ ПОРАЖЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ТОКОМ

2.1. Защита при прикосновении к корпусу электрооборудования, оказавшемуся под напряжением

При повреждении изоляции одного из проводов корпус машины может оказаться под напряжением.

В сетях с изолированной нейтралью при неисправности реле утечки такое повреждение изоляции может оставаться незамеченным. Если к корпусу, находящемуся под напряжением и изолированному от земли, прикоснется человек, имеющий контакт с землей (см. рис. 1.1, а), то через человека пройдет ток I_q (А), величина которого будет определяться по формуле

$$I_q = \frac{3U_\phi}{3R_q + z},$$

где U_ϕ — фазное напряжение сети, В; R_q — сопротивление тела человека, Ом; z — полное сопротивление изоляции каждой фазы сети относительно земли, Ом.

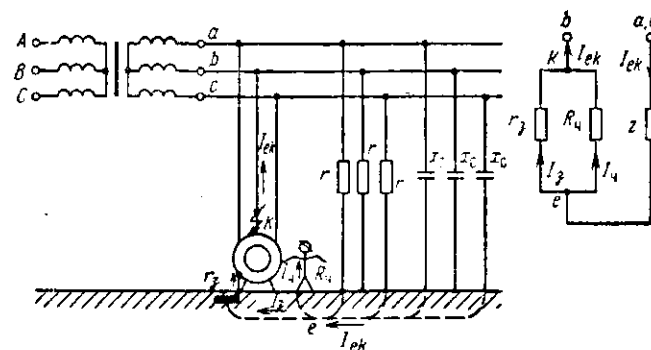


Рис. 2. 1. Схема распределения токов в электрической сети с изолированной нейтралью при пробое изоляции одной фазы на корпус

При значительной протяженности сети величина z может оказаться небольшой, а величина тока I_q — опасной для жизни человека.

В сетях с заземленной нейтралью опасность поражения человека электрическим током в данном случае еще больше, так как

$$I_q = \frac{U_\phi}{R_q}.$$

Таким образом, прикосновение к изолированному от земли металлическому корпусу, оказавшемуся под напряжением, опасно для жизни человека в обоих видах сетей электроснабжения.

Уменьшение тока I_q до безопасной величины можно обеспечить за счет создания параллельной электрической цепи со значительно меньшим сопротивлением, чем R_q . Это достигается путем постоянного электрического соединения корпусов электрооборудования с землей.

Преднамеренное электрическое соединение с землей корпусов электрооборудования, которые нормально не находятся под напряжением, но могут оказаться под напряжением при случайном соединении их с токоведущими элементами, называется защитным заземлением.

На рис. 2.1 показано распределение токов в системе электроснабжения с изолированной нейтралью при наличии защитного заземления сопротивлением r_z , пробое изоляции фазы b на корпус и прикосновении человека

с сопротивлением R_q к оболочке электрооборудования, оказавшейся под напряжением.

Так как R_q и r_3 включены параллельно, то общее сопротивление участка сети между точками e и k

$$R_{ek} = \frac{r_3 R_q}{R_q + r_3},$$

напряжение между точками e и k можно вычислять как $U_{ek} = I_{ek} R_{ek}$ или $U_{ek} = I_r R_r$.

Тогда

$$I_q R_q = I_{ek} \frac{r_3 R_q}{R_q + r_3},$$

откуда

$$I_q = I_{ek} \frac{r_3}{R_q + r_3}.$$

Следовательно, чем меньше величина сопротивления заземления r_3 , тем меньше величина тока I_q , проходящего через тело человека.

Заземление установок осуществляется с помощью специальных заземляющих устройств, состоящих из заземлителя и заземляющих проводников. *Заземлителем* называется металлический проводник или группа проводников, находящихся в непосредственном контакте с почвой (породой).

Заземляющими проводниками называются металлические (обычно стальные или медные) проводники, соединяющие заземляемые части электрической установки с заземлителем.

Для достижения возможно меньшего значения r_3 в подземных выработках шахт все заземляющие устройства соединяются параллельно путем непрерывного электрического соединения между собой всех металлических оболочек и заземляющих жил кабелей, независимо от величины напряжения и присоединения их ко всем заземлителям. Такое заземление образует общую заземляющую сеть.

2. 2. Устройство защитных заземлений на поверхности

В сетях с глухозаземленной нейтралью, которые применяются на поверхности шахт, замыкание любой фазы на корпус электрооборудования вызывает появление в

сети тока короткого замыкания. Такие токи являются аварийными, поэтому сети оборудуются устройствами, которые реагируют на большие токи и производят автоматическое отключение напряжения на поврежденном участке.

Для безопасности обслуживания электроустановок очень важно, чтобы отключение производилось надежно и за возможно малый промежуток времени. Поэтому правила устройства электроустановок (ПУЭ) устанавливают, что общее переходное сопротивление сети заземления для установок с напряжением до 1000 В на поверхности, измеренное у любого заземлителя, не должно превышать 4 Ом.

Для достижения такого переходного сопротивления в электроустановках напряжением до 1000 В с глухозаземленной нейтралью все корпуса электроустановок с помощью металлических проводников соединяются с нулевым проводом — *зануляются*. Помимо этого корпуса еще и заземляются. Применение в сети с глухозаземленной нейтралью зануления для одних электроприемников и обычного заземления для других правила безопасности запрещают.

Сечение проводников, с помощью которых осуществляется зануление, рассчитывается на механическую прочность и термическую устойчивость.

Заземление корпусов электроустановок может осуществляться путем присоединения их к естественным или искусственным заземлителям.

В качестве естественных заземлителей могут использоваться: проложенные в земле водопроводные трубы со сварными соединениями на стыках; обсадные трубы артезианских скважин; стальная броня, свинцовая оболочка силовых кабелей, проложенных в земле (при количестве кабелей не менее двух); металлические конструкции зданий и сооружений, имеющие надежное соединение с землей; рельсовые пути.

Запрещается использование в качестве естественных заземлителей трубопроводов, покрытых изоляцией для защиты от коррозии, и трубопроводов, используемых для транспортировки горючих, взрывчатых жидкостей и газов.

В качестве искусственных заземлителей обычно применяют вертикально заглубленные в землю обрезки

угловой стали, трубы длиной 2,5—3 м или пруты стали диаметром 12—14 мм и длиной до 5 м.

Для снижения расходов, связанных с оборудованием заземляющих устройств, рекомендуется использовать в первую очередь естественные заземлители. Величину сопротивления этих заземлителей определяют путем замеров. Если величина сопротивления их будет больше 4 Ом, тогда оборудуют дополнительные искусственные заземлители.

2. 3. Устройство защитных заземлений в подземных выработках

Для защиты человека от поражения электрическим током, в соответствии с требованиями ПБ, необходимо заземлять корпуса электродвигателей, электрических аппаратов, трансформаторов, каркасы распределительных устройств, кабельные муфты, т. е. все металлические части, которые нормально не находятся под напряжением, но могут оказаться под ним при повреждении изоляции токоведущих частей.

Для предотвращения накопления статического электричества заземлению подлежат металлические части рудничных устройств (металлические трубопроводы, тросы, для подвески гибких трубопроводов и т. д.).

Не заземляются: металлическое крепление, не токоведущие рельсы и броня отсасывающих кабелей контактной сети.

ПБ предписывают, чтобы общее переходное сопротивление заземляющей сети в подземных выработках, измеренное у любых заземлителей, было не больше 2 Ом.

Чтобы достичь такого значения сопротивления, необходимо применять заземлители с большей площадью соприкосновения, погружать их во влажную почву, для соединения заземлителей с корпусами использовать проводники с малым сопротивлением, обеспечивать параллельную работу всех заземлителей.

Шахтная заземляющая сеть состоит из главных (центральных), местных заземлителей, заземляющих проводников и проводов, обеспечивающих объединение всех заземлителей в единую сеть.

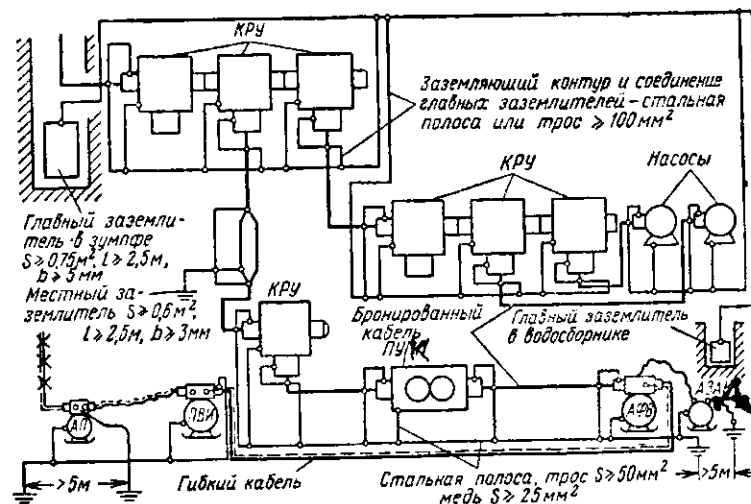


Рис. 2. 2. Схема общешахтной заземляющей сети

Конструкция заземлителей, размещение их, сечения заземляющих проводников, способы соединения корпусов электрооборудования с заземлителями нормируются ПБ.

Главные заземлители (в количестве не менее двух) устанавливают в зумпфе и водосборнике шахты (горизонта); изготовляют из стального листа толщиной не менее 5 мм, длиной не менее 2,5 м и площадью не менее 0,75 м². Их соединяют между собой шиной из стали сечением не менее 100 мм² или из меди сечением не менее 50 мм². К шине через надежный электрический контакт (обычно луженое болтовое соединение или сварка) подсоединяют корпуса ближайшего электрооборудования с соблюдением правил устройства заземляющих отводов к местному заземлению (рис. 2.2).

Местные заземлители для влажных выработок (при наличии водоотливных канавок) изготовляют из стального листа 1 (рис. 2.3, а) площадью не менее 0,6 м², длиной не менее 2,5 м, толщиной не менее 3 мм. Размещают его в углубленной водоотливной канавке и засыпают мелкой породой или песком. К заземлителю приваривают (или прикрепляют болтами с луженым контактом) заземляющий проводник 2 из стали сечением не менее 50 мм² или меди сечением не менее 25 мм².

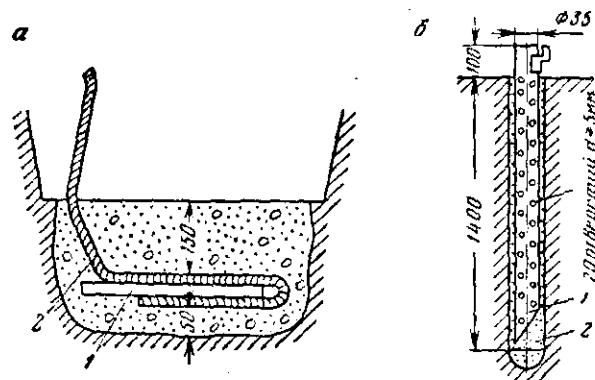


Рис. 2.3. Конструкция местных заземлений:

а — для влажных выработок; б — для сухих выработок

который и соединяет заземлитель с корпусами заземляемого оборудования.

Местный заземлитель для сухих выработок (рис. 2.3, б) изготовляют из трубы 1 диаметром 35 мм, длиной 1500 мм. Для лучшего контакта по периметру трубы просверливают не менее 20 отверстий диаметром не менее 5 мм. Трубу закладывают в шпур и засыпают песком 2, периодически увлажняя. К трубе через наружный электрический контакт (луженое болтовое соединение или сварка) подсоединяют заземляющий проводник из меди сечением не менее 25 мм² или из стали сечением не менее 50 мм².

Местные заземлители устраивают: во всех электромашиных камерах; у всех распределительных и трансформаторных подстанций; у каждого индивидуально установленного выключателя или распределительного устройства; у каждой кабельной муфты (для сети стационарного освещения местные заземления разрешается устраивать не для каждой муфты или светильника, а через каждые 100 м кабельной сети); у отдельно установленных машин.

При установке одного заземлителя на группу заземляемых объектов заземляющий проводник выполняют в виде шины, к которой при помощи отдельных ответвлений (из стали сечением не менее 50 мм² или из меди

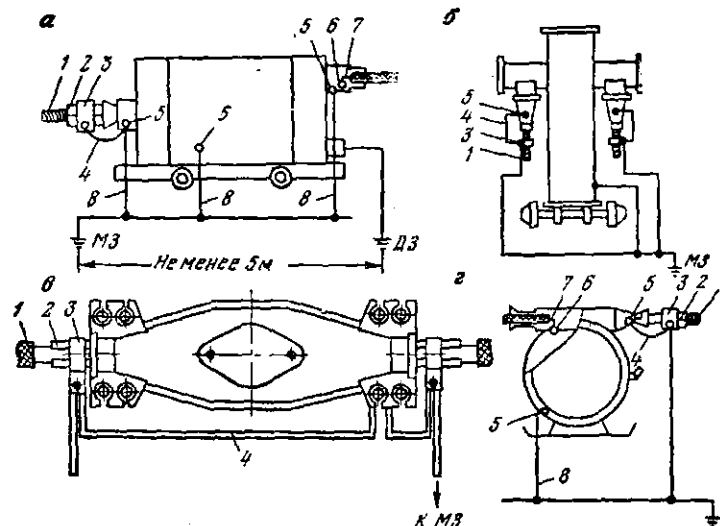


Рис. 2.4. Схемы подсоединений для осуществления заземления конкретных потребителей электрической энергии:

а — передвижной участковой понижающей подстанции; б — трансформатора; в — соединительной кабельной муфты; а — пускателя; 1 — бронированный кабель; 2 — свинцовая оболочка бронированного кабеля; 3 — жимок из стали; 4 — перемычки; 5 — заземляющие клеммы на корпусах потребителей; 6 — заземляющие клеммы внутри корпусов; 7 — заземляющая жила гибкого кабеля; 8 — заземляющие проводники; МЗ — местный заземлитель; ДЗ — дополнительный заземлитель

сечением не менее 25 мм²) присоединяют заземляемые объекты.

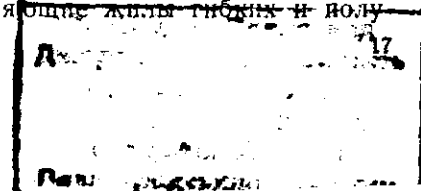
Последовательное присоединение заземляемых объектов к сборным заземляющим проводникам или заземлителям запрещается.

Заземление передвижных машин, которые получают электроэнергию через гибкие кабели, осуществляют посредством заземляющей жилы кабеля. Один конец заземляющей жилы подсоединяют к корпусу передвижной машины, другой — к корпусу пускателя.

ПБ устанавливают, что величина сопротивления заземляющей жилы должна быть не более 1 Ом.

В качестве проводников, связывающих местные и главные заземлители в единую параллельную сеть, используют стальную броню и свинцовую оболочку бронированных кабелей, заземляющие жилы гибких и жёстких

111324



гибких кабелей. Стальную броню и свинцовые оболочки отдельных отрезков бронированных кабелей соединяют с корпусами машин и заземляющих устройств при помощи стальных (сечением не менее 50 мм²) или медных (сечением не менее 25 мм²) перемычек; заземляющие жилы гибких и полугибких кабелей подсоединяют к заземляющим контактам внутри корпусов машин.

Схемы заземления конкретных потребителей электроэнергии даны на рис. 2.4.

На рис. 2.2 представлена схема шахтной заземляющей сети, на которой для упрощения и большей наглядности показаны лишь главные элементы.

Заземление отдельных аппаратов в распределительном пункте осуществляется двояко: присоединением их корпусов к местному заземлителю и соединением их корпусов друг с другом с помощью заземляющих жил гибких кабелей, соединяющих между собой отдельные аппараты. Через стальную броню, свинцовые оболочки бронированных кабелей и заземляющие жилы гибких кабелей осуществляется электрическая связь заземления РП штрека с заземлением участковой подстанции, с оболочкой кабеля 6 кВ, с главным заземлением в зумпфе и водосборнике.

2.4. Осмотр и измерение сопротивления защитных заземлений

Правила безопасности запрещают подачу напряжения на незаземленные электрические машины и аппараты, поэтому:

а) в начале каждой смены обслуживающий персонал обязан производить наружный осмотр всех заземляющих устройств, с проверкой целостности заземляющих проводников, затяжки гаек и болтов заземляющих устройств;

б) после каждого ремонта электрооборудования ремонтный персонал должен проверить исправность его заземления;

в) еженедельно заземление осматривает механик участка;

г) не реже одного раза в три месяца специальной бригадой электрослесарей производится наружный осмотр всей заземляющей сети шахты с обязательным измерением величины общего сопротивления у каждого

потребителя электрической энергии; результаты замеров записываются в «Книгу регистрации состояния электрооборудования и заземления»;

д) не реже одного раза в шесть месяцев подвергают тщательному осмотру, очистке и ремонту главные заземлители;

е) за исправностью заземлений передвижных машин осуществляется автоматический контроль с помощью применения в пускателях специальных устройств и схем управления.

Для измерения сопротивления заземляющей сети используют приборы в нормальном исполнении — МС-07 и МС-08 и приборы в искробезопасном исполнении — ИЗШ-59, М-1103, М-416/1.

Замеры производятся в соответствии с газовой обстановкой и заводской инструкцией к прибору.

В том случае, когда один местный заземлитель установлен на группу машин или аппаратов, измеряют сопротивление каждого аппарата, не отсоединяя его от местного заземлителя и заземляющей сети шахты.

2.5. Контроль качества изоляции и защита от утечек тока

Так как в схемах электроснабжения с изолированной нейтралью трансформатора величина сопротивления изоляции отдельных фаз относительно земли имеет определенное значение, между фазами сети и землей проходит небольшой ток, называемый током утечки.

Исследованиями установлено, что безопасная величина тока утечки равна 30 мА. Опасная величина тока утечки появляется в результате: повреждений изоляции электрооборудования, прикосновения человека к токоведущей части, находящейся под напряжением, постепенного или внезапного ухудшения качества изоляции кабелей.

При появлении значительных токов утечки возникает опасность поражения человека электрическим током, поэтому необходимо в схемах электроснабжения с изолированной нейтралью трансформатора предусматривать защиту от утечек тока. Она должна обеспечить: а) непрерывный контроль за величиной тока утечки и автоматическое отключение сети при возникновении тока

выпрямленного тока I_a , I_b , I_c магнитные потоки их уравнивались.

Автомат АФВ имеет выключатель А и отключающую катушку ОК. Он ставится на линии, которая подает напряжение к потребителям, может включаться и отключаться вручную или с помощью катушки ОК, цепь питания которой замыкает реле Р (контакт Р-1).

Работу реле целесообразно рассмотреть в нескольких конкретных условиях.

1-е условие. Включены АФВ и РБ, емкость сети ничтожно мала, величины x_c и r равны бесконечности, $I_0 = 0$, $I_{ут} = 0$.

Так как реле УАКИ получает питание, лампа Л загорается, сигнализируя о наличии напряжения на реле и освещая омметр. Между нулевой точкой звезды 0_1 делителя напряжения и общей точкой 0_2 выпрямителя Д1 существует напряжение, поэтому по цепи: $0_1 - R4 - P$ (катушка II) — $R5 - 0_2$ пройдет ток I_b , а по цепи: $0_1 - Д2 - P$ (катушка I) — 0_2 пройдет ток I_a .

Магнитные потоки катушек I и II реле Р уравниваются друг друга, реле Р не срабатывает, напряжение от автомата А поступает к потребителю П.

2-е условие. Включены АФВ и РБ, сопротивления x_c и r имеют конкретное значение, сосредоточенной утечки нет ($I_{ут} = \infty$).

Помимо токов, которые проходили в аппарате при 1-ом условии, возникает выпрямленный ток I_0 по цепи: фазы $a, b, c - x_c$ и $r - z - \Omega - P - Д1 - R2$ — фазы a, b, c . В реле Р появляется результирующий магнитный поток.

При определенном значении распределенного тока утечки I_0 (т. е. при определенном значении величин сопротивлений x_c и r) результирующий магнитный поток станет достаточным для срабатывания реле Р, и оно сработает. При этом: контакт Р-2 замкнется и зашунтирует катушку II, результирующий магнитный поток возрастет (так как ток I_b не будет проходить через обмотку II, реле Р будет надежно удерживаться во включенном положении); контакт Р-1 замкнет цепь катушки ОК (фаза $a - P-1 - ОК -$ фаза c) и автомат А отключится — потребители потеряют питание.

Аналогично будет работать реле УАКИ при появле-

нии значительной сосредоточенной утечки $I_{ут}$ или одновременной значительной сосредоточенной и равномерной утечке в сети.

Омметр во всех случаях будет показывать величину сопротивления изоляции контролируемой линии.

Учитывая, что при параллельном подсоединении реле их чувствительность уменьшается, в защищаемой сети ставят всегда одно реле утечки.

Место установки реле выбирают таким образом, чтобы обеспечить контроль за утечками на всей линии электропитания.

ПБ предписывают проверку исправности реле утечки в начале каждой смены. Это делают нажатием кнопки КП. При нажатии на кнопку создается искусственная утечка через дополнительное заземление ДЗ, исправное реле срабатывает и отключает АФВ. Если реле не срабатывает при двухкратном нажатии кнопки КП, оно неисправно.

Правила безопасности запрещают включение электрической сети при неисправном реле утечки.

2.7. Первая помощь пострадавшим от электрического тока

Спасение жизни пострадавшего от электрического тока в большинстве случаев зависит от быстроты освобождения его от действия тока и правильности оказания пострадавшему первой помощи.

Первым действием оказывающего помощь должно быть быстрое отключение той части установки, которой касается пострадавший. Если отключение установки не может быть произведено достаточно быстро, необходимо принять меры к отделению пострадавшего от токоведущих частей.

Для отделения пострадавшего от токоведущих частей или провода, находящихся под напряжением до 1000 В, следует воспользоваться сухой одеждой, канатом, палкой или каким-либо сухим предметом, не проводящим электрический ток.

Для отделения пострадавшего от земли или токоведущих частей, находящихся под напряжением выше 1000 В, следует надеть диэлектрические перчатки и

боты, действовать штангой или клещами, рассчитанными на напряжение данной установки.

На линиях электропередачи, когда освободить пострадавшего от тока одним из указанных выше способов достаточно быстро и безопасно невозможно, необходимо прибегнуть к короткому замыканию всех проводов линии.

Меры первой помощи зависят от состояния, в котором находится пострадавший после освобождения его от электрического тока.

При отсутствии у пострадавшего признаков жизни (дыхания и пульса) нельзя считать его мертвым, так как смерть часто бывает лишь кажущейся. В таком состоянии пострадавший, если ему не будет оказана немедленная помощь в виде искусственного дыхания и наружного (непрямого) массажа сердца, действительно умрет.

Искусственное дыхание следует производить непрерывно, как до, так и после прибытия врача. Вопрос о целесообразности дальнейшего проведения искусственного дыхания решает врач.

Раздел второй

ПОТРЕБИТЕЛИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ПОВЕРХНОСТИ И В ШАХТЕ

Глава 3

ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ И КОНСТРУКТИВНОГО ИСПОЛНЕНИЯ РУДНИЧНОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

3.1. Условия эксплуатации электрооборудования на поверхности шахт

Производственные помещения шахты располагаются на промплощадке, многие из них имеют прямую или косвенную связь со стволами, через которые осуществляется вентиляция шахты, выдача породы и угля, по некоторым производится транспортировка угля и породы и т. д. Естественно, что климатические условия в производственных помещениях характеризуются высоким содержанием пожаро- и взрывоопасной угольной пыли; присутствием в разных концентрациях газов, способных образовывать с воздухом взрывоопасные смеси. Поэтому многие здания и сооружения на поверхности шахт относятся к пожароопасным или взрывоопасным.

Пожароопасными помещениями называются помещения или наружные установки, в которых применяются или хранятся горючие вещества.

Электрооборудование, применяемое в этих помещениях, должно быть пыленепроницаемым, защищенным от попадания в него посторонних предметов, иметь высокого качества контактные соединения, автоматически отключаться при длительных и кратковременных перегрузках, в процессе работы не образовывать открытых искр или электрических дуг.

Взрывоопасными помещениями называются такие, где, по условиям технологического процесса, могут образовываться взрывоопасные смеси горючих газов, паров,

пыли (во взвешенном состоянии) с воздухом, кислородом или другими окислителями.

Смеси различных веществ по степени взрываемости резко отличаются друг от друга температурой самовоспламенения и способностью передавать взрыв из одной камеры в другую через зазоры между фланцами.

По температуре самовоспламенения взрывоопасные смеси в СССР разбиты на 5 групп:

Группа взрывоопасной смеси	Температура самовоспламенения, К
T1	Свыше 723
T2	573—723
T3	473—573
T4	408—473
T5	373—408

По способности передачи взрыва через зазоры между фланцами смеси подразделяются на 4 группы (табл. 3.1).

Таблица 3.1

Категория взрывоопасной смеси	Величина зазора между поверхностями фланцев шириной 25 мм, при которой частота передачи взрывов составляет 50% общего числа взрывов при объеме оболочки 2,5 л, мм
1	Более 1,0
2	0,65—1,0
3	0,35—0,65
4	Менее 0,35

При разработке угольных месторождений в больших количествах выделяется метан, который, смешиваясь с воздухом, образует взрывоопасную метано-воздушную смесь. *Метано-воздушная смесь взрывоопасна при содержании метана 4,9—15,5%; максимальной силы взрыв происходит при содержании метана в смеси, равном 9,8%. Эта смесь отнесена по взрывоопасности к 1 категории, группе T1.*

Так как основными причинами возникновения взрывов смесей горючих газов, пыли с воздухом являются электрические искры или высокие температуры отдельных частей электрооборудования, то во взрывоопасных

помещениях устанавливают электрооборудование, обеспечивающее невоспламенение взрывоопасной атмосферы от электрических искр, дуг, пламени и нагретых частей. Такое электрооборудование называется *взрывозащитным (взрывобезопасным)*.

3.2. Особенности эксплуатации и конструктивного исполнения рудничного электрооборудования

Специфическими условиями, усложняющими эксплуатацию электрооборудования в подземных выработках, являются: повышенная относительная влажность рудничной атмосферы и содержание пыли, наличие агрессивных вод, отсутствие дневного света, стесненность рабочего пространства, повышенная опасность механических повреждений, возможность образования взрывоопасных смесей, постоянное перемещение фронта работ, повышенная опасность поражения человека электрическим током и т. п.

Учитывая вышеперечисленные особенности эксплуатации, к рудничному электрооборудованию предъявляют следующие требования: малые габаритные размеры при значительных удельных мощностях; пыленепроницаемость; защищенность от воздействия внешней среды (от капежа, брызг и т. д.); прочность и антикоррозийность корпусов; наличие местного освещения; наличие удобных устройств для быстрого, надежного присоединения токоведущих жил кабелей, заземляющих устройств; применение масло- и влагостойкой изоляции; наличие защит от токов короткого замыкания, токов утечек, потери управления; применение в цепях управления напряжения не более 40 В; наличие блокировок от нечаянного включения электрооборудования при открытых крышках и соприкосновения с токоведущими элементами; взрывобезопасность электрооборудования (в определенных рудничных условиях); ограничение температуры нагрева наружных частей оборудования до 473 К и др.

3.3. Виды исполнения электрооборудования

Для обеспечения безопасности необходимо, чтобы электрооборудование соответствовало условиям окружающей среды. На шахтах применяется электрооборудо-

вание двух основных групп: общего назначения и рудничное.

В зависимости от степени надежности средств и мер, обеспечивающих взрывозащиту, установлены следующие уровни взрывозащиты рудничного электрооборудования:

РН — рудничное нормальное электрооборудование, не имеющее средств защиты;

РП — электрооборудование повышенной надежности против взрыва;

РВ — взрывоопасное электрооборудование, в котором предусмотрены меры защиты от взрыва окружающей среды при нормальной работе и при вероятных повреждениях его;

РО — взрывобезопасное при любых повреждениях, в котором предусмотрены меры защиты от взрыва окружающей среды при нормальной работе и при любых количествах повреждений его (исключая повреждения защитных элементов).

Один и тот же уровень взрывозащиты можно достичь применением различных мер или конструктивных решений. Поэтому, помимо уровня взрывозащиты, введено еще разделение электрооборудования по видам взрывозащиты.

Наиболее распространенными видами взрывозащиты являются: а) взрывонепроницаемая оболочка — В; б) кварцевое заполнение оболочки — К; в) искробезопасность электрооборудования при любых режимах работы и любых повреждениях — И; г) продувание оболочки, где размещено электрооборудование, чистым воздухом или инертным газом с автоматическим устройством, отключающим напряжение при отсутствии продувки, — П; д) размещение токоведущих частей в оболочке, заполненной инертным газом под избыточным давлением, с автоматическим контролем наличия давления — А.

При создании взрывобезопасного оборудования для угольной промышленности широко используют виды защиты, указанные в пунктах «а», «б» и «в».

В соответствии с ПИВРЭ серийно выпускаемое электрооборудование должно иметь определенную маркировку исполнения с указанием уровня и вида взрывозащиты.

Условные знаки взрывозащищенности должны быть

укреплены на основных частях оборудования. Знаки должны быть рельефными (отлиты, выштампованы, приварены, приклепаны). Для малых объемов (0,5 л и меньше) допускаются знаки, изготовленные фотохимическим способом.

Знаки уровня взрывозащиты выполняются в прямоугольнике — [РН], [РП], [РВ], [РО], а знаки вида взрывозащиты — в кружке (В), (К), (И) и т. д.

Так как на шахтах применяют в основном электрооборудование в рудничном исполнении, рассмотрим его подробно.

3.4. Электрооборудование в рудничном нормальном исполнении (РН)

Электрооборудование в исполнении РН не имеет взрывозащиты. Применяется: во всех выработках шахт, не опасных по газу или пыли; в стволах или околовствольных выработках со свежей струей воздуха; в камерах стационарных установок, проветриваемых за счет общешахтной депрессии шахт, опасных по газу или пыли (исключая шахты, опасные по выбросам, и выработки с суфлярным выделением газа); в откаточных выработках со свежей струей воздуха шахт 1-й и 2-й категории по газу или опасных по пыли (исключая выработки с суфлярным выделением метана) с разрешения технического директора производственного объединения (главного инженера комбината, треста).

Оборудование в исполнении РН должно соответствовать следующим требованиям:

1) электродвигатели мощностью до 100 кВт и пусковая аппаратура должны иметь закрытое исполнение, электродвигатели мощностью свыше 100 кВт — защищенное от механических повреждений и капежа;

2) изоляция электрооборудования должна быть влагонепроницаемой;

3) оболочки должны изготавливаться из вязкого, прочного материала;

4) для ввода и вывода кабелей необходимо предусматривать кабельные муфты, обеспечивающие такое закрепление кабеля, которое исключало бы передачу растягивающих усилий на токоведущие жилы;

5) нагрев элементов оборудования не должен быть выше 473 К;

6) устройство для заземления необходимо располагать снаружи (оцинкованный болт диаметром 10—12 мм) и внутри электрооборудования (латунный болт диаметром 6 мм);

7) аппаратура управления должна иметь блокировочные устройства, препятствующие открыванию крышек токоведущих частей без предварительного снятия напряжения с них, а также подачу напряжения на открытые токоведущие части;

8) в цепях управления величина напряжения не должна быть выше 40 В;

9) для ручных электроинструментов величина рабочего напряжения должна быть не более 127 В и др.

3.5. Электрооборудование в рудничном исполнении повышенной надежности против взрыва (РП)

Электрооборудование в исполнении РП — это электрооборудование, в котором исключается возможность возникновения искр, электрических дуг, опасных температур в тех местах, где они не должны быть при нормальных и пусковых режимах работы, а нормально искрящие части имеют взрывобезопасное исполнение.

Применяется: в откаточных выработках со свежей струей воздуха шахт I, II, III категорий по газу и сверхкатегорных или опасных по пыли (исключая выработки с суфлярным выделением метана); в зарядных камерах с обособленным проветриванием в шахтах, опасных по газу или пыли, в том числе опасных по внезапным выбросам.

Конструкция электрооборудования должна отвечать всем требованиям рудничного нормального исполнения и следующим дополнительным требованиям:

1) все токоведущие части электрооборудования защищаются от случайных внешних прикосновений;

2) присоединительные зажимы выполняются с устройствами против самооткручивания, размещаются в пыленепроницаемой оболочке;

3) максимальная температура изолированных обмоток не должна быть выше 463 К;

4) все нормально искрящие части должны обеспечиваться одним из видов взрывозащиты.

3.6. Рудничное электрооборудование во взрывобезопасном исполнении (РВ) и во взрывобезопасном исполнении при любых повреждениях (РО)

Взрывобезопасное электрооборудование исполнения РВ — это электрооборудование, которое обеспечивает невоспламенение взрывоопасной окружающей среды от электрических искр, дуг, пламени и нагретых частей оборудования при нормальной работе и вероятных повреждениях его.

Применяется: в подземных выработках шахт, опасных по газу или пыли; в стволах с исходящей струей воздуха этих шахт, надшахтных помещениях шахт, опасных по газу или пыли всех категорий; в стволах со свежей струей воздуха и примыкающих к ним зданиях шахт, опасных по внезапным выбросам угля, породы и газа.

Конструкция электрооборудования должна отвечать всем требованиям рудничного нормального исполнения, а все токоведущие части должны обеспечиваться одним из видов взрывозащиты. Наиболее широко распространенным видом взрывозащиты является размещение токоведущих частей во взрывобезопасной оболочке.

Взрывобезопасной называется оболочка, обладающая свойствами взрывоустойчивости и взрывонепроницаемости.

Взрывоустойчивость — это свойство оболочки выдерживать взрыв метано-воздушной смеси внутри нее без повреждений и остаточных деформаций. Взрывоустойчивость обеспечивается механической прочностью корпуса. Известно, что сила взрыва смеси зависит от процентного содержания метана в смеси и объема пространства, где происходит взрыв, поэтому, согласно ПИВРЭ, расчет на механическую прочность ведут на разные избыточные давления для разных объемов оболочек (см. табл. 3.2).

Взрывонепроницаемость — это свойство оболочки обеспечивать невозможность передачи взрыва изнутри оболочки в окружающую взрывоопасную среду.

Взрывонепроницаемость обеспечивается определенными геометрическими размерами щелей между соприкасающимися поверхностями оболочки — щелевой защиты (рис. 3.1).

ПИБРЭ регламентирует безопасные величины длины щели L_1 и высоты щели S_1 в зависимости от объема оболочки, категории взрывчатой смеси, мощности короткого замыкания. Поэтому оболочки рудничного электрооборудования в исполнении РВ разбиты на четыре класса с учетом возможной мощности короткого замыкания:

класс 1В — электрооборудование с $U < 65$ В и $I_k < 100$ А
 класс 2В — электрооборудование с $U < 127$ В и $I_k < 450$ А
 класс 3В — электрооборудование с $U < 660$ В и $I_k < 15\,000$ А
 класс 4В — электрооборудование с $U < 6000$ В и $I_k < 10\,000$ А

В табл. 3.2 приведены величины L_1 и S_1 для неподвижных плоских сопряжений и подвижных цилиндрических сопряжений типа «тяга управления — втулка», а также расчетные величины давлений для метано-воздушной смеси, оболочек различных классов и некоторых наиболее широко распространенных объемов.

Таблица 3.2

Обозначение оболочки	Величина (U , В ($<$ или $=$))	Величина тока I_k , А ($<$ или $=$))	Свободный объем оболочки, л	Размер взрывозащитного зазора		Величина расчетных давлений, МПа
				длина щели L_1 , мм ($>$ или $=$))	ширина щели S_1 , мм ($<$ или $=$))	
1В	65	100	0,5—2	13	0,4	0,7
			2	25	0,5	0,8
2В	127	450	0,5—2	15	0,2 (плоск.)	0,7
			2	25	0,3 (цилиндр.)	0,8
3В	660	15 000	0,5—2	15	0,1 (плоск.) 0,2 (цилиндр.)	0,8
			2—10	25	0,15 (плоск.) 0,25 (цилиндр.)	0,8
			10	25	0,2 (плоск.) 0,3 (цилиндр.)	0,9
4В	6000	10 000	10	40	0,15 (плоск.) 0,2 (цилиндр.)	1,0

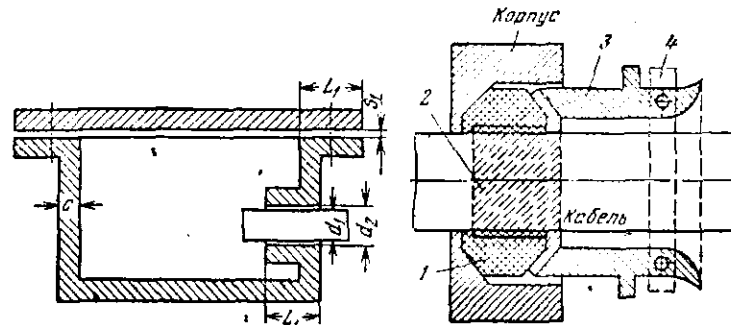


Рис. 3.1. Взрывозащитные щели отверстий в кабельных муфтах оболочки

Рис. 3.2. Способы герметизации отверстий в кабельных муфтах взрывобезопасного оборудования

Соприкасающиеся (взрывозащитные) поверхности, образуя нормированные щели, при взрыве внутри оболочки способствуют быстрому охлаждению продуктов взрыва в момент прохождения их через щель до температуры, которая уже не может поджечь взрывоопасную смесь окружающей среды.

Особое внимание во взрывонепроницаемой оболочке следует обратить на герметизацию отверстий для ввода кабелей (рис. 3.2). При отсутствии кабеля отверстие закрывается резиновым кольцом 1 и заглушкой 2 (сталь, прочная пластмасса), которые распираются в отверстии и удерживаются от выброса при взрыве специальной муфтой 3.

В случае ввода кабеля он занимает место заглушки, а удерживается при взрыве или от выдергивания зажимной планкой 4.

Взрывозащитные поверхности обрабатываются с высокой чистотой, так как допустимая высота щели между ними исчисляется десятыми долями миллиметра.

В соответствии с правилами технической эксплуатации (ПТЭ) запрещается покраска поверхностей, устройство между ними любых прокладок, эксплуатация их с забоями, вмятинами и другими механическими повреждениями.

Отсутствие одного или нескольких болтов, плохая затяжка болтов на крышках, обеспечивающих взрывобезопасность камер, приводят к нарушению взрывонепроницаемости камеры.

Электрооборудование взрывобезопасное при любых повреждениях (РО) выполняется так, чтобы искры, возникающие при нормальной работе и любых возможных повреждениях, не могли воспламенить взрывоопасную метано-воздушную смесь. Электрооборудование с таким уровнем взрывозащиты может применяться в шахтах любой категории по газу или пыли без ограничений. К сожалению, электрооборудование в исполнении РО может быть только весьма ограниченной мощности, поэтому в таком исполнении выполняется только аппаратура связи, сигнализации, дистанционного управления, автоматизации и телеконтроля. Высокий уровень взрывозащиты достигается здесь за счет ограничения величины токов и напряжений до искробезопасных величин (напряжение — от 10 до 250 В, ток — не выше 13—16 мА при индуктивности электрической цепи не более 2 Гн).

При невозможности выполнения всех частей данного электрооборудования в исполнении РО отдельные его части могут быть заключены во взрывобезопасную оболочку. Уровень взрывозащиты такого оборудования будет определяться по низшему уровню взрывозащиты отдельных элементов. Например, на пускателе стоит обозначение уровня [РВ] — это значит: уровень взрывоза-

(ЗВ) (И)

щиты пускателя — РВ, вид взрывозащиты — взрывонепроницаемая оболочка, выполненная по нормам для класса оборудования ЗВ, цепи управления искробезопасные.

3. 7. Испытание электрооборудования для определения его уровня взрывозащиты

Заводы — изготовители рудничного оборудования проектируют и изготавливают электрооборудование с учетом всех положений и требований ПИВРЭ. Окончательное определение уровня взрывозащиты данного электрооборудования производится Государственными институтами по проектированию и исследованию взрывобезопасного электрооборудования МакНИИ и ВостНИИ после проведения необходимых испытаний.

ПИВРЭ устанавливает следующий порядок получения свидетельства об уровне взрывозащиты: а) согласование и утверждение чертежей в МакНИИ или ВостНИИ;

б) изготовление опытно-промышленной партии; в) испытание в МакНИИ или ВостНИИ одного из образцов опытно-промышленной партии; г) окончательное утверждение или корректировка технического проекта испытуемого электрооборудования; д) выдача свидетельства об уровне взрывозащиты.

Для электрооборудования с уровнем взрывозащиты РВ установлен следующий перечень испытаний, которые, как правило, проводятся на территории МакНИИ или ВостНИИ: а) контрольный осмотр с целью уточнения соответствия образца требованиям ПИВРЭ; б) гидравлическое испытание частей оболочки для определения степени механической прочности частей и соответствия материала оболочки требованиям ПИВРЭ; в) испытания на взрывоустойчивость и взрывонепроницаемость оболочки при маломощном искрении и дуговом коротком замыкании; г) испытание оболочки на удар сбрасыванием и специальным бойком.

Испытания на взрывоустойчивость и взрывонепроницаемость проводятся в металлической взрывной камере. Взрывная камера представляет собой закрытый стальной цилиндр, оборудованный таким образом, что в камере можно установить испытуемое оборудование, наполнить и камеру и оболочку наиболее взрывчатой смесью (для метано-воздушной смеси — 8,5—9,8% содержания метана в воздухе), поджечь смесь внутри испытуемой оболочки и по показаниям приборов контролировать все необходимые параметры до взрыва смеси, во время взрыва и после него.

✓ Для определения взрывонепроницаемости оболочки проводят 10—16 взрывов смеси внутри нее. Оболочка считается взрывобезопасной, если взрывы внутри оболочки не вызывают взрывов в камере, оболочка не имеет остаточных деформаций, не нарушаются размеры взрывозащитных щелей.

В таких же камерах производят испытание и электрооборудования на искробезопасность. Однако заполнение камеры производят более взрывоопасной смесью (35% водорода в воздухе), а искрение создают путем различных замыканий элементов испытуемой системы. Количество искрений — не менее 16 000. Считается, что электрические цепи искробезопасны, если при 16 000 искрений взрывов было не более 16.

4. 1. Классификация электродвигателей

Электродвигатели классифицируются по роду тока, принципу работы, величине напряжения, частоте вращения и мощности, способу охлаждения, монтажа и защиты от действия окружающей среды, климатическому исполнению и категории размещения.

В рудничном электроприводе применяются электродвигатели постоянного и переменного тока.

Электродвигатели постоянного тока применяются для приводов, где требуется плавное регулирование скорости в широких пределах (подъемные машины, электровазы, комбайны и др.). Количество таких двигателей на шахте небольшое.

Для привода забойных машин, механизмов и машин поверхностного комплекса применяются электродвигатели переменного тока: асинхронные с короткозамкнутым и фазным ротором и синхронные.

Синхронные электродвигатели применяются для привода крупных установок с постоянным моментом сопротивления (компрессоры, вентиляционные, насосные и другие аналогичные установки).

Асинхронные электродвигатели с фазным ротором применяются на установках, где требуется регулировка скорости в широких пределах, а также в случае необходимости запуска мощного двигателя под нагрузкой при относительно небольшой мощности электрической сети.

Асинхронные электродвигатели с короткозамкнутым ротором применяются для привода самых разнообразных машин, где не требуется регулирования скорости.

По величине напряжения электродвигатели подразделяются на электродвигатели на напряжение до 1000 В и свыше 1000 В. Основным напряжением переменного тока электродвигателей забойных машин и механизмов, а также основной массы машин и механизмов на поверхности является напряжение 380—660 В, а для ручного инструмента — 127 В. Электродвигатели переменного тока стационарных установок выполняются на напряжение 6—10 кВ. Для электродвигателей постоянного тока используется напряжение 110—440 В.

В связи с тем, что в настоящее время уже созданы высокопроизводительные, мощные забойные машины, требующие высокого уровня энерговооруженности, промышленность начала выпуск электродвигателей переменного тока на номинальное напряжение 1140 В.

По частоте вращения электродвигатели делятся на тихоходные (до 250 об/мин), средней скорости (250—1000 об/мин), быстроходные (1500—6000 об/мин). В условиях шахт наиболее широко распространены электродвигатели с частотой вращения от 750 до 3000 об/мин.

По величине номинальной мощности электродвигатели делятся на микродвигатели (до 0,1 кВт), мелкие (до 1 кВт), малые (до 10 кВт), средние (до 100 кВт) и крупные (свыше 100 кВт). В горном машиностроении в соответствии с ГОСТ 16311—75 и ГОСТ 6661—75 конструируются электродвигатели двух групп — от 132 до 1000 кВт и от 0,25 до 100 кВт.

По способу охлаждения различают электродвигатели с естественным охлаждением, не имеющие специальных устройств для вентиляции, и с искусственным охлаждением, имеющие специальные вентиляционные устройства, которые создают внутри или снаружи двигателя принудительную циркуляцию воздуха или другой охлаждающей среды. В шахте применяются электродвигатели с внутренней и наружной самовентиляцией и с жидкостным (водяным) охлаждением.

Конструктивно электродвигатели выполняются горизонтальными, вертикальными, фланцевыми, встроенными, торцевыми, двойного вращения, с внешним ротором.

По способу защиты от действия окружающей среды различают электродвигатели: открытые, не имеющие специальных устройств защиты внутренних частей электродвигателя от попадания посторонних предметов и действия окружающей среды; защищенные, имеющие специальные защитные устройства, предотвращающие попадание инородных тел в двигатель; закрытые, имеющие корпуса специальной конструкции, плотно закрывающие доступ к токоведущим и вращающимся узлам (они выполняются как пыленепроницаемые, герметичные и взрывобезопасные).

Электродвигатели изготавливаются в определенном климатическом исполнении: для микроклиматических районов с умеренным климатом (колебания температуры от 313

до 228 К), условное обозначение — У; для районов с холодным климатом (температуры ниже 228 К) — ХЛ; для районов с влажным тропическим климатом (относительная влажность 80% при температуре 253 К) — ТВ; для районов с сухим тропическим климатом (с температурой больше 313 К) — ТС; для районов с тропическим климатом — Т; для всех климатических районов (общеклиматическое исполнение) — О.

4. 2. Серии электродвигателей

В связи с тем, что конструкции горнодобывающих машин постоянно совершенствуются, возникают новые требования к конструкциям электродвигателей. Примерно до 1970 г. заводы и проектные организации, занимающиеся изготовлением электродвигателей, выпускали электродвигатели только для специальных угольных машин, поэтому двигатели имели специфичное оформление, свои установочные размеры и технические характеристики. Это были серии КО, КОМ, МА, ТАГ и др. По своим основным параметрам эти серии не полностью соответствовали требованиям Международной электротехнической комиссии (МЭК) и рекомендациям электротехнической комиссии Совета Экономической Взаимопомощи, что затрудняло международное экономическое сотрудничество. Поэтому проектный институт ВНИИВЭ разработал, а заводы приняли к производству единую серию асинхронных взрывозащищенных электродвигателей ВАО, которые по своим техническим параметрам соответствуют вышеуказанным рекомендациям.

Электродвигатели серии ВАО предназначены для длительного режима работы. Мощность электродвигателей от 0,27 до 100 кВт и от 132 до 1000 кВт, частота вращения 750—3000 об/мин, частота тока 50 Гц, напряжение 380—660 В и 6 кВ.

Для электродвигателей первой группы коэффициент полезного действия колеблется в пределах 0,73—0,92, $\cos \varphi = 0,7 \div 0,9$, перегрузочная способность $\lambda = 1,9 \div 3,3$, кратность пускового момента составляет 2—3. Часть электродвигателей выпускается как модификации основной серии для установки на конкретных видах машин. В этом случае к основному наименованию ВАО добавляются дополнительные буквы, обозначающие назначе-

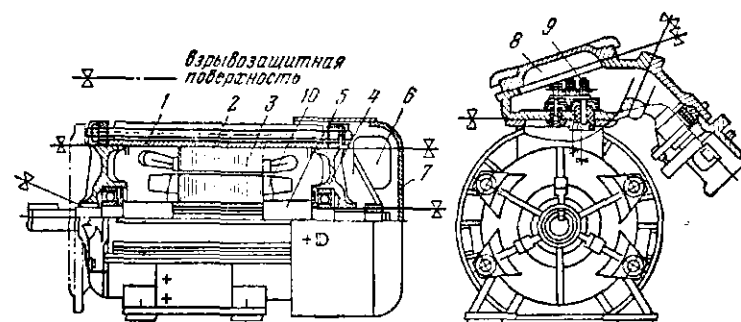


Рис. 4. 1. Взрывобезопасный двигатель ВАО

ние электродвигателя: ВАОК (с фазным ротором) — для лебедок; ВАОТ — для привода конвейеров; ВАМП — для погрузочных машин и др.

Взрывобезопасность электродвигателей серии ВАО достигается размещением токоведущих частей во взрывобезопасной оболочке 1 (рис. 4. 1) двигателя, изготовленной из серого чугуна или стали с оребрением для улучшения теплоотдачи.

На оболочке установлена коробка вводного устройства 8, куда выведены шесть концов 9 обмотки статора (начала и концы фаз). Статор 2 и ротор 3 набраны из отдельных листов электротехнической стали и закреплены в станине и на валу 5 двигателя.

Вал электродвигателя опирается на подшипники качения, укрепленные в подшипниковых щитах 4. Один конец вала выведен наружу для соединения с приводом машины, на другом конце закреплен вентилятор 6 для обдува двигателя. Вентилятор закрыт кожухом 7. Внутренняя циркуляция воздуха осуществляется за счет приливов 10 на роторе. Обмотка статора выполнена мягкими и жесткими секциями, изоляция — классов В и Н.

В настоящее время серия ВАО модернизирована и разработана новая серия В (взрывобезопасный асинхронный электродвигатель) и ВР (взрывобезопасный асинхронный электродвигатель, рудничный). По сравнению с электродвигателями серии ВАО, в электродвигателях серии В (ВР) достигнуто повышение надежности, упрощение конструкции, улучшение энергетических показателей. Установочные размеры электродвигателей соответствуют серии общего назначения и рекомендациям МЭК и комис-

сии СЭВ. Номенклатура мощностей — от 0,25 до 110 кВт.

Для привода выемочных машин применяются специальные электродвигатели серий ЭДК, ЭДКО, ЭКВ. Электродвигатели этих серий взрывобезопасны, уровень взрывозащиты — РВ, метод взрывозащиты — размещение токоведущих частей во взрывобезопасной оболочке. Электродвигатели серии ЭДК имеют внутреннюю вентиляцию, серии ЭДКО — внутреннюю и наружную (обдуваемые), серии ЭКВ — внутреннюю вентиляцию и независимое водяное охлаждение. Обмотка роторов всех электродвигателей серий ВР, ЭДК, ЭДКО, ЭКВ выполняется в виде двойной «беличьей клетки».

Для приводов горных комбайнов, выполненных по схеме Г—Д, КУВ—Д и др., разработаны специальные электродвигатели постоянного тока последовательного возбуждения ДК—812А.

Для электровозов применяются электродвигатели постоянного тока последовательного возбуждения серий ЛК, ЭДР и другие. В помещениях с нормальными условиями работы применяются асинхронные электродвигатели общего назначения серий 4А и 4АН. Электродвигатели 4АН — защищенного исполнения, 4А — закрытые, обдуваемые.

В обозначениях ранее выпускаемых электродвигателей после серии ставили следующие данные: первая цифра обозначает порядковый номер габарита (условное обозначение наружного диаметра железа статора), вторая цифра — порядковый номер длины электродвигателя, цифра после второго тире — число пар полюсов в двигателе.

В электродвигателях В, ВР, 4АН и других в маркировке после наименования серии ставят: высоту оси вращения в миллиметрах, буквы S, M, L — расстояние между крепежными болтами, количество пар полюсов (цифрой), климатическое исполнение (буквой) и категорию размещения (цифрой).

Синхронные электродвигатели серии СДН на напряжение 6000 В, с частотой вращения от 300 до 1000 об/мин, мощностью 100—10000 кВт применяются для привода вентиляторов, насосов, компрессоров и др. Машины постоянного тока единой серии П на напряжение 110, 220, 440 В, мощностью от 0,3 до 1400 кВт применяются для приводов машин, требующих регулирования частоты

вращения во время работы (подъемные машины, комбайны и др.).

Основными направлениями совершенствования взрывобезопасных электродвигателей являются: а) применение изоляции «моноклит» на эпоксидных компаундах, что дает некоторые повышения допустимой температуры нагрева; б) совершенствование системы охлаждения за счет охлаждения активных частей диэлектрической жидкостью и применения так называемых «тепловых» трубок с целью интенсификации охлаждения; в) увеличение модификаций электродвигателей с целью большей приспособленности их к режиму работы механизмов и машин.

Глава 5

РАСЧЕТ МОЩНОСТИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

5.1. Общие положения по выбору электропривода

Приводом называется совокупность двигателя, устройств для управления им, редуктора и исполнительного механизма.

В качестве двигателя используются электродвигатели, пневмодвигатели, гидродвигатели, двигатели внутреннего сгорания и др.

Если в качестве двигателя применяется электродвигатель, то привод называют электроприводом.

По способу использования электродвигателя различают: а) групповой электропривод — когда один электродвигатель приводит в движение несколько различных по назначению машин; этот вид привода из-за своего несовершенства в настоящий момент не применяется; б) одиночный (однодвигательный) электропривод — когда один электродвигатель приводит в движение все исполнительные механизмы одной машины; в настоящее время широко распространен; применение его целесообразно на машинах, выполняющих одну технологическую операцию; в) многодвигательный электропривод — когда для приведения в движение каждого исполнительного органа используется индивидуальный электродвигатель.

Из-за простоты управления, высокого к. п. д. электродвигателей многодвигательный электропривод наиболее перспективен.

Для обеспечения эффективной работы производства необходимо, чтобы каждая машина работала с наилучшими технико-экономическими показателями, т. е. с наивысшей производительностью, при наилучшем коэффициенте полезного действия ее и необходимом качестве продукции.

По технологии работы машины имеют три стадии работы во времени: пуск, период работы с номинальными показателями и остановка.

Периоды пуска и остановки машины характеризуются непостоянством технических показателей ее; эти периоды носят название *неустановившихся периодов* работы машины. Период, когда машина работает с номинальными показателями, без существенного изменения их, называется *установившимся периодом* работы машины.

В обоих периодах работы электродвигатель должен создавать момент вращения M_v , равный моментам сопротивления движению машины. При установившемся режиме — это момент сопротивления трения и полезной работы $M_{ст}$ (постоянный, статический момент), а при неустановившемся режиме — статический момент $M_{ст}$ и динамический момент M_d , который возникает в связи с изменением угловой скорости, изменением запаса кинетической энергии.

В общем виде это положение можно выразить формулой

$$M_v \pm M_d - M_{ст} = 0 \quad \text{или} \quad M_v - M_{ст} = \pm M_d. \quad (5.1)$$

Выражение (5.1) носит название *основного уравнения движения привода*.

Анализируя его, приходим к выводу, что: при $M_v > M_{ст}$, $M_d > 0$ движение будет ускоренным, при $M_v = M_{ст}$, $M_d = 0$ — равномерным, при $M_v < M_{ст}$, $M_d < 0$ — замедленным. В существующих машинах статический момент сопротивления может по-разному зависеть от угловой скорости вращения исполнительного органа ω или частоты вращения n (об/мин).

Зависимость угловой скорости вращения от момента сопротивления машины называется *механической характеристикой*. Разновидности этих характеристик показаны на рис. 5.1, а.

В электродвигателях момент вращения M_v создается за счет взаимодействия магнитного потока и тока в его

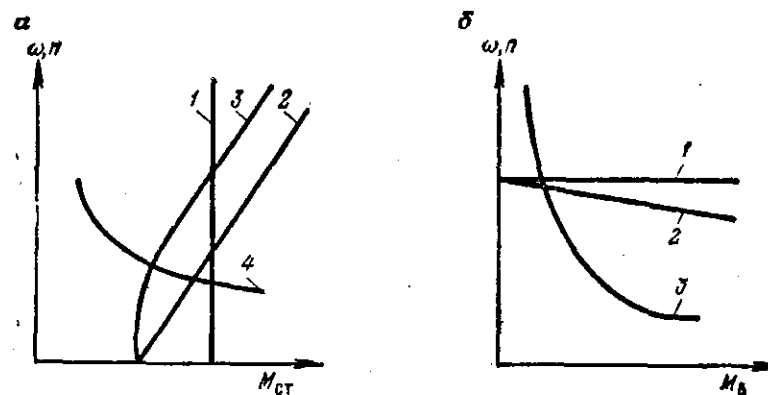


Рис. 5.1. Механические характеристики:

а — машин: 1 — независимая; 2 — линейно-возрастающая; 3 — нелинейно-возрастающая; 4 — величина-спадающая; б — электродвигателей: 1 — абсолютно жесткая; 2 — жесткая; 3 — мягкая

обмотках. Поэтому величина M_v определенным образом зависит от частоты вращения ротора, а значит, каждый электродвигатель, независимо от машины, имеет свою механическую характеристику.

Механические характеристики электродвигателей разбиваются условно на три группы (рис. 5.1 б): *абсолютно жесткие*, когда двигатель имеет строго постоянную частоту вращения независимо от величины момента вращения (такую характеристику имеют синхронные двигатели); *жесткие*, имеющие небольшое снижение частоты вращения (до 10%) при изменении момента от нуля до номинального (такую характеристику имеют асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором, двигатели постоянного тока параллельного возбуждения); *мягкие*, имеющие значительное снижение частоты вращения при увеличении момента (такую характеристику имеют двигатели постоянного тока последовательного возбуждения).

Механические характеристики, которые соответствуют номинальным данным двигателя, называются *естественными*. Механические характеристики, полученные путем изменения номинальных данных двигателя, называются *искусственными*.

Электродвигатель сможет приводить в движение машину в неустановившийся и установившийся периоды

тогда, когда его механическая характеристика будет соответствовать механической характеристике машины.

Таким образом, для правильного выбора электродвигателя необходимо, чтобы: а) мощность двигателя была достаточной для создания необходимого момента вращения в установившемся и неустойчивом периодах работы; б) тепловой режим работы двигателя соответствовал режиму работы машины; в) механическая характеристика двигателя была близка к механической характеристике машины; г) способы включения, выключения и регулирования двигателя были бы экономичными; д) тип двигателя соответствовал имеющемуся виду тока и величине напряжения сети; е) исполнение двигателя по способу защиты от действия окружающей среды соответствовало характеристике окружающей среды.

5.2. Расчет мощности электродвигателя по величине механической нагрузки

Из механики известно, что:

а) мощность для преодоления статических сопротивлений $N_{ст}$ (кВт) с угловой скоростью ω , прямо пропорциональна величине статического момента $M_{ст}$ и угловой скорости ω , т. е.

$$N_{ст} = \frac{M_{ст}\omega}{10^3}, \quad (5.2)$$

б) мощность для преодоления динамических сопротивлений N_d (кВт) при изменении угловой скорости от 0 до ω прямо пропорциональна половине произведения момента инерции J вращающейся детали на квадрат конечной угловой скорости ω и обратно пропорциональна времени разгона t детали до установившейся угловой скорости ω :

$$N_d = J \frac{\omega^2}{2t10^3}. \quad (5.3)$$

Поэтому в основном уравнении движения (5.1) вместо моментов можно поставить значения мощностей; в результате получим формулу для вычисления мощности на валу двигателя P_v (кВт):

$$P_v = \frac{M_{ст}\omega}{10^3} \pm J \frac{\omega^2}{2t10^3}. \quad (5.4)$$

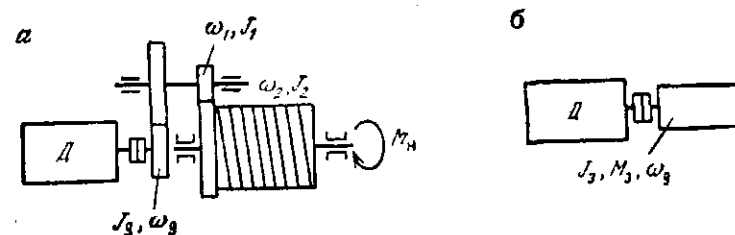


Рис. 5.2. Кинематические схемы машин:
а — реальной машины; б — эквивалентной машины

Такой формулой можно пользоваться для случаев, когда исполнительный орган машины и все вращающиеся детали непосредственно находятся на валу двигателя.

Если двигатель D приводит в движение более сложную машину с редуктором и исполнительным органом (рис. 5.2, а), то для вычисления мощности на валу двигателя все усилия должны быть приведены к валу двигателя. Это значит, что для дальнейших расчетов мы заменяем реальную машину, с ее фактическими сопротивлениями, эквивалентной машиной, масса которой и все усилия сопротивления приложены непосредственно к валу двигателя (рис. 5.2, б). Приведение всех моментов и сил к одной частоте вращения (обычно, к частоте вращения вала двигателя) производится при условии сохранения неизменного энергетического баланса реальной и приведенной систем.

Приведение статических моментов основано на том условии, что передаваемая мощность, с учетом к. п. д. передачи η , равна мощности на исполнительном валу.

Мощность на исполнительном валу механизма

$$N_n = \frac{M_n \omega_2}{10^3}.$$

Мощность на валу двигателя

$$P_d = \frac{M_d \omega_d}{10^3},$$

откуда

$$M_d = M_n \frac{1}{\frac{\omega_d}{\omega_2}},$$

где M_a — приведенный (эквивалентный) статический момент на валу двигателя; $\frac{\omega_d}{\omega_2} = i$ — передаточное число от двигателя к исполнительному органу.

Следовательно,

$$M_a = M \frac{1}{\eta i}, \text{ Н} \cdot \text{м.} \quad (5.5)$$

Приведение моментов инерции к одной оси вращения основано на условии сохранения запаса кинетической энергии в реальной и эквивалентной машине. После преобразования получим:

$$J_a = J_d + J_1 \frac{1}{i_1^2} + J_2 \frac{1}{i_2^2}, \quad (5.6)$$

где J_a — эквивалентный момент инерции; J_1, J_2 и т. д. — моменты инерции отдельных вращающихся узлов; i_1, i_2 и т. д. — передаточные числа отдельных зубчатых пар.

В заключение необходимо отметить, что для определения мощности на валу двигателя пользуются формулой (5.1) при проектировании и эксплуатации машинных установок, имеющих постоянную статическую нагрузку и большие массы, вращающиеся с большой скоростью. При расчете мощности двигателя для небольших, тихоходных машин, как правило, мощность для преодоления динамических сопротивлений получается небольшой, и поэтому ею пренебрегают.

5.3. Нагревание и охлаждение электродвигателя

В процессе работы электродвигатель нагревается. Нагревание его происходит потому, что часть электрической энергии преобразуется в тепловую, которая расходуется на повышение температуры самого двигателя и нагрев окружающей среды. Эта часть электрической энергии не производит полезную работу и поэтому считается потерянной.

Так как величина тока в большинстве двигателей прямо пропорциональна мощности на валу двигателя, то чем больше будет нагрузка, тем больше будет выделение тепла и тем больше будет нагреваться двигатель.

Изменение температуры нагрева двигателя во времени происходит по экспоненциальной кривой (рис. 5.3).

В начале работы температура t_n растет быстро, затем рост ее замедляется, а в точке A она уже не растет, так как количество выделяемого тепла равно количеству тепла, отдаваемого в окружающую среду. Эта температура называется установившейся t_y .

Величина установившейся температуры и время достижения ее двигателем t_1

зависят от величины нагрузки на валу двигателя. Чем больше нагрузка, тем больше t_y и меньше t_1 .

При выключении двигателя наступает период охлаждения его. Кривая охлаждения на рис. 5.3 показана пунктиром. Время охлаждения двигателя до первоначальной температуры в 3—4 раза больше времени нагрева двигателя. Это объясняется тем, что при остановке двигателя ухудшается теплообмен с окружающей средой.

В каждом двигателе имеются токоведущие части, изолированные изоляцией. Изоляция, не меняя своих параметров, выдерживает только определенную температуру. Эта температура (t_d на рис. 5.3) и есть предельная (допустимая) температура, до которой может нагреваться двигатель. Если двигатель будет нагружен так, что его t_y будет выше t_d , — он выйдет из строя.

Конечная температура электродвигателя t_n складывается из превышения его температуры над температурой окружающей среды и температуры окружающей среды (для средней полосы СССР она принята 308 К). Учитывая это положение, следует сделать вывод, что в характеристиках двигателей указана мощность для окружающей среды с температурой 308 К. При изменении температуры окружающей среды можно, в определенных пределах, менять и нагрузку на двигатель против его паспортной мощности.

Допустимые температуры нагрева обмоток двигателей ограничиваются свойствами различных классов изоляции, а именно:

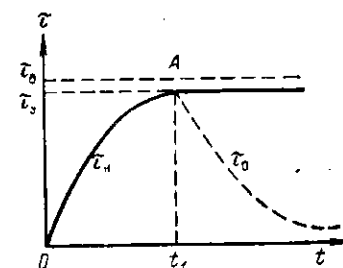


Рис. 5.3. График нагрева и охлаждения двигателя

класс У, $\tau_d = 363 \text{ К}$ — непропитанные хлопчатобумажные ткани, пряжа, бумага и волокнистые материалы из целлюлозы и шелка;

класс А, $\tau_d = 378 \text{ К}$ — те же материалы, но пропитанные жидким диэлектриком (маслом, лаком) или опущенные в трансформаторное масло;

класс Е, $\tau_d = 393 \text{ К}$ — синтетические органические пленки, пластмассы (гетинакс, текстолит), изоляция эмалированных проводов на основе лаков;

класс В, $\tau_d = 403 \text{ К}$ — материалы из слюды, асбеста и стекловолна, содержащие органические вещества (миканит, стеклоткань, стеклотекстолит) и некоторые пластмассы с минеральным наполнением;

класс F, $\tau_d = 428 \text{ К}$ — те же материалы в сочетании с синтетическими связующими и пропитывающими веществами повышенной терлостойкости;

класс Н, $\tau_d = 453 \text{ К}$ — те же материалы в сочетании с кремнийорганическими связующими и пропитывающими веществами, а также кремнийорганическая резина;

класс С, τ_d более 453 К — слюда, электротехническая керамика, стекло, кварц, асбест, применяемые без связующих составов или с неорганическими связующими составами.

Для электродвигателей серий ВАО, ВР, ЭДКО применяют изоляцию классов В и Н.

5.4. Режим работы электродвигателей и выбор их мощности из условий нагрева

В производственных условиях нагрузка на двигатель зависит от величины нагрузки механизма и характера изменения ее во времени.

Закономерность изменения статической нагрузки во времени обычно изображается в виде диаграмм, которые называются *нагрузочными диаграммами механизма*. На основании нагрузочных диаграмм механизма строятся нагрузочные диаграммы двигателя, в которых учитываются статистические и динамические нагрузки.

Так как нагрев двигателей в основном происходит за счет потерь электроэнергии в обмотках двигателя, а при различных нагрузках величина тока в обмотках различ-

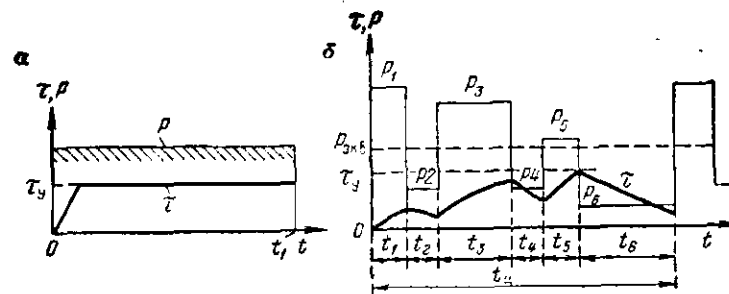


Рис. 5.4. Диаграммы нагрузок электродвигателей при продолжительном режиме работы:

а — с постоянной нагрузкой; б — с переменной нагрузкой

на, то и температура обмоток двигателя будет зависеть от нагрузочных диаграмм.

Нагрузочные диаграммы электродвигателей делятся: по характеру изменений величины нагрузки во времени — на диаграммы с постоянной и переменной нагрузкой (рис. 5.4);

по продолжительности нагрузки — на диаграммы с продолжительной, кратковременной, повторно-кратковременной и перемежающейся нагрузкой.

В соответствии с таким делением нагрузок принято различать четыре основных режима работы двигателей с постоянной и переменной нагрузкой: продолжительный, кратковременный, повторно-кратковременный, перемежающийся.

Продолжительным режимом работы электродвигателя (обозначение по ГОСТу — S1) называется такой режим, при котором период нагрузки без отключения может продолжаться как угодно долго, но не менее времени, необходимого для достижения электродвигателем установившейся температуры при неизменной температуре окружающей среды.

Номинальной мощностью электродвигателя называется такая постоянная мощность на валу в продолжительном режиме, при которой установившаяся температура нагрева τ_y будет равна допустимой τ_d .

Часовой (получасовой) мощностью электродвигателя называется такая постоянная величина длительной мощности на валу двигателя, при которой температура

нагрева двигателя достигает допустимую в течение часа (получаса) работы.

При продолжительном режиме работы с постоянной нагрузкой очевидно, что номинальная мощность двигателя $P_{дв}$ равна мощности нагрузки P (см. рис. 5.4, а), т. е. $P_{дв} = P$.

При продолжительном режиме работы с переменной нагрузкой (рис. 5.4, б) целесообразно решение о величине мощности свести к первому случаю путем нахождения такой величины эквивалентной нагрузки $P_{экв}$, которому соответствовали бы потери мощности, равные по величине потерям при заданном графике нагрузки.

Величина эквивалентного тока $I_{экв}$ вычисляется по формуле

$$I_{экв} = \sqrt{\frac{I_1^2 t_1 + I_2^2 t_2 + \dots + I_6^2 t_6}{t_1 + t_2 + \dots + t_6}}.$$

На основании вычисленного эквивалентного тока можно вычислить необходимую мощность двигателя:

а) для электродвигателей постоянного тока

$$P_{дв} = UI_{экв},$$

б) для асинхронных электродвигателей

$$P_{дв} = \sqrt{3} UI_{экв} \cos \varphi,$$

где U — напряжение сети, В; $I_{экв}$ — эквивалентный ток, А; $\cos \varphi$ — коэффициент мощности.

Так как в электродвигателях постоянного тока параллельного возбуждения и асинхронных (при установившихся режимах работы) магнитный поток постоянен, а $P \approx M$, то для вычисления мощности можно использовать диаграммы моментов и мощностей.

По результатам расчета в каталогах выбирают электродвигатель ближайшей большей мощности, а затем проверяют его на перегрузочную способность. При проверке должно быть соблюдено условие:

для электродвигателей постоянного тока

$$I_{\max} \leq \lambda I_{\text{ном}},$$

для асинхронного электродвигателя

$$M_{\max} \leq \lambda M_{\text{ном}},$$

где $I_{\max}$, $M_{\max}$ — максимальные значения тока и момента по нагрузочной диаграмме; λ — коэффициент допусти-

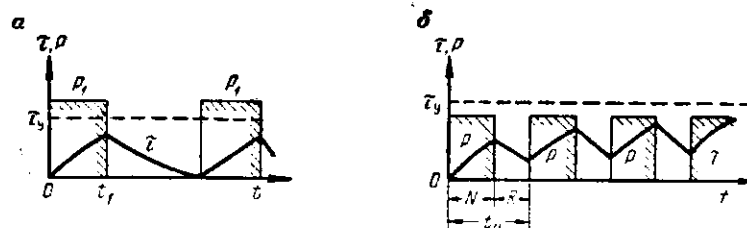


Рис. 5.5. Диаграммы нагрузок электродвигателя при кратковременном (а) и повторно-кратковременном (б) режимах работы

мой перегрузки выбранного двигателя (из каталога); $I_{\text{ном}}$, $M_{\text{ном}}$ — номинальные значения тока и момента выбранного двигателя (из каталога).

Для электродвигателей, пускаемых в ход под нагрузкой, проверяется отношение величины пускового момента выбранного двигателя к величине пускового момента, требуемого по диаграмме нагрузок. Если это отношение будет больше единицы, то выбранный двигатель удовлетворяет условиям пуска.

Кратковременным режимом работы электродвигателя с длительностью периода неизменной номинальной нагрузки 10, 30, 60, 90 мин (обозначение по ГОСТу — S2) называется такой режим, при котором в период нагрузки температура электродвигателя не достигает установившейся t_y , а за период паузы снижается до температуры окружающей среды (рис. 5.5, а).

В таком режиме работают электродвигатели в системах автоматики, на стрелочных переводах, в металлургических станках и т. д.

Расчет мощности электродвигателей производится так же, как и при продолжительном режиме работы, а выбор двигателей — по каталогам двигателей для кратковременного режима с учетом длительности периода неизменной нагрузки.

При выборе двигателей для кратковременной работы по каталогам двигателей для продолжительной работы учитывают только перегрузочную способность двигателей, поэтому мощность двигателя вычисляют по формуле

$$P_{дв} = \frac{P_k}{0,75\lambda},$$

где P_k — максимальное значение мощности при кратковременной нагрузке, взятое по нагрузочной диаграмме; λ — перегрузочная способность двигателя.

Повторно-кратковременным режимом работы электродвигателя называется такой режим, при котором период нагрузки чередуется с периодом остановки (отключения). При этом длительность работы не превышает 10 мин. За период работы температура нагрева двигателя не достигает установившегося значения, а за период паузы не успевает снизиться до первоначальной (рис. 5.5, б).

Повторно-кратковременный режим работы электродвигателя характеризуется относительной продолжительностью включения, числом включений в час, коэффициентом инерции.

Относительная продолжительность включения (ПВ) — это коэффициент, показывающий длительность периода работы электродвигателя от времени цикла в процентах.

Коэффициент инерции (F_1) — это отношение суммы приведенного к валу двигателя момента инерции приводимого механизма и момента инерции ротора двигателя к моменту инерции двигателя.

В зависимости от величины ПВ, F_1 и частоты включения повторно-кратковременные режимы подразделяются на:

а) повторно-кратковременный режим с относительной продолжительностью включений 15, 25, 40 и 60% и продолжительностью цикла 10 мин (обозначается — S3);

б) повторно-кратковременный режим с частыми пусками с продолжительностью включения 15, 25, 40 и 60% при F_1 , равном 1,2; 1,6; 2,0; 2,5; 4,0; 6,3; 10,0, и числе включений в час 30, 60, 120, 240 (обозначается S4);

в) повторно-кратковременный режим с электроторможением, с продолжительностью включения 15, 25, 40 и 60% при F_1 , равном 1,2; 1,6; 2,0; 2,5; 4,0 (обозначается — S5).

В повторно-кратковременном режиме работают электродвигатели подъемных кранов, лифтов, добычных и подготовительных комбайнов.

Если ПВ $\geq 60\%$ — режим считается продолжительным, если ПВ $\leq 10\%$ — кратковременным.

Переключающийся номинальный режим работы электродвигателя отличается от повторно-кратковременного тем, что при длительности цикла до 10 мин электро-

двигатель не имеет пауз, а нагрузка его чередуется с холостым ходом. Характеризуется относительной продолжительностью нагрузки ПН, определяемой по формуле

$$ПН = \frac{N}{N + V} 100,$$

где N — время работы двигателя под нагрузкой; V — время работы двигателя вхолостую (рис. 5.6).

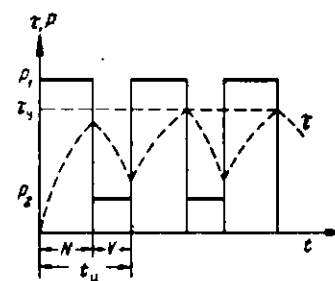


Рис. 5.6. Диаграмма нагрузок двигателя при переключающемся режиме работы

Переключающиеся режимы работы электродвигателя различают три:

а) переключающийся номинальный режим с продолжительностью нагрузки 15, 25, 40, 60% и временем цикла 10 мин (см. рис. 5.6) (обозначается — S6);

б) переключающийся номинальный режим с частыми реверсами при электрическом торможении с числом реверсов в час 30, 60, 120, 240 при F_1 равном 1,2; 1,6; 2,0; 2,5; 4,0 (обозначается — S7);

в) переключающийся номинальный режим с двумя или более частотами вращения с числом циклов в час 30, 60, 120, 240 при F_1 равном 1,2; 1,6; 2,0; 2,5; 4,0 (обозначается — S8).

В переключающихся режимах работают электродвигатели многих шахтных машин и механизмов.

Глава 6

МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА

6.1. Механическая характеристика электродвигателя постоянного тока параллельного и независимого возбуждения

Электродвигатель постоянного тока параллельного возбуждения имеет обмотку возбуждения $ОВ$ с сопротивлением $R_{ОВ}$ и обмотку якоря $Я$ с сопротивлением $R_я$. Эти

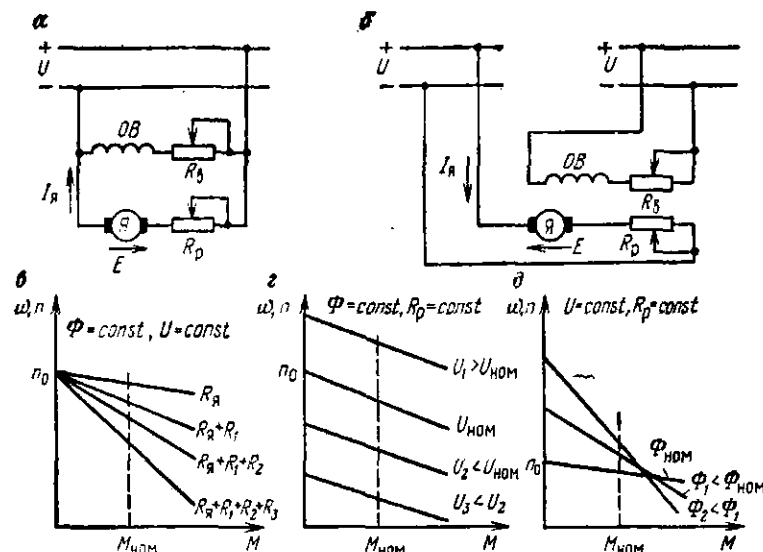


Рис. 6.1. Электрические схемы и механические характеристики электродвигателя постоянного тока:

а — схема двигателя параллельного возбуждения; б — схема двигателя независимого возбуждения; в — механические характеристики двигателя при $R_p \neq \text{const}$ в цепи якоря; г — механические характеристики двигателя при $U \neq \text{const}$ на зажимах якоря; д — механические характеристики двигателя при $\Phi \neq \text{const}$

обмотки подключаются к одной сети параллельно (рис. 6.1, а) через регулировочное сопротивление $R_в$ и пусковое сопротивление $R_р$. Если обмотка возбуждения получает напряжение от независимого источника тока, а обмотка якоря от сети, то такой двигатель называется двигателем независимого возбуждения (рис. 6.1, б).

В обоих случаях законы распределения тока, определяющие взаимосвязь между угловой скоростью и моментом вращения на валу двигателя, одинаковые.

Величину тока $I_в$ в цепи обмотки возбуждения можно вычислить по формуле

$$I_в = \frac{U}{R_{об} + R_в}.$$

Ток $I_в$ в двигателях небольшой и, как видно из формулы, не зависит от величины нагрузки.

С некоторым допущением (для ненасыщенного двигателя) можно считать, что и магнитный поток Φ пропорционален току возбуждения и поэтому тоже не зависит от нагрузки.

Величина тока в цепи якоря определяется из формулы

$$U = E + I_я(R_я + R_p), \quad (6.1)$$

где E — э. д. с. электродвигателя, В; U — напряжение сети, В; $R_я$ — сопротивление якоря постоянному току, Ом; R_p — сопротивление постоянному току пускового реостата, Ом.

Из общей электротехники известно, что в двигателях

$$E = kn\Phi, \quad (6.2)$$

$$M = k_1 I_я \Phi, \quad (6.3)$$

где k и k_1 — коэффициенты пропорциональности, которые зависят от конструкции машины; n — частота вращения якоря; M — момент вращения на валу двигателя. В момент запуска двигателя $E = 0$, поэтому ток в якорю

$$I_я = \frac{U}{R_я + R_p},$$

а при отсутствии пускового реостата

$$I_я = \frac{U}{R_я}.$$

Так как величина сопротивления обмотки якоря в электродвигателях незначительна (порядка десятых долей ома), то пусковой ток двигателя, запускаемого напрямую (без пускового реостата), будет очень большой. Таким образом, запускать двигатель постоянного тока параллельного возбуждения без пускового реостата нельзя из-за опасности повреждения его коллектора.

Ранее было установлено, что величина магнитного потока Φ для данного двигателя не зависит от величины тока в якорю, поэтому $M = I_я$, т. е. вращающий момент на валу электродвигателя постоянного тока параллельного возбуждения прямо пропорционален току якоря.

Если в формулу (6.1) подставить значения E и $I_я$ из формул (6.2), (6.3) и решить уравнение относительно

частоты вращения n , то получим уравнение механической характеристики двигателя

$$n = \frac{U}{k\Phi} - \frac{M(R_a + R_p)}{kk_1\Phi^2}. \quad (6.4)$$

В уравнении (6.4) переменными величинами являются n и M , остальные величины постоянные, поэтому это будет уравнение прямой, не проходящей через начало координат.

Механическая характеристика двигателя, полученная без включения в цепь якоря и возбуждения дополнительных сопротивлений R_a и R_b , называется *естественной характеристикой*, все остальные характеристики, полученные путем изменения сопротивления релостатов R_p , R_b от нуля и выше, будут *искусственными характеристиками*.

Чем больше сопротивление в цепи якоря, тем больше наклон характеристики (тем мягче она).

При подсчете легко установить, что при номинальных значениях M , R_a , U , Φ величина $\frac{M_a R_a}{kk_1\Phi^2}$ [из формулы (6.4)] составляет (5—10) % от n_0 , поэтому характеристика двигателя будет жесткая.

Анализируя уравнение механической характеристики электродвигателя

$$n = \frac{U}{k\Phi} - \frac{M}{kk_1\Phi^2} (R_a + R_p),$$

можно определить три основных способа регулирования частоты вращения при заданном моменте сопротивления:

Регулирование частоты вращения путем изменения величины сопротивления релостата R_p (рис. 6.1, а).

При введении внешнего сопротивления в цепь якоря электродвигателя жесткость характеристик уменьшается, регулирование частоты вращения возможно только в сторону уменьшения от основной, определяемой естественной характеристикой.

Так как регулирование достигается за счет ввода дополнительного сопротивления R_p в цепь якоря, где величина тока прямо пропорциональна величине механической нагрузки двигателя, то данный способ не экономичен из-за больших потерь энергии в релостате R_p .

Регулирование частоты вращения за счет изменения величины напряжения, подводимого на зажимы якоря (рис. 6.1, б).

Для осуществления данного способа необходимо, чтобы обмотка возбуждения двигателя питалась от нерегулируемого источника тока, а цепь якоря получала питание от источника тока с регулируемым напряжением. При изменении величины U можно получить любое количество характеристик, параллельных друг другу, т. е. регулировать частоту вращения двигателя в широких пределах. При наличии удобного и экономичного регулятора напряжения, данный способ будет наиболее экономичным.

Регулирование частоты вращения путем изменения величины магнитного потока в электродвигателе (рис. 6.1, в).

Для изменения величины магнитного потока необходимо ввести в цепь возбуждения сопротивление R_b . При этом магнитный поток Φ обмотки возбуждения уменьшится, а значит увеличится частота вращения электродвигателя. Способ дает возможность экономично регулировать частоту вращения электродвигателя при значениях выше номинальных.

Так как $M = k\Phi I_a$, то при уменьшении магнитного потока возрастает ток в якоря. При значительном увеличении I_a обмотка якоря перегревается, а на коллекторе возникает искрение. В промышленных двигателях применяют степень регулирования данным способом не более 1:4.

Предельное значение частоты вращения ограничено механической прочностью якоря и условиями коммутации коллектора электродвигателя.

Двигатели постоянного тока параллельного и независимого возбуждения применяются в качестве электропривода в машинах и механизмах, требующих жесткой характеристики и широких пределов регулирования частоты вращения (экскаваторы, подъемные машины и др.).

6.2. Механическая характеристика электродвигателя постоянного тока последовательного и смешанного возбуждения

На рис. 6.2, а показана схема подсоединения к сети электродвигателя последовательного возбуждения. Обмотка возбуждения OB и обмотка якоря $Я$ соединяются последовательно и через реостат R_p подсоединяются к сети. Вследствие этого поток возбуждения Φ зависит от тока якоря, т. е. от нагрузки. Для этого вида двигателей при ненасыщенной магнитной системе магнитный поток можно считать пропорциональным току якоря I_a , а вращающий момент будет вычисляться по формуле

$$M = k_1 \Phi I_a \quad \text{или} \quad M = k k_1 I_a^2.$$

Отсюда ток якоря

$$I_a = \sqrt{\frac{M}{k k_1}}.$$

Так как для двигателей постоянного тока напряжение сети уравновешивается э. д. с. якоря E и падением напряжения в обмотках двигателя, то можно записать

$$U = E + I_a (R_a + R_{OB} + R_p). \quad (6.5)$$

Э. д. с. якоря E пропорциональна частоте вращения n и магнитному потоку Φ , т. е.

$$E = k_2 n \Phi.$$

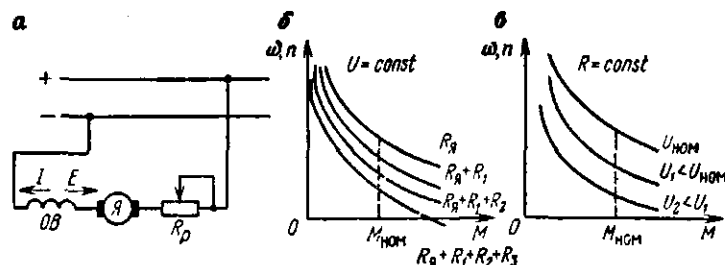


Рис. 6.2. Электрическая схема и характеристики электродвигателя постоянного тока последовательного возбуждения

а — электрическая схема двигателя; б — механические характеристики двигателя при $R = \text{const}$; в — механические характеристики двигателя при $U = \text{const}$

Подставив значение E и I_a в формулу (6.5) и решив уравнение относительно n , получим

$$n = \frac{U}{k_2 \sqrt{\frac{k M}{k_1}}} - \frac{R_a + R_{OB} + R_p}{k_2 k}. \quad (6.6)$$

Так как в уравнении (6.6) n и M переменные величины, то это уравнение является уравнением механической характеристики двигателя.

При малой нагрузке характеристика имеет большую крутизну, при больших нагрузках магнитная система насыщается и поток уже почти не зависит от нагрузки — характеристика превращается в почти прямолинейную, с малой крутизной (рис. 6.2, б).

Из уравнения механической характеристики следует, что:

а) при уменьшении вращающего момента M до нуля частота вращения возрастает до бесконечности — двигатель идет «в разнос» (может произойти механическое повреждение якоря). Таким образом, электродвигатель постоянного тока последовательного возбуждения нельзя включать в сеть без механической нагрузки на его валу;

б) при $n = 0$ величина вращающего момента будет значительная, пропорциональная квадрату напряжения сети. Таким образом, двигатель развивает значительный вращающий момент (2,2—3,5 $M_{ном}$) при небольших значениях частоты вращения n ;

в) при уменьшении величины M вначале n растет медленно, а затем — быстро.

Регулирование частоты вращения двигателя достигается:

а) путем включения в цепь двигателя регулирующего реостата (рис. 6.2). Способ регулирования не экономичный, так как через регулировочное сопротивление проходит ток нагрузки;

б) изменением величины напряжения на зажимах двигателя (рис. 6.2, в). При наличии компактного регулирующего устройства способ экономичен и позволяет регулировать частоту вращения в широких пределах.

Двигатель постоянного тока последовательного возбуждения применяется для привода тяговых установок

(трамваи, троллейбусы, электровозы) и добычных комбайнов.

Кроме рассмотренных выше двигателей постоянного тока, применяются двигатели постоянного тока смешанного возбуждения. Они имеют две обмотки возбуждения: последовательную и параллельную.

Механическая характеристика этих двигателей имеет промежуточную форму между характеристиками двигателей последовательного и параллельного возбуждения, приближаясь к той или иной в зависимости от соотношений ампервитков обмоток.

Регулирование частоты вращения осуществляется введением в цепи двигателя дополнительного сопротивления, изменением величины магнитного потока возбуждения или величины напряжения, подаваемого на зажимы двигателя.

Глава 7

МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

7.1. Механическая характеристика трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором

Схема включения асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором показана на рис. 7.1, а. Механическая характеристика двигателя выражает зависимость между вращающим моментом и частотой вращения n , угловой скоростью ω или скольжением s .

Упрощенное уравнение механической характеристики асинхронного двигателя (формула Клосса) имеет вид

$$M = \frac{2M_k}{\frac{s}{s_k} + \frac{s_k}{s}},$$

где M — момент вращения на валу двигателя, соответствующий определенному скольжению s ; M_k — величина критического момента, т. е. момента при критическом скольжении s_k .

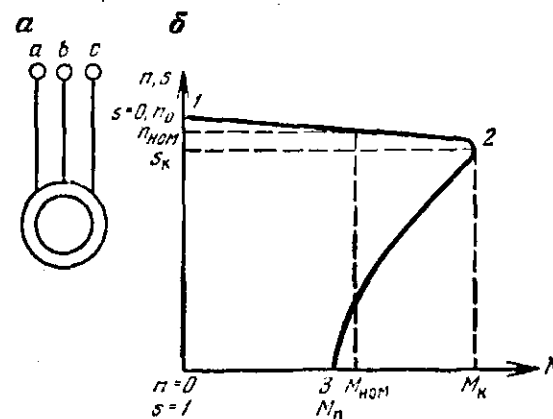


Рис. 7.1. Электрическая схема (а) и механическая характеристика (б) асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором

Зная величину M_k и s_k и задаваясь значениями s , можно построить механическую характеристику асинхронного двигателя (рис. 7.1, б).

Участок 1, 2 представляет собой рабочую, устойчивую часть характеристики, на которой двигатель работает устойчиво. Потеря скорости при изменении нагрузки составляет 3—6% номинальной, поэтому эту часть характеристики относят к разряду жестких.

Участок характеристики 2, 3 — нерабочий. Двигатель работать под нагрузкой на этой части характеристики не может, поэтому эту часть характеристики называют неустойчивой.

Отношение критического момента M_k к номинальному $M_{ном}$ называется перегрузочной способностью двигателя λ :

$$\lambda = \frac{M_k}{M_{ном}}.$$

Отношение пускового момента M_0 к номинальному $M_{ном}$ называется кратностью пускового момента

$$k_p = \frac{M_0}{M_{ном}}.$$

Для двигателей общего назначения обычно $\lambda = 1,8 \div 3$; $k_p = 0,6 \div 0,9$. При пересечении характеристики с

ординатой получаем синхронную частоту вращения n_0 , которая определяется по формуле

$$n_0 = \frac{60f}{p},$$

где f — частота переменного тока; p — число пар полюсов статорной обмотки.

Такой частоты вращения ротор двигателя не может достичь самостоятельно, так как для этого необходимо, чтобы момент сопротивления был равен нулю.

Величина пускового тока в 3—8 раз больше номинального, т. е. $I_n = (3 \div 8) I_{ном}$, поэтому недопустимо держать включенным двигатель, если он не развернулся после включения или если он опрокинулся (остановился) в результате перегрузки.

✓ Трехфазный асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором имеет следующие положительные качества: простота конструкции; отсутствие нормально искрящих частей; большая перегрузочная способность и жесткость характеристики; надежность в работе и дешевизна в изготовлении.

Наряду с положительными качествами электродвигатель с короткозамкнутым ротором имеет следующие недостатки: высокая чувствительность двигателя к колебаниям напряжения; большой пусковой ток; малый пусковой момент.

Учитывая особенности механической характеристики асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором, применять их рекомендуется для установок с жесткой характеристикой, перегружаемых в процессе работы и запускаемых без нагрузки.

Трехфазные асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором общего назначения из-за малых пусковых моментов и больших пусковых токов мало пригодны для привода горных машин. Для них созданы специальные короткозамкнутые электродвигатели с уменьшенным пусковым током и увеличенным пусковым моментом.

✓ В основу улучшения пусковых свойств короткозамкнутых двигателей положен принцип автоматического включения дополнительного активного сопротивления в обмотку ротора на период пуска при сохранении принципиального устройства короткозамкнутого ротора. Осуществление этого принципа достигается за счет специ-

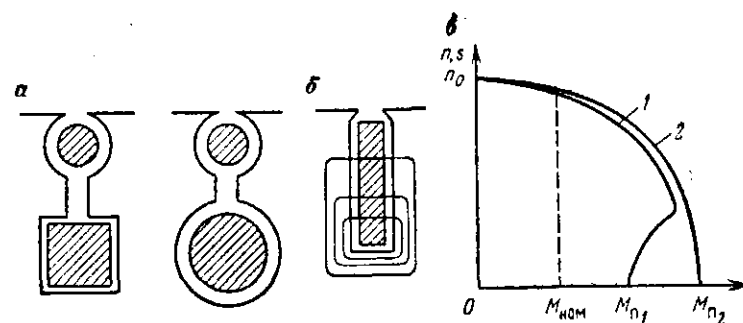


Рис. 7.2. Механические характеристики асинхронных двигателей со специальной роторной обмоткой

альной конструкции обмоток ротора, активное сопротивление которых автоматически изменяется по мере изменения скольжения в двигателе. Для этого обмотки ротора выполняются либо с глубоким пазом (рис. 7.2, б), либо с двойной «беличьей клеткой» (рис. 7.2, а).

Механические характеристики двигателя с глубоким пазом 1 и двигателя с двойной «беличьей клеткой» 2 приведены на рис. 7.2 в.

Как видно из характеристик, пусковой момент двигателя с двойной «беличьей клеткой» больше критического, поэтому опрокидывание этого двигателя в результате перегрузки менее вероятно. Даже при вынужденной остановке двигатель сохранит большой пусковой момент и легко разгонится, как только будет устранена причина перегрузки.

7.2. Механическая характеристика трехфазного асинхронного двигателя с фазным ротором

✓ Схема подключения двигателя к сети показана на рис. 7.3, а. В отличие от электродвигателя с короткозамкнутым ротором, двигатель с фазным ротором имеет фазную обмотку на роторе, концы которой выведены на кольца, закрепленные на валу ротора. При замыкании колец накоротко двигатель работает как короткозамкнутый.

Механическая характеристика двигателя будет соответствовать кривой 1 на рис. 7.3, б. Электродвигатель

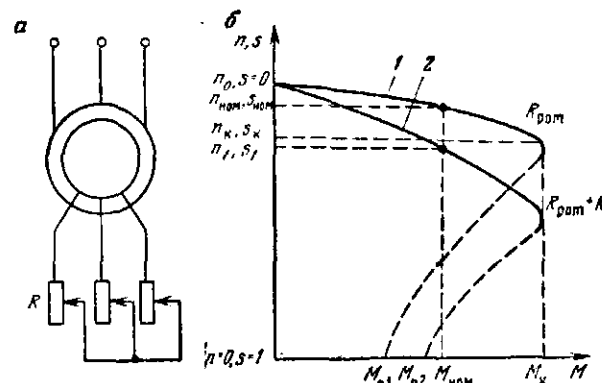


Рис. 7.3. Электрическая схема (а) и механические характеристики (б) асинхронного двигателя с фазным ротором

имеет определенные значения $M_{\text{ш}}$, $M_{\text{к}}$, $s_{\text{к}}$, $M_{\text{ном}}$, $n_{\text{ном}}$, $n_{\text{к}}$. Наклон рабочей части характеристики определяется величиной сопротивления ротора $R_{\text{рот}}$.

Если между кольцами обмотки ротора включить дополнительное активное сопротивление R (как показано на рис. 7.2, а), то механическая характеристика станет более мягкой (рис. 7.2, б, кривая 2), при сохранении той же величины $M_{\text{к}}$. Чем больше по величине сопротивление R , тем при большем значении $s_{\text{к}}$ двигатель будет иметь максимальный (критический) момент $M_{\text{к}}$. При этом изменится и величина пускового момента в сторону увеличения его.

Можно подобрать такое значение R , при котором пусковой момент станет равен критическому. Если в процессе работы сопротивление R не будет выведено, то двигатель будет работать при моменте сопротивления, равном номинальному моменту, с частотой вращения n_1 и скольжением s_1 . При этом n_1 будет меньше $n_{\text{ном}}$ (соответственно $s_1 > s_{\text{ном}}$). Если для данного случая построить скоростную характеристику, то окажется, что при сопротивлении в цепи ротора $R_{\text{рот}} + R$ пусковой ток меньше, чем при работе двигателя только с сопротивлением $R_{\text{рот}}$ (т. е. при работе двигателя с короткозамкнутым ротором). Таким образом, включая в цепь ротора асинхронного двигателя с фазным ротором различные по величине допол-

нительные сопротивления, можно увеличить пусковой момент, одновременно уменьшая величину пускового тока, а также получать различную частоту вращения при заданном моменте сопротивления. ✓

Указанные особенности асинхронного двигателя с фазным ротором дают возможность применять его в установках, где требуется большой пусковой момент, небольшой пусковой ток и регулирование частоты вращения.

Асинхронный двигатель с фазным ротором имеет ограничительное применение потому, что у него коэффициент мощности меньше, чем у таких же двигателей с короткозамкнутым ротором, включение дополнительного сопротивления в цепь ротора вызывает неоправданные потери электрической энергии (на нагрев реостата), двигатель имеет искрящие части.

7.3. Механическая характеристика синхронного двигателя

Синхронный двигатель состоит из статора с обмоткой, которая включается в сеть трехфазного тока и выполняет роль якоря машины, и ротора с обмоткой, которая получает питание от постороннего источника постоянного тока и выполняет роль индуктора машины.

Вращающий момент двигателя определяется по формуле

$$M = M_{\text{max}} \sin \Theta,$$

где M_{max} — максимальный момент синхронного двигателя; Θ — угол расхождения между полюсами магнитных полей статора и ротора.

В синхронных двигателях с увеличением нагрузки частота вращения не меняется, а увеличивается угол Θ , поэтому механическая характеристика будет абсолютно жесткой (рис. 7.4, а), а для определения величины моментов используют угловую характеристику синхронного двигателя (рис. 7.4, б) — зависимость $M = f(\Theta)$.

Из угловой характеристики видно, что в левой части ее с увеличением угла Θ момент вращения M увеличивается, в правой части с увеличением угла Θ момент уменьшается. Таким образом, устойчивая работа двигателя возможна только на левой части характеристики.

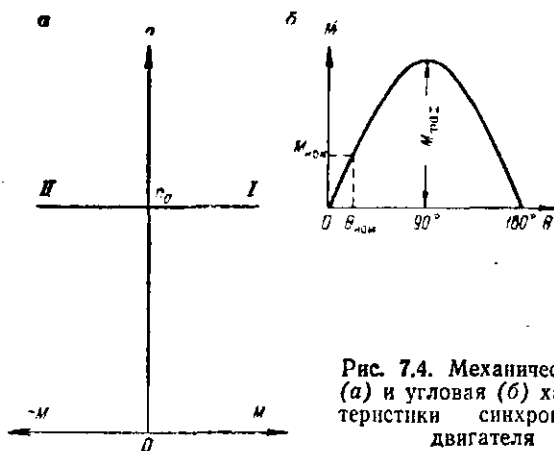


Рис. 7.4. Механическая (а) и угловая (б) характеристики синхронного двигателя

Обычно угол $\theta = 20 \div 30^\circ$ соответствует номинальному моменту электродвигателя $M_{ном}$. Перегрузочная способность синхронного двигателя $\lambda = 2 \div 2,5$.

В зависимости от величины тока возбуждения двигатель может работать с $\cos \phi$ меньше единицы (ток возбуждения меньше номинального) или равным единице (ток возбуждения равен номинальному). При перевозбуждении синхронный двигатель вырабатывает реактивную энергию и отдает ее в сеть переменного тока. Это свойство двигателя используется для улучшения $\cos \phi$ сети.

Синхронные двигатели применяются для привода крупных, редко отключаемых машин (компрессоров, вентиляторов, насосов).

Регулирование частоты вращения двигателей переменного тока может быть осуществлено за счет изменения частоты тока, числа пар полюсов, включения в цепь ротора дополнительных активных сопротивлений, введения в цепь ротора дополнительной э. д. с. Для электродвигателей с короткозамкнутыми роторами возможности регулирования частоты вращения ограничены, так как изменение частоты тока требует установки дополнительного оборудования, изменение числа пар полюсов требует выполнения специальной обмотки в статоре и пересоединения ее в процессе эксплуатации, а включение допол-

нительных сопротивлений в цепь ротора выполнить невозможно.

Практически нерегулируем и синхронный двигатель, а в электродвигателях с фазным ротором регулирование частоты вращения достигается за счет ввода в цепь ротора дополнительных активных сопротивлений. Данный способ неэкономичен, так как расходуется электроэнергия на нагрев реостата и уменьшается мощность на валу двигателя.

Глава 8

УПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯМИ

8.1. Режимы работы электродвигателей

В процессе выполнения своих функций электродвигатели работают в нескольких режимах: пуск, работа с номинальными данными, торможение и остановка.

Пуск, торможение и остановка электродвигателя относятся к неустановившимся режимам работы, так как в эти периоды величины, характеризующие работу электродвигателя, постоянно меняются.

В соответствии с требованиями технологического процесса зачастую возникает необходимость в регулировании частоты вращения машин и механизмов. Регулирование можно осуществлять механическими (применение различных муфт, изменение передаточного числа редуктора и т. д.) и электрическими способами (изменение схем включения двигателя, параметров питающей сети). При выборе способов регулирования учитываются необходимая точность и стабильность показаний, экономичность, плавность, диапазон.

Электрические способы регулирования оказались наиболее простыми и точными, позволяющими автоматизировать многие производственные процессы.

Остановку электродвигателя можно считать как конечный результат уменьшения угловой скорости от ω до 0.

Для целей регулирования электродвигателей зачастую используют обратимость электрических машин. Так, в периоды пуска машины в работу и производительной работы ее электродвигатель работает по прямому

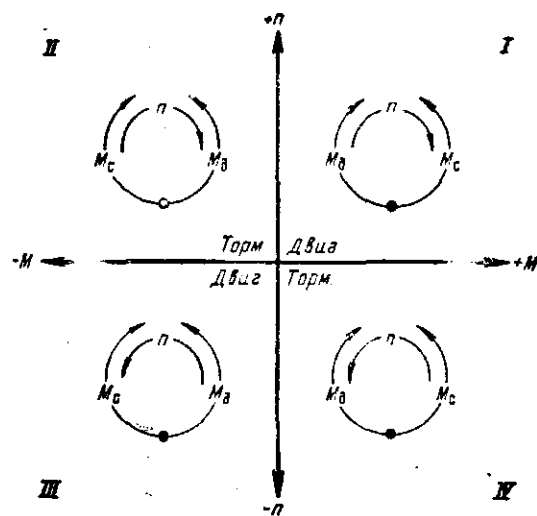


Рис. 8.1. Места расположения характеристики при двигательных и тормозных режимах работы двигателей

назначению, т. е. создает на валу машины вращающий момент, а в периоды, когда необходимо уменьшить скорость или плавно остановить машину, он превращается в генератор электрической энергии, который вращается за счет запасенной машиной кинетической энергии. Генерируемая электроэнергия отдается в сеть или гасится в сопротивлениях — электродвигатель тормозит движение машины.

Таким образом, электродвигатели могут работать в двигательном и тормозном режимах.

Если направление вращения и момент на валу двигателя совпадают по знаку — это будет двигательный режим. При изображении характеристики в прямоугольной системе координат M и n она будет располагаться либо в I, либо в III квадранте (рис. 8.1).

Если направление вращения имеет знак «+», а момент — знак «—», или наоборот, — это будет тормозной режим. Графически характеристики будут располагаться либо во II, либо в IV квадранте.

Существует три способа торможения электродвигателей:

генераторное (рекуперативное) торможение с отдачей электроэнергии в сеть. Двигатель преобразует кинетическую энергию механизма в электрическую. Режим возможен тогда, когда частота вращения вала двигателя станет больше частоты вращения n_0 идеального холостого хода двигателя;

торможение противовключением происходит тогда, когда двигатель под воздействием сил, действующих со стороны рабочей машины, вращается в направлении, противоположном тому, на которое включены его обмотки;

динамическое торможение происходит при условии, когда двигатель работает генератором на внешнее сопротивление.

8.2. Пуск, торможение и регулирование частоты вращения двигателей постоянного тока

Пуск двигателей постоянного тока осуществляется с помощью специального пускового сопротивления, включенного в цепь якоря. Сопротивление пускового реостата подбирается так, чтобы пусковой ток был не более 200—250% номинального и чтобы за период пуска двигателя реостат не перегревался. В процессе пуска величина сопротивления реостата постепенно уменьшается до 0. При данном способе пуска часть энергии расходуется на нагрев реостата.

Применяется и другой, более совершенный и экономичный способ — плавное повышение напряжения на зажимах двигателя. Этот способ возможен при наличии управляемого преобразователя.

Оба эти способа могут применяться и для регулирования частоты вращения двигателей.

Широкое распространение в электроприводе рудничных машин получил способ регулирования частоты вращения двигателя независимого возбуждения путем изменения величины напряжения, подводимого к зажимам якоря. Питание якоря осуществляется от индивидуального, регулируемого источника постоянного тока: машинного генератора (система генератор — двигатель, Г — Д), тиристорного преобразователя (система управляемый кремниевый выпрямитель — двигатель, КУВ — Д) и др.

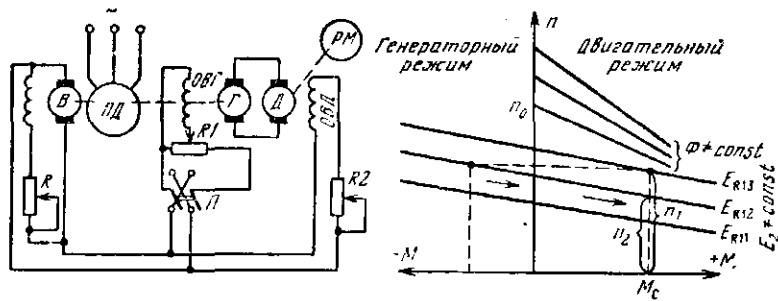


Рис. 8.2. Электрическая схема и механические характеристики системы Г—Д

Схема простейшей системы Г—Д и ее характеристики приведены на рис. 8.2.

Приводной двигатель ПД (синхронный или асинхронный) вращает с постоянной частотой якоря генератора Г и возбудителя В. От возбудителя В питаются обмотки возбуждения двигателя ОБД и генератора ОБГ. Генератор подает напряжение непосредственно на якорь двигателя Д, который приводит в движение машину РМ.

Регулирование частоты вращения двигателя Д производится за счет изменения величины напряжения на зажимах якоря. Изменение величины напряжения достигается изменением величины магнитного потока генератора Г с помощью реостата R1. С помощью переключателя П возможно изменение направления магнитного потока возбуждения генератора Г, а значит полярности подаваемого на двигатель напряжения. Так достигается реверсирование двигателя Д.

Известно, что при изменении величины напряжения E_2 можно получить любое количество искусственных характеристик двигателя Д, т. е. регулировать частоту вращения его в широких пределах (характеристики E_{R11} , E_{R12} , E_{R13} и т. д.).

Изменяя величину сопротивления R2 в обмотке возбуждения двигателя, получаем изменение величины магнитного потока Ф двигателя. В этом случае характеристики располагаются выше естественной характеристики двигателя, т. е. частота вращения двигателя регулируется и в сторону увеличения ее по сравнению с номинальной.

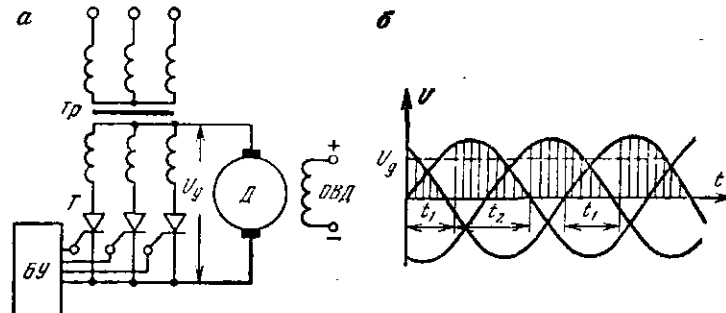


Рис. 8.3. Электрическая схема и график изменения величины напряжения системы КУВ-Д

Система Г—Д и ее варианты применяются для привода подъемных машин, экскаваторов, прокатных станов и др. Ее недостатки: высокая первоначальная стоимость, относительно низкий к. п. д. и громоздкость.

Для привода горных машин получила применение система КУВ—Д. В этой системе источником питания двигателя служит кремниевый управляемый вентиль — тиристор. Изменение напряжения на зажимах якоря осуществляется путем изменения времени открывания тиристора.

На схеме (рис. 8.3, а) изображены двигатель постоянного тока Д с обмоткой независимого возбуждения ОБД, трансформатор Тр, группа тиристоров Т, блок управления ими БУ. График изменения средней величины напряжения U_d на зажимах двигателя приведен на рис. 8.3, б.

Регулирование напряжения на зажимах якоря осуществляется путем изменения продолжительности пребывания тиристоров Т в закрытом состоянии t_1 . Сигнал на открытие тиристора в проводящем направлении подается регулируемым блоком управления БУ.

При включении трансформатора Тр напряжение подается на аноды тиристоров. Когда на анод поступает отрицательная полуволна напряжения, тиристор закрыт. Во время подачи положительной полуволны тиристор будет закрыт еще некоторое время t_1 , пока с блока БУ не поступит сигнала на открытие его.

С момента подачи сигнала тиристор будет пропускать ток в течение времени t_2 , а затем снова закроется. Так будет происходить каждую положительную полуволну.

Изменение продолжительности нахождения тириستоров в открытом состоянии вызывает изменение среднего значения выпрямленного напряжения U_d , подаваемого на зажимы якоря, благодаря чему возможно плавное регулирование частоты вращения электродвигателя.

Так как тиристоры имеют малые габариты и массу при большой мощности, высокий к. п. д., большой срок службы, в них отсутствуют движущиеся и нормально искрящие части, они получают все большее применение в электроприводе рудничных машин. Так, например, система КУВ — Д уже нашла применение в приводе горных комбайнов.

8.3. Правила техники безопасности при эксплуатации электродвигателей

Для надежной и бесперебойной работы электродвигателей необходимо, чтобы обслуживающий персонал выполнял правила их хранения, транспортирования, монтажа и эксплуатации.

Электродвигатели обычно хранят на поверхности шахт в чистом, сухом, желательно отапливаемом помещении, с хорошей вентиляцией. Двигатели, полученные с заводов, хранят в заводской упаковке; двигатели, бывшие в употреблении, хранят после тщательной очистки их от грязи, ржавчины и консервации быстрокоррозируемых частей с помощью консистентной смазки. Взрывозащитные поверхности защищаются от случайных повреждений деревянными щитками.

При транспортировании электродвигатели нельзя бросать, кантовать, сбрасывать с машин и т. д.

Перед спуском электродвигателя в шахту проверяют исправность его механической части, отсутствие механических повреждений, наличие и соответствие знаков исполнения будущим условиям работы, соответствие типа и характеристики требуемым, наличие комплектности и смазки в подшипниках.

Если двигатель продолжительное время не работал, с помощью мегомметра проверяют качество изоляции обмотки по отношению к земле и между фазами.

Для проверки качества изоляции двигателей с $U_{ном} < 1000$ В рекомендуется брать мегомметр на напряжение 500—1000 В, а для двигателей с $U_{ном} \geq 1000$ В — мегомметр на 2500 В.

Качество изоляции считается удовлетворительным, если мегомметр покажет величину сопротивления

$$R = k \frac{U_{ном}}{1000},$$

где $U_{ном}$ — номинальное напряжение электродвигателя, В; k — поправочный коэффициент, зависящий от температуры нагрева электродвигателя.

Значение поправочного коэффициента приведено ниже:

Температура нагрева двигателя, К	343	333	323	313	303	293	283
Значение коэффициента k	1	1,5	2	3	4	6	8

При монтаже электродвигателей необходимо обращать особое внимание на надежность и соответствие фундамента (при отдельной установке двигателя); осанность валов электродвигателя и машины; надежность и прочность крепления электродвигателя; выполнение требований, обеспечивающих нужный уровень взрывозащиты; наличие и качество заземления электродвигателя.

В процессе эксплуатации электродвигателей необходимо: осуществлять постоянное наблюдение за режимом работы электродвигателя и его нагрузкой, не допускать длительных перегрузок его; систематически очищать электродвигатель от грязи и пыли; следить за наличием и достаточной затяжкой крепежных деталей, обеспечивающих взрывозащиту электродвигателя; ежедневно контролировать наличие и качество заземляющих устройств; осуществлять ремонтные работы в соответствии с графиком планово-предупредительного ремонта; постоянно контролировать наличие и концентрацию метана в месте установки электродвигателя и пусковой аппаратуры (при содержании метана 2% отключать электродвигатель и докладывать об этом лицам технического надзора).

ПРАВИЛА ИЗОБРАЖЕНИЯ И ТЕХНИКА ЧТЕНИЯ
СХЕМ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК

9.1. Виды и типы схем, условные графические обозначения для электрических схем

Условные обозначения и правила выполнения электротехнических чертежей регламентируются общегосударственными стандартами «Единой системы конструкторской документации».

В соответствии с ГОСТ схемы делятся по видам на электрические, гидравлические, пневматические, кинематические.

В зависимости от назначения электрические схемы делят на следующие типы:

а) структурная схема — определяющая основные функциональные (с самостоятельными задачами) части установки, их назначение и взаимосвязи; б) функциональная схема — разъясняющая определенные процессы, протекающие в отдельных функциональных частях установки; в) принципиальная схема — определяющая полный состав элементов и связей между ними и, как правило, дающая детальное представление о принципах работы установки; элементом схемы называется составная часть схемы, которая не может быть разделена на части, имеющие самостоятельное функциональное назначение (резистор, трансформатор, реле и др.); г) монтажная схема — показывающая соединение отдельных элементов установки с помощью проводов, кабелей и т. д. с указанием места присоединения их; д) схема подключения — показывающая внешние подключения установки; е) общая схема — определяющая составные части комплекса и соединения их между собой; ж) схема расположения — определяющая относительное расположение составных частей установки.

Для эксплуатации установок, изучаемых в горной электротехнике, чаще всего достаточно иметь принципиальную схему, а для ремонта их — монтажную.

В принципиальных схемах отдельные элементы приборов располагаются не по территориальному принципу, а по принципу удобства чтения схемы. При этом отдель-

ные элементы одного и того же аппарата могут располагаться в разных местах схемы с целью упрощения схемы.

В монтажных схемах, наоборот, элементы приборов располагаются по территориальному признаку.

Для вычерчивания схем применяются условные обозначения, приведенные в ГОСТах: 2.702—75; 2.721—74; 2.723—68; 2.755—74; 2.703—68; 183—74 и др. Кроме перечисленных ГОСТов, в горной промышленности применяются отраслевые условные обозначения, которые даны в Правилах технической эксплуатации угольных и сланцевых шахт. Некоторые условные обозначения даны в табл. 9.1.

Помимо условных обозначений в схемах применяется еще и маркировка элементов схемы, без которой схему читать невозможно. Система маркировки определяется ГОСТ 2.702—75. Для схем, которые будут изучаться в курсе, необходимо знать, что в одной и той же схеме при применении нескольких однотипных аппаратов или элементов им присваивают схемную маркировку из букв и цифр. Например, одно реле обозначают *P1*, другое — *P2*, третье — *P3*; если реле *P1* имеет несколько контактов, включенных в разные цепи, их тоже обозначают номерами 1, 2, 3, через дефис (*P1-1* — первый контакт реле *P1*, *P2-3* — третий контакт реле *P2* и т. д.).

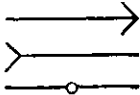
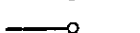
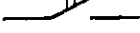
Согласно ЕСКД схемная маркировка аппаратов называется их позиционными обозначениями.

Во всех принципиальных схемах положения контактов вычерчивают такими, какие они есть при условии, что катушки, приводящие в движение контакты, не обтекаются током, а рукоятки ручного включения — выключены.

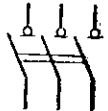
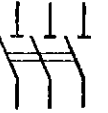
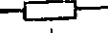
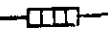
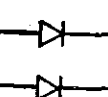
9.2. Некоторые рекомендации по чтению электрических схем

Принципиальные схемы нецелесообразно заучивать, их надо научиться читать. Для этого необходимо знать на память: наиболее распространенные условные обозначения, применяющиеся в курсе; нужные в каждом конкретном случае сведения из электротехники; схемы наиболее распространенных узлов электроустановок (схемы двигателей, выпрямителей, усилителей, реле и т. д.); порядок, в котором необходимо читать схемы.

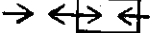
Таблица 9.1

Наименования	Обозначения
Контакт контактного соединения а) разъемного соединения штырь гнездо б) разборного соединения в) неразборного соединения	   
Контакт коммутационного устройства Общее назначение а) замыкающий б) размыкающий в) переключающий	  
Контакт замыкающий с замедлителем, действующим: а) при срабатывании б) при возврате	 
Контакт размыкающий с замедлителем, действующим: а) при срабатывании б) при возврате	 
Контакт: а) разъединителя б) выключателя-разъединителя	 
Контакт с автовозвратом при перегрузке	 
Контакт для коммутации силовой цепи а) замыкающий б) замыкающий дугогасительный	 

Продолжение табл. 9.1

Наименования	Обозначения
Выключатель-разъединитель трехполюсный	
Выключатель трехполюсный с автовозвратом	
Разъединитель трехполюсный	
Выключатель кнопочный нажимной: а) с замыкающим контактом б) с размыкающим контактом	 
Резистор: постоянный переменный Элемент нагревательный	  
Конденсатор постоянной емкости	
Диод	
Стабилитрон: а) односторонний б) двухсторонний	 
Однофазная мостовая выпрямительная схема	

Продолжение табл. 9.1

Наименования	Обозначения
Обмотка реле контактора и магнитного пускателя Однообмоточное реле	
Двухобмоточное реле	
Промежуток искровой защитный Разрядник роговой	
Разрядник трубчатый	
Транзистор типа $n-p-n$ с коллектором электрически соединенным с корпусом	
Транзистор типа $p-n-p$	
Индикатор тлеющего разряда (неоновая лампа)	
Стабилитрон	
Лампа накаливания осветительная и сигнальная	

Продолжение табл. 9.1

Наименование	Обозначения
Корпус	
Заземление	
Пускатель (для люминесцентных ламп)	
Гудок	

При чтении принципиальных схем придерживаются следующего порядка: а) формулируют цель; б) устанавливают части установки, имеющие самостоятельное функциональное значение, изучают их работу, находят по схеме элементы функциональных частей (катоды, контакты и др.); в) чертят или представляют структурную схему; г) определив источник питания, устанавливают положение элементов схемы при положении кнопок и рукояток — «выключено»; д) мысленно предпринимают действия, необходимые для осуществления цели, следят за изменением положения элементов схемы, которые происходят в результате протекания тока по вновь образованным цепям.

Раздел третий

ПОДСТАНЦИИ И СЕТИ НА ПОВЕРХНОСТИ ШАХТ

Глава 10

ПРИНЦИПИАЛЬНЫЕ СХЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ШАХТ И ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ

10.1. Категории электроприемников по надежности электроснабжения

На промышленном предприятии имеется большое количество электрифицированных приводов, каждый из которых предназначен для выполнения определенных технологических операций. Для нормального функционирования предприятия значение отдельных операций различно: невыполнение одних вызывает неудобства в работе, других — понижение производительности труда, третьих — создает обстановку, опасную для жизни людей. Поэтому все электроприемники по надежности электроснабжения делятся на три категории.

К электроприемникам первой категории относятся такие, у которых перерыв в подаче электроэнергии может повлечь за собой опасность для жизни людей, нанести значительный ущерб народному хозяйству страны, на продолжительное время расстроить технологический процесс.

Перерыв в подаче электроэнергии допускается только на время, необходимое для автоматического включения резерва, поэтому потребители первой категории должны быть обеспечены 100%-ным резервным питанием от двух самостоятельных источников электроснабжения.

К потребителям первой категории на шахте относятся: главные вентиляторные установки; клетевые подъемы, главные и противопожарные насосные установки, гидроподъемы, установки для дегазации пластов, насосы котельных, главный водоотлив.

Из состава электроприемников первой категории выделяется особая группа электроприемников, бесперебойная работа которых необходима для безаварийного останова производства с целью предотвращения угрозы жизни людей, взрывов, пожаров и повреждения дорогостоящего оборудования. Для электроснабжения особой группы электроприемников первой категории предусматривается дополнительное питание от третьего независимого источника питания.

К электроприемникам второй категории относятся такие, у которых перерыв в подаче электроэнергии связан с прекращением производства продукции, вызывает простой машин и механизмов, рабочих, вызывает нарушение нормальной деятельности значительного количества городских и сельских жителей.

Перерыв в подаче электроэнергии допускается только на время, необходимое для включения резервного питания дежурным персоналом или выездной оперативной бригадой.

К потребителям второй категории на шахтах относятся: скиповый угольный подъем, компрессорная станция, зумфовой водоотлив, строительные объекты шахт.

К электроприемникам третьей категории относятся все остальные электроприемники, не входящие под определения первой и второй категорий. Перерыв в электроснабжении их допускается на время ремонта повреждения, но не более 24 ч.

К таким потребителям электроэнергии на шахте относятся: вспомогательные клетевые подъемы на вентилиционном стволе, скиповый породный подъем, обогатительная установка на поверхности шахты, участковые водоотливы с притоком до 50 м³/ч, конвейерный и рельсовый подземный транспорт, очистные и подготовительные работы, насосные станции водоснабжения и канализации и т. д.

Так как на шахтах имеются потребители всех категорий, электроснабжение их должно осуществляться от двух независимых источников электрической энергии.

10.2. Принципиальные схемы электроснабжения шахт

Так как передачу электроэнергии необходимо осуществлять с наименьшими затратами, обеспечивая

надежность электроснабжения потребителей, высокое качество электрической энергии и безопасность обслуживающего персонала, надо иметь сложную, хорошо продуманную систему линий передач, подстанций, тепловых сетей и т. д.

Совокупность электростанций, линий электро- и теплопередач, подстанций, связанных в одно целое общностью режима и непрерывностью процесса производства и распределения электрической и тепловой энергии, согласно ПУЭ, называют *энергетической системой*. *Электрической системой* называется часть энергосистемы, состоящая из генераторов, распределительных устройств, электрических сетей и электроприемников.

Чем крупнее энергосистема, тем более экономично, надежно работает она. В Советском Союзе созданы несколько энергосистем, в том числе крупнейшая в мире — Единая энергетическая система Советского Союза, куда вошли электростанции европейской части СССР общей мощностью свыше 150 млн. кВт. Большие работы ведутся по развитию объединенных энергосистем Средней Азии, Дальнего Востока и других энергосистем, еще не включенных в единую систему страны.

О грандиозных размерах этих систем говорят следующие цифры: для передачи электрической энергии используют напряжения 6, 10, 35, 110, 154, 220, 500, 750 кВ, ведутся работы по сооружению линий сверхвысокого напряжения в 1150 кВ для переменного тока и 1500 кВ для постоянного тока; протяженность линий электропередач напряжением 35 кВ и выше достигла к концу 9-й пятилетки 600 тыс. км и продолжает постоянно расти; в энергосистемах работают крупнейшие в мире Красноярская ГЭС мощностью в 6 млн. кВт, Братская ГЭС мощностью 4,1 млн. кВт, Углероская тепловая электростанция мощностью 3,6 млн. кВт.

В системах электроснабжения шахт используются различные подстанции и линии электропередач.

Подстанцией называется электроустановка, предназначенная для преобразования и распределения электроэнергии. Обычно подстанция состоит из трансформаторов, распределительных устройств, устройств защиты и управления. Подстанции бывают открытого типа, где основное оборудование располагается на открытых площадках, и закрытого типа, где оборудование

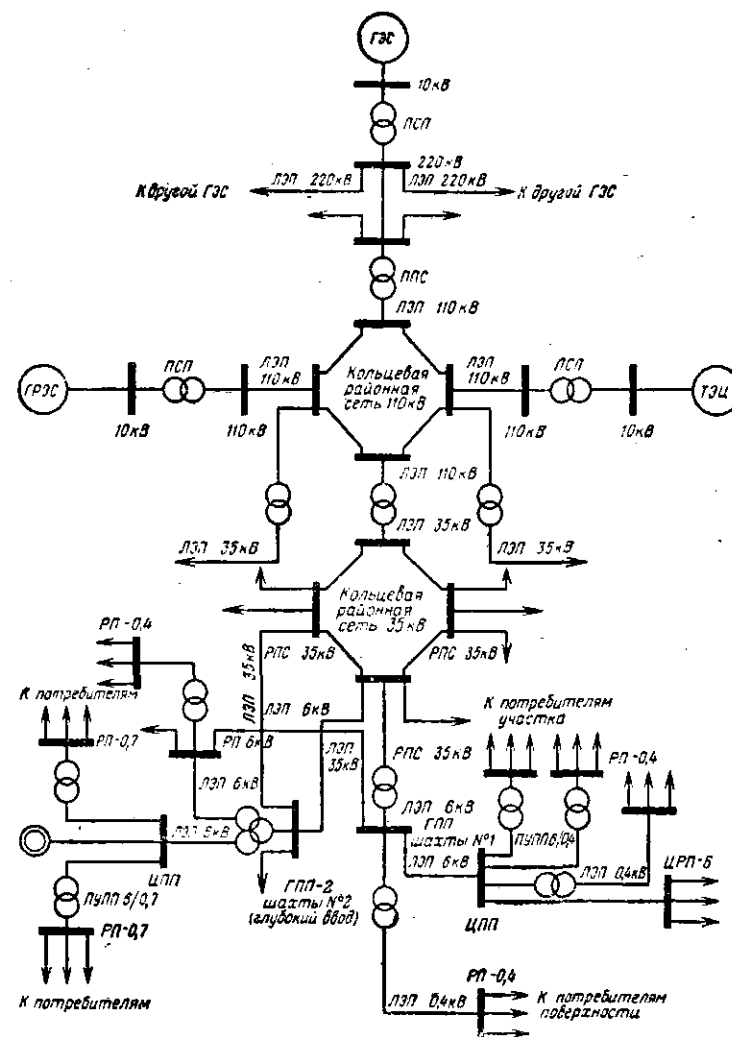


Рис. 10.1. Схема электроснабжения промышленного района

располагается внутри специальных помещений. Как правило, подстанции напряжением 35 кВ и выше строятся открытого типа, подстанции с напряжением 6, 10 кВ — располагаются в помещениях.

Согласно ПУЭ и ведомственным рекомендациям на шахтах используются поверхностные и подземные подстанции.

Для передачи электрической энергии на расстояние используются *линии электропередач (ЛЭП)*: воздушные (ВЛ) — устройство для передачи электрической энергии по проводам, расположенным на открытом воздухе и прикрепленным с помощью изоляторов к инженерным сооружениям или опорам; кабельные — устройства для передачи электроэнергии по изолированным проводам, имеющим общую защитную оболочку от повреждений — кабелям.

Примерная схема электроснабжения шахты представлена на рис. 10.1. Генераторным напряжением на электрических станциях является напряжение 10—20 кВ, поэтому на электростанциях устанавливаются повысительные трансформаторные подстанции ПСП. От ПСП по линиям электропередач электроэнергия поступает на понизительные подстанции промышленных районов ППС, которые снижают напряжение до 110, 35 кВ. От районных подстанций РПС напряжение 35 и 110 кВ подается на промплощадку шахты либо без трансформации (шахта № 2, ГПП-2), либо с трансформацией до 6 кВ (шахта № 1, ГПП). С шин ГПП электроэнергия распределяется между потребителями предприятия.

Система электроснабжения, при которой энергия высшего напряжения подается вплотную к потребителям с наименьшим количеством ступеней трансформации, называется *глубоким вводом*. Система глубокого ввода наиболее экономичная и перспективная.

В соответствии с положениями ПБ на угольных и сланцевых шахтах для питания потребителей электроэнергии разрешается использовать следующие величины напряжения: а) для питающих и распределительных сетей открытых разработок, на поверхности шахт и в подземных выработках — 6—10 кВ; б) для стационарных приемников электрической энергии, передвижных подстанций, а также при проходке стволов — не выше 6 кВ (в отдельных случаях, с разрешения Госгортехнадзора

СССР или республики, — 10 кВ); в) для передвижных приемников электрической энергии — не выше 1140 В; г) для стационарного освещения — не выше 220 В.

10.3. Воздушные и кабельные линии электропередач

Воздушные ЛЭП делятся на три класса: 1 класс — напряжением 35 кВ и выше; 2 класс — напряжением от 1 до 35 кВ; 3 класс — напряжением ниже 1 кВ.

Воздушные ЛЭП состоят из проводов, изоляторов, опор. Каждая фаза может состоять из одного или нескольких проводов.

Провода изготавливают из стали, алюминия, меди. При малых сечениях (до 6 мм² — из стали и до 10 мм² — из меди) провода изготавливают однопроволочными, при больших сечениях — многопроволочными. При больших сечениях (240 мм² и более) применяются комбинированные (сталслюдиниевые, сталежелезные) провода.

Провода с помощью изоляторов подвешивают к опорам.

Изоляторы изготавливают из стекла или фарфора. По конструкции они делятся на штыревые и подвесные (рис. 10.2). Штыревые изоляторы, жестко закрепленные на штырях, используются для напряжений 35 кВ и ниже, подвесные — для напряжений 35 кВ и выше. Подвесные изоляторы собираются в гирлянды: чем выше напряжение, тем больше количество их в гирлянде (для напряжения 35 кВ количество изоляторов в гирлянде равно 3—4).

Опоры для воздушных линий изготавливают из дерева, стали, железобетона. При изготовлении их из дерева

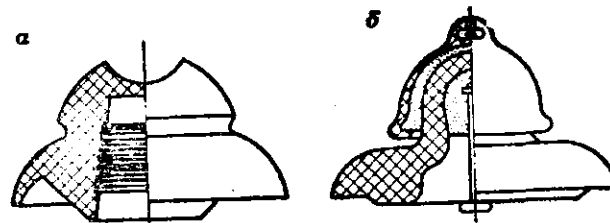


Рис. 10.2. Линейные изоляторы:

а — штыревые; б — тарельчатые

опоры делаются составными: в земле находятся короткие столбы из металла или железобетона (так называемые «пасынки»), к которым при помощи проволочных бандажей прикрепляют основные части опоры — стойки.

По назначению опоры бывают концевыми (устанавливаются в конце линии и воспринимают на себя усилия натяжения проводов), анкерными (устанавливаются в середине линии через определенные промежутки для восприятия усилия натяжения проводов), угловыми (устанавливаются на поворотах линии) и промежуточными (предназначены для поддержания веса проводов между анкерными опорами).

По форме опоры бывают: одностоечные, А-образные, П-образные, АП-образные, мачтовые и др. (рис. 10.3).

Достоинства воздушных ЛЭП: невысокая стоимость; высокие скорости сооружения; относительно невысокие затраты на эксплуатацию.

Недостатки воздушных ЛЭП: высокая уязвимость; потребность в больших площадях для сооружения.

В условиях ограниченности пространства для передачи электроэнергии используют кабели.

Стоимость кабельных линий электропередач выше стоимости воздушных ЛЭП за счет стоимости самого кабеля.

По назначению кабели делятся на: а) силовые — предназначенные для передачи больших величин токов при определенной величине напряжения; они имеют небольшое количество жил (от 1 до 9) и изготавливаются на напряжение 1, 6, 10, 35 кВ и выше; б) контрольные — предназначенные для передачи сигналов, связанных с контролем за работой того или иного механизма; обычно это кабели для напряжения до 1 кВ, с большим количеством жил (от 4 до 37), сечением от 1 до 10 мм²; в) связи — предназначенные для осуществления проводной связи. Кабели для телефонной связи характеризуются большим числом пар жил (от 10 до 1200); жилы небольшого сечения (от 0,4 до 0,7 мм²).

По конструкции силовые кабели делятся на: а) бронированные, которые применяются для электроснабжения стационарных электропотребителей; б) гибкие — предназначенные для подвода напряжения к передвижным машинам и механизмам; в) полугибкие — которые имеют такие же защиты, как и бронированные, но обла-

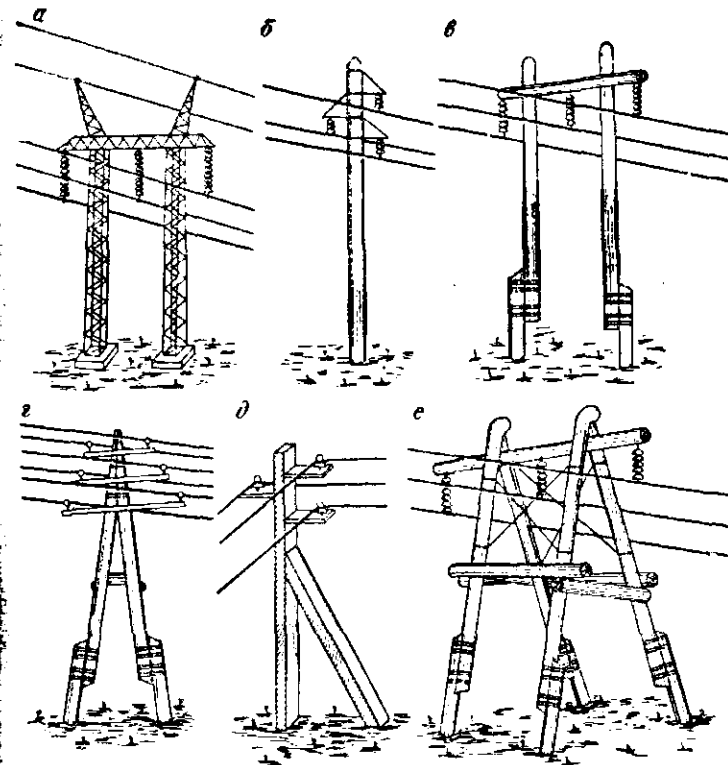


Рис. 10.3. Опоры воздушных линий:

б, в — промежуточные опоры (портального типа, одностоечная, П-образная);
г, д, е — анкерно-угловые опоры (А-образная, Л-образная, АП-образная)

дают большой эластичностью; применяются для электро-снабжения мощных передвижных потребителей.

Для канализации электроэнергии на поверхности шахт чаще всего применяются бронированные силовые кабели.

Наибольшее распространение получили трех- и четырехжильные кабели. Если токоведущие жилы изготовлены из меди, в наименовании кабеля отсутствуют какие-либо условные буквы или знаки. При изготовлении жил из алюминия в наименовании кабеля первая буква А.

В большинстве бронированных кабелей в качестве изоляции токоведущих жил используется кабельная

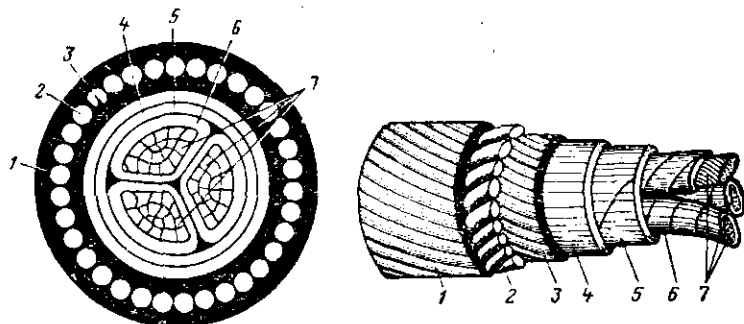


Рис. 10.4. Бронированный кабель марки ЦСКН:

1 — оплетка из пропитанной кабельной пряжи; 2 — броня из круглых оцинкованных проволок; 3 — кабельная пряжа; 4 — свинцовая оболочка; 5 — поясная изоляция из кабельной бумаги; 6 — жилажная изоляция из кабельной бумаги; 7 — токоведущие жилы

бумага, пропитанная специальными составами на минеральном масле.

Для передачи электроэнергии напряжением до 35 кВ на шахтах наиболее широко используют кабели с бумажной изоляцией, пропитанной масло-канифольной смесью, обедненными и нестекающими смесями; в последнее время начали применять кабели с пластмассовой изоляцией. Для сохранения диэлектрических свойств изоляции фазы закрывают сплошной оболочкой из свинца или алюминия (о материале оболочки свидетельствуют буквы в наименовании кабеля: А — алюминиевая оболочка, С — свинцовая оболочка). Для предохранения токоведущих частей и свинцовой (алюминиевой) оболочки от механических повреждений сверху свинцовой оболочки размещают броню кабеля (отсюда наименование — бронированные кабели). Броня выполняется из стальных лент (в наименовании кабеля буква Б), из плоских проволок (П), из круглых проволок (К). Броня кабеля в какой-то степени воспринимает на себя механическую нагрузку при растяжении кабеля, поэтому для вертикальной прокладки берут кабели с наиболее прочной броней.

Для защиты брони кабеля от коррозии ее покрывают антикоррозийными лаками, пряжей, пропитанной антикоррозийными веществами или пластмассами. Для шахт эти покрытия должны быть негорючими.

Конструкция и последовательность расположения элементов бронированного кабеля показаны на рис. 10.4.

На поверхности шахт разрешается применять кабели с алюминиевыми жилами в алюминиевой оболочке. В шахте применение таких кабелей запрещено. Кабели с медными жилами в свинцовой оболочке применяют на поверхности и в шахте.

В табл. 10.1 приведен перечень кабелей, которые используются для передачи электроэнергии.

Таблица 10.1

Марка	Характеристика	Условия прокладки
СБ (АСБ)	С медными (алюминиевыми) жилами, с бумажной изоляцией, в свинцовой оболочке, бронированный стальными лентами, с джутовым покрытием	Горизонтальная прокладка
СБГ (АСБГ)	То же, с покрытием брони лаком	То же
СБ-В (АСБ-В)	То же, что и СБ, но с бумажной изоляцией, пропитанной обедненной смесью	Прокладка по наклонным поверхностям
СБГ-В (АСБГ-В)	То же, что и СБГ, но с пропиткой обедненной смесью	То же
СП-В (АСП-В)	С медными (алюминиевыми) жилами, с обедненной изоляцией, бронированной плоской проволокой, со свинцовой оболочкой, покрыт джутовой оплеткой	То же, при разности уровней до 100 м
ЦСКН	С медными жилами, с изоляцией на основе церезина, бронированный круглой проволокой, со свинцовой оболочкой, с негорючим покрытием	Для вертикальной прокладки без учета разности уровней
ВРБ	С медными жилами, с резиновой изоляцией жил, бронированный стальными лентами, в поливинилхлоридной оболочке, с защитным противокоррозионным покрытием	Для горизонтальных прокладок
ВВБ	С медными жилами, в оболочке и с изоляцией из поливинилхлоридного пластика, бронированный стальными лентами с защитным противокоррозионным покрытием	То же

На схемах кабели обозначаются следующим образом: $\frac{\text{СБ } 3 \times 50}{300}$, где СБ — марка кабеля, 3×50 — ка-

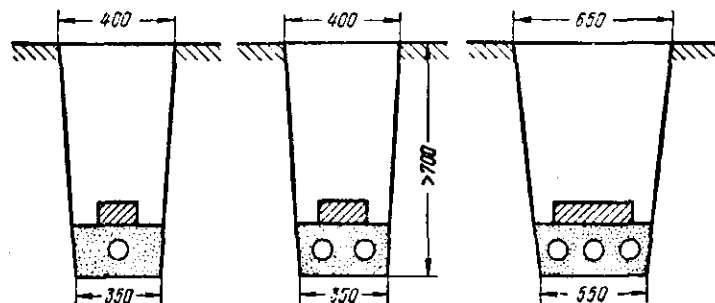


Рис. 10.5. Прокладка кабеля в траншеях

бель трехжильный, сечение каждой жилы 50 мм^2 , 300 — длина кабеля в метрах.

На территории промплощадки шахты прокладка кабелей должна осуществляться в проходных и непроходных коммуникационных каналах, земляных траншеях, по эстакадам, металлоконструкциям, на опорах с подвеской на тросах.

Прокладка кабеля с бумажной изоляцией при температуре ниже 0°C должна производиться после подогрева.

При прокладке в траншеях необходимо выдерживать размеры, указанные на рис. 10.5. В нижней части траншеи должен быть насыпан слой песка (подушка) толщиной 100 мм. Кабель следует укладывать волнообразно, чтобы избежать повреждения его при осадке почвы.

Если в местах прокладки кабеля предполагаются земляные работы, то для защиты кабеля от возможных повреждений сверху прокладывают слой кирпича. Расстояние между соседними кабелями должно быть не менее 100 мм.

При прокладке по эстакадам и металлоконструкциям кабель крепится на специальных кронштейнах (при прокладке нескольких кабелей) или индивидуальными скобами через 3 м.

Сведения о гибких и полугибких кабелях будут приведены в разделе «Электроснабжение потребителей в подземных выработках».

10.4. Токи короткого замыкания в сетях напряжением выше 1000 В

Короткое замыкание (к. з.) — это соединение через весьма малое сопротивление двух частей электроустановки, находящихся под линейным или фазным напряжением. Короткие замыкания в трехфазной системе тока бывают: трехфазные — замыкание между проводами трех фаз; двухфазные — замыкание между проводами двух фаз; однофазные — замыкание между проводом одной из фаз и нулевым проводом или землей в сетях с заземленной нейтралью трансформатора.

При коротких замыканиях по элементам электроустановки проходит ток короткого замыкания.

Сила тока к. з. зависит от вида короткого замыкания, величины напряжения, величины сопротивления, длительности прохождения тока. Упрощенный график изменения величины тока к. з. во времени представлен на рис. 10.6.

Максимального значения ток к. з. достигает через 0,01 с после возникновения короткого замыкания. Это значение тока называется ударным током к. з. и обозначается i_y . Благодаря размагничивающему действию реакции якоря генератора величина напряжения в сети падает, в результате уменьшается и ток к. з. (неустановившийся период к. з.) до определенной величины — до установившегося тока к. з. — I_{∞} . Далее величина тока к. з. остается неизменной до момента отключения (установившийся период к. з.).

Отключение тока к. з., в лучшем случае, может быть осуществлено через 0,2—0,25 с (время, необходимое для срабатывания реле и отключающих устройств), поэтому ударный ток i_y и длительный установившийся ток I_{∞} практически проходит через все токоведущие части электроустановок.

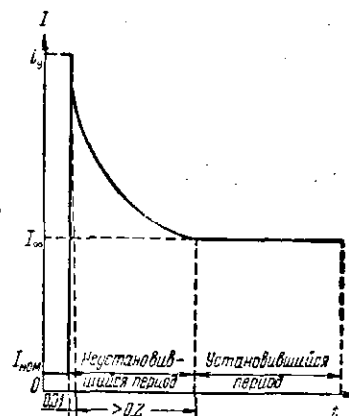


Рис. 10.6. График изменения величины тока короткого замыкания

Ток, который разрывают аппараты отключения, называется разрывным током и обозначается $I_{0,2}$.

Средний квадратичный ток за неустановившийся период к. з. называется полным действующим током и обозначается I_d .

Между указанными токами существует следующая зависимость:

$$I_y = 2,55 I_\infty; I_d = (1,09 \div 1,52) I_\infty; I_{0,2} = I_\infty.$$

Для определения величины I_d используются формулы: для трехфазного к. з.

$$I_k^{(3)} = \frac{U}{\sqrt{3Z}};$$

для двухфазного к. з.

$$I_k^{(2)} = \frac{U}{\sqrt{2Z}},$$

где U — величина напряжения в линии; Z — полное сопротивление линии от источника тока до точки, где произошло замыкание.

Из вышеприведенных формул следует, что $I_k^{(2)} = 0,86 I_k^{(3)}$.

Ток короткого замыкания, проходя через токоведущие элементы установки, оказывает на них тепловое (термическое) и электродинамическое воздействие. Для нормальной работы аппаратов и их элементов необходимо, чтобы они выдержали эти действия тока к. з.

При выборе аппаратуры руководствуются номинальными нагрузками и напряжениями, а выбранную аппаратуру проверяют на действие токов к. з. (для этого сравнивают данные выбранного аппарата с расчетными токами к. з.).

Для уменьшения тока к. з. необходимо увеличивать кажущееся сопротивление линий электропередач. Это достигается за счет уменьшения количества ЛЭП, работающих параллельно, и установки специальных аппаратов, которые имеют малое активное сопротивление и нужное для ограничения тока индуктивное сопротивление. Такие аппараты называются реакторами и представляют собой катушки индуктивности без стального сердечника. Они включаются в каждую фазу вначале ЛЭП, где требуется ограничение тока к. з.

11.1. Общие сведения

Аппаратура, устанавливаемая на подстанциях, делится на коммутационную, измерительную и защитную.

К коммутационной аппаратуре относятся: шины, разъединители, выключатели мощности.

К измерительной аппаратуре относятся: измерительные трансформаторы тока и напряжения, измерительные приборы.

К защитной аппаратуре относятся: плавкие предохранители, разрядники, реле.

Токоведущие части всех аппаратов закрепляются на каркасах с помощью фарфоровых изоляторов. По своему назначению изоляторы делятся на аппаратные, опорные и проходные.

Аппаратные изоляторы служат для крепления токоведущих частей аппаратов, поэтому бывают самых разнообразных конфигураций и размеров. Опорные изоляторы служат для крепления токоведущих шин и аппаратуры распределительных устройств. В большинстве случаев они имеют конфигурацию, представленную на рис. 11.1, а. Наиболее распространены тип ОФ для внутренней установки и типы ОНШ или ОНС — для наружной установки.

Проходные изоляторы (рис. 11.1, б) служат для ввода и вывода токоведущих частей из зданий, для прокладки шин через стены зданий и сооружений. Наиболее

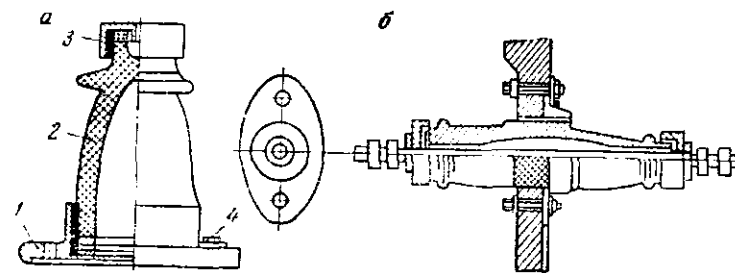


Рис. 11.1. Изоляторы:
а — опорный; б — проходной

распространены типы ППК для внутренней установки и типы ПН и ПНУ для наружных установок.

Изоляторы выбираются по условиям эксплуатации и величине напряжения, проверяются на механическую прочность при действии тока к. з. на элементы, которые крепятся на изоляторах.

11.2. Коммутационная и защитная аппаратура подстанций

Для соединения отдельных аппаратов, элементов аппаратов и распределения электроэнергии между ними на подстанциях используются голые проводники различной конфигурации (прямоугольные, круглые, трубчатые и т. д.), которые называются *ш и н а м и*.

Шины изготавливаются из меди, алюминия, стали. Медные шины используются в наиболее ответственных аппаратах, а остальные — в маломощных установках. Для удобства монтажа распределительные шины имеют стандартную окраску: фаза А — желтого цвета, фаза В — зеленого, фаза С — красного, заземленная нейтраль — черного цвета.

В цепях постоянного тока шина положительного потенциала имеет красную окраску, отрицательного — синюю.

Сечение шин рассчитывается по номинальному току и проверяется на термическое действие тока к. з.

Крепление шин выбирается из условий механической устойчивости при динамическом действии тока к. з.

Разъединители применяются для разъединения и переключения участков цепи подстанции под напряжением, но без токовой нагрузки, а также для создания видимого разрыва в цепях высокого напряжения.

Разъединители выпускаются для внутренней и наружной установки. Разъединители для наружной установки на напряжение 6—10 кВ имеют такую же конструкцию, как и для внутренней установки, но изготавливаются повышенной механической прочности.

На рис. 11.2 показан разъединитель РВ-10/600, который представляет собой мощный трехполюсный рубильник с контактами ножевого типа: включение и выключе-

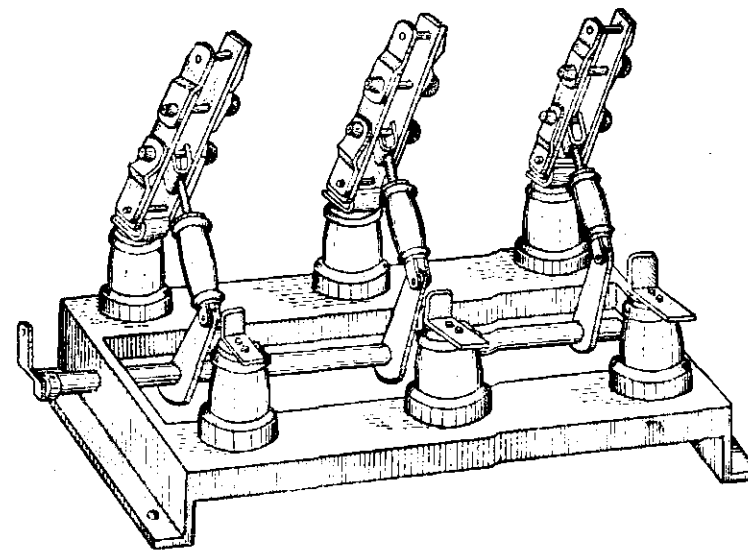


Рис. 11.2. Трехполюсный разъединитель внутренней установки РВ-10/600

ние его производят с помощью рычажного привода, рукоятка которого обычно блокируется с выключателем мощности так, чтобы нельзя было отключить разъединитель при включенном выключателе мощности.

В некоторых случаях разъединители устанавливают в цепях потребителей с $U \geq 1000$ В (столбовые подстанции) без выключателя мощности, тогда разъединителем допускается отключение тока холостого хода трансформатора мощностью до 750 кВ·А при напряжении 10 кВ, ток замыкания на землю не более 10 А при напряжении 10 кВ.

Выбор разъединителей производится по номинальному току, проверка — по току к. з.

Плавкие предохранители применяются для защиты линий электропередач от токов к. з. Для защиты силовых цепей в сетях напряжением 6—10 кВ применяют предохранители с кварцевым заполнением следующих типов: ПК, ПКУ — для внутренней установки; ПKN — для наружной установки; ПКТ, ПКТУ — для защиты измерительных трансформаторов.

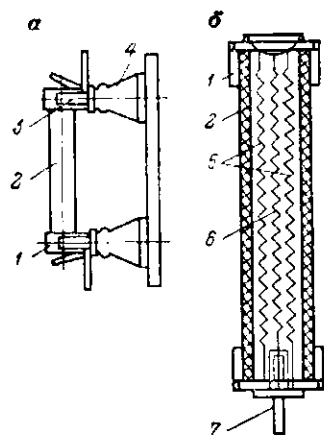


Рис. 11.3. Плавкие предохранители ПК

Установка предохранителя (рис. 11.3) производится путем вставки патрона 2 в пружинящие зажимы 3, укрепленные на изоляторах 4.

Патрон 2 представляет собой фарфоровую стеклянную трубку, закрытую с обоих торцов латунными колпачками 1 и заполненную сухим кварцевым песком. Внутри патрона помещена плавкая вставка, состоящая из нескольких параллельных медных спиралек 5 с напаянными на них шариками из олова. Помимо плавких вставок в патроне размещена еще стальная спиралька 6, соединенная с якорем указателя срабатывания 7. В момент срабатывания предохранителя спираль 6 перегорает, а указатель 7 специальной пружиной выталкивается из своего гнезда.

Достоинствами плавких предохранителей является простота их конструкции и высокое быстродействие. К недостаткам следует отнести: необходимость их замены вручную, возможность срабатывания только на одной фазе, срабатывание при токе значительно большем, чем ток плавкой вставки.

Предохранители применяют в сетях напряжением до 35 кВ включительно, на токи уставок до 400 А с наибольшей мощностью отключения до 500 МВ·А.

Выбираются предохранители по номинальному напряжению, току, предельно отключаемому току к. з.

Выключатели нагрузки применяются для включения и выключения рабочих токов на поверхностных распределительных пунктах.

Конструктивно выключатели нагрузки представляют собой трехполюсный разъединитель, снабженный дугогасительной камерой (рис. 11.4) и отключающей пружиной. К контактным ножам 5 прикреплены медные дугогасительные ножи 3, которые при включении входят в отверстия пластмассовых дугогасительных камер 1. Внутри камеры помещаются контактные подпружиненные губ-

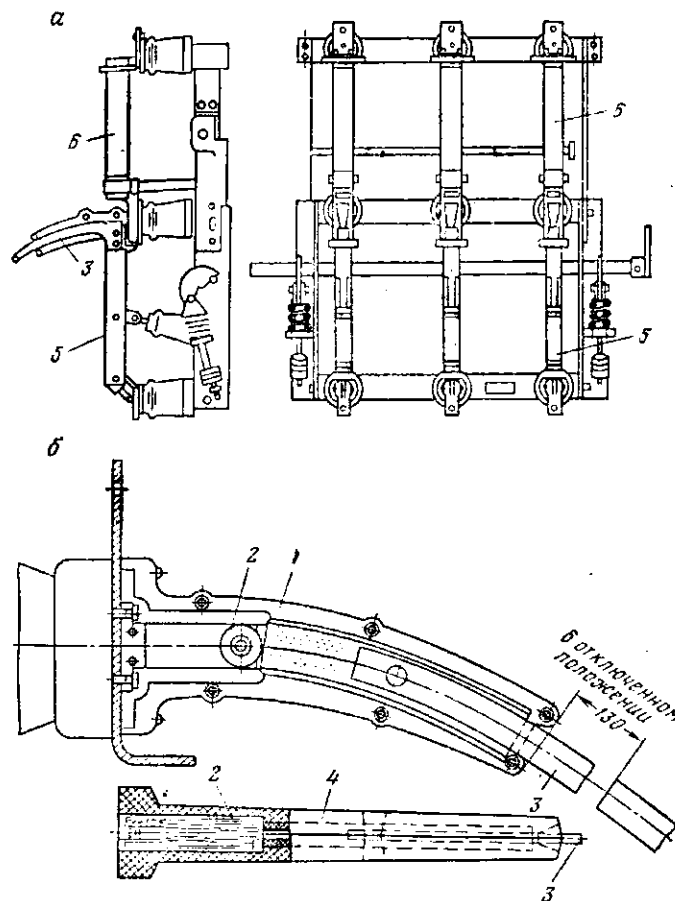


Рис. 11.4. Выключатель нагрузки ВНП-16:
а — общий вид; б — разрез дугогасительной камеры

ки 2, неподвижные контакты дугогасительного устройства. Основные силовые контакты находятся снаружи камеры. По бокам вложены вкладыши 4 из газогенерирующего материала (органическое стекло).

Разрыв цепи при выключении выключателя нагрузки вначале происходит между основными контактами, а затем внутри дугогасительной камеры между дугогасящим

ножом и губками. Дуга возникает в камере, под действием высокой температуры органическое стекло выделяет большое количество водорода, в камере возникает большое давление газов, которые способствуют быстрому гашению дуги.

Выключатели нагрузки выпускают для напряжения 6—10 кВ и тока 200—400 А.

Выключатели нагрузки не рассчитывают на отключение тока к. з., поэтому их комплектуют с плавкими предохранителями 6 типа ПК, которые выполняют роль токоограничивающего устройства. В выключателе ВМП-17 имеется электромагнит, который автоматически отключает выключатель при перегорании любого предохранителя аппарата.

Высоковольтные выключатели применяются для включения и отключения сети напряжением 3 кВ и выше под нагрузкой, а также отключения токов к. з.

В зависимости от среды, в которой происходит гашение электрической дуги при разрыве цепи тока, выключатели делятся на воздушные и масляные. Оба типа получили распространение на подстанциях 6—10 кВ.

Масляные выключатели изготовляют многообъемными и малообъемными. В многообъемном выключателе имеется бак, в котором размещается трансформаторное масло в большом объеме (50—60 л). Масло используется для гашения дуги и изоляции токоведущих частей разных фаз друг от друга и от земли. В малообъемном выключателе имеется полый цилиндр, в котором размещается трансформаторное масло в небольшом объеме (около 2 л). Масло используется только для гашения электрической дуги, поэтому токоведущие части изолированы друг от друга и от земли специальными фарфоровыми и другими изоляторами.

Многообъемные баковые масляные выключатели типа ВМБ из-за их пожаро- и взрывоопасности в настоящее время не выпускаются.

Малообъемный выключатель ВМП (рис. 11.5, а) состоит из трех колонок — фаз I, к верхней части которых подсоединяют подводящие провода фаз, а к нижней, где помещается дугогасительная камера, — отводящие провода фаз. Между верхней и нижней частью колонок находятся изоляторы 5. Включение фазы происходит путем

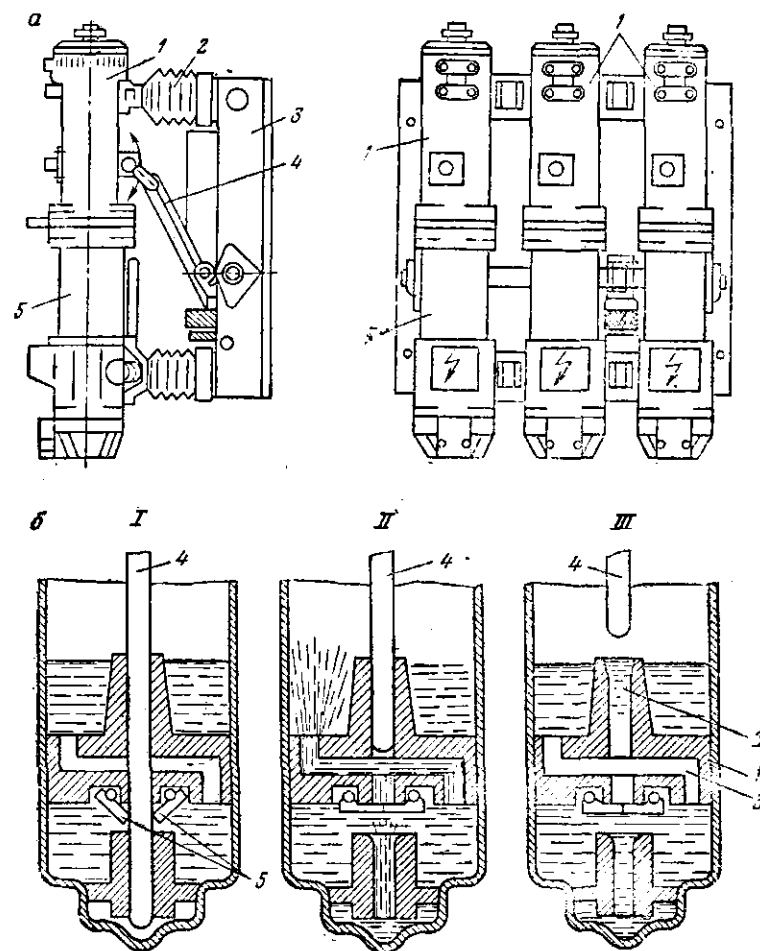


Рис. 11.5. Горшковый выключатель ВМП:
а — общий вид; б — схема гашения дуги

перемещения стержня 4 (рис. 11.5, б) с помощью изоляционной тяги 4 (см. рис. 11.5, а), приводимой в движение системой рычагов специального привода. Так как колонки фаз постоянно находятся под напряжением, то они крепятся к раме 3 с помощью фарфоровых изоляторов 2.

На рис. 11.5, б показана схема гашения дуги в камере малообъемного выключателя. Дугогасительная камера состоит из изоляционного диска 1 с поперечным каналом 3 и продольным 2. Продольный канал служит для перемещения подвижного контакта 4 и снизу закрывается подпружиненными латунными заслонками 5. Во включенном положении (см. рис. 11.5, б, позиция I) заслонки отжаты подвижным контактом вниз, при отключении (позиция II) заслонки закрывают отверстие, разрывая образовавшуюся дугу на две части. В нижней части колонки дуга разлагает масло и продукты разложения под большим давлением устремляются через канал 3 в верхнюю часть, создавая поперечное масляное дутье. Такое движение масла способствует быстрому гашению дуги. В отключенном положении (позиция III) концы подвижных контактов всех фаз находятся выше уровня масла, что обеспечивает надежный (воздушный) разрыв контактов.

Малообъемные выключатели взрыво- и пожаробезопасны, поэтому для установки не требуют индивидуальных пожаростойких камер.

Выключатели выбирают по величине напряжения, номинальному рабочему току и току отключения.

Воздушные выключатели на напряжение 6—10 кВ типа ВЭВ применяются в аппаратах, предназначенных для работы в подземных условиях.

Приводы к выключателям применяются для управления силовыми контактами выключателей. Приводы к выключателям делятся на ручные прямого действия (ПРБА, ПРА), электромагнитные (ПС, ПЭ), моторно-пружинные (ППМ-10, П-67 и др.), пневматические (ПВ, ШПВ и др.).

Для выключения сетей напряжением 6—10 кВ применяют первые три типа приводов, пневматические приводы находят применение на подстанциях 35 кВ и выше.

Приводы имеют следующие основные части: ручное, пружинное или электромагнитное устройство для включения; механизм свободного расцепления, который допускает отключение масляного выключателя даже тогда, когда рукоятка удерживается во включенном положении силой; систему рычагов, с помощью которых вал привода соединяется с валом выключателя; отключающее

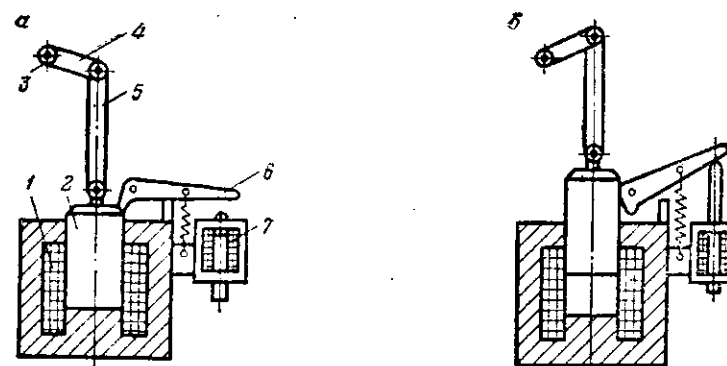


Рис. 11.6. Принципиальное устройство приводов ПС и ПЭ:
а — привод включен; б — привод выключен

устройство в виде электромагнита отключения или реле защиты; контакты сигнализации (КСА).

Ручные приводы прямого действия ПРБА (привод рычажный, блинкерный, автоматический) и *ПРА* (привод рычажный, автоматический) в принципе устроены одинаково, разница только в конструкции и характере движения рычага для ручного включения. В приводе ПРБА рычаг с рукояткой для включения и выключения движется вверх или вниз, а в приводе ПРА вместо рычага установлен штурвал, который для включения поворачивается вправо или влево.

Электромагнит для отключения или реле защиты установлены в специальном ящике внизу привода. Приводы ПРБА, ПРА применяются для малообъемных выключателей при включении линий или потребителей, не требующих дистанционного управления.

Электромагнитные приводы ПС и ПЭ предназначены для дистанционного включения и отключения масляных выключателей. Для включения используется мощный электромагнит, а для отключения — небольшой мощности отключающая катушка.

Принцип работы включающего и отключающего устройства привода ПС и ПЭ виден на рис. 11.6, где 1 — катушка включающего соленоида, 7 — сердечник, отключающей катушки, 3, 4, 5 — система рычагов для включения и отключения масляного выключателя, 6 —

зашелка (на рис. 11.6, а она удерживает привод во включенном положении), 2 — сердечник соленоида.

Моторно-пружинные приводы широко применяются как встроенные, так как включение их происходит с помощью электродвигателя мощностью 1 кВт через редуктор. Двигатель служит для постепенного сжатия спиральных (привод ППМ-10) или цилиндрических (привод ПП-67) пружин, служащих для включения и отключения выключателя. Привод работает таким образом, что при выключении его автоматически включается двигатель, который производит зарядку пружин и сам отключается, когда пружины натянутся с нужной силой и будут готовы к следующему включению выключателя. Поэтому эти приводы имеют электромагнит включения, электромагнит отключения и несколько защитных реле.

При определенных обстоятельствах в линиях электропередач и на элементах подстанций возникают напряжения значительно больше номинальных — их называют перенапряжениями.

Перенапряжения бывают коммутационные и атмосферные.

Появление коммутационных перенапряжений происходит при отключении токов короткого замыкания или при резких и значительных колебаниях нагрузки в ЛЭП. Величины этих перенапряжений обычно не превышают четырехкратного значения номинальных напряжений, так как ЛЭП имеют относительно небольшую индуктивность. Изоляция электроустановок допускает такое превышение напряжения, и поэтому специальные виды защиты от коммуникационных перенапряжений не применяются.

Атмосферные перенапряжения являются следствием атмосферных разрядов в ЛЭП или вблизи ее. Величины перенапряжений в данном случае могут в десятки и сотни раз превышать номинальные напряжения, поэтому необходимо ЛЭП и подстанции защищать от них. Для защиты от атмосферных перенапряжений применяются молниеотводы и разрядники.

Молниеотводы, предложенные М. В. Ломоносовым в 1753 г., предназначены для защиты сооружений от прямых ударов молний. Они бывают стержневые и тросовые.

Стержневой молниеотвод состоит из металлического стержня, высоко поднятого над защищаемым объектом, к которому присоединен надежно заземленный токопроводящий трос. Одиночный стержневой молниеотвод защищает от прямого удара молнии сооружения, находящиеся в радиусе r_1 (рис. 11.7). Определение радиуса защиты производят по формуле

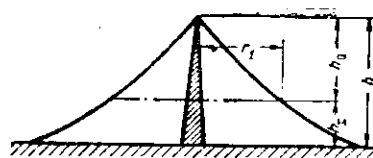


Рис. 11.7. Схема для определения зоны защитного действия стержневого молниеотвода

$$r_1 = h_a \frac{1,6p}{1 + \frac{h_x}{h}},$$

где h_a — превышение молниеотвода над защищаемым объектом; h — общая высота молниеотвода; h_x — высота защищаемого объекта; p — коэффициент, который при $h = 30$ м равен 1, а при $h > 30$ м определяется по формуле $p = 5,5/\sqrt{h}$.

Для эффективной защиты объекта необходимо устанавливать несколько стержневых молниеотводов, при этом зоны защиты должны перекрывать друг друга и защищаемую площадь.

Стержни молниеотводов могут монтироваться на специальных мачтах, трубах, высоких мачтах, предназначенных для производственных целей.

Тросовые молниеотводы предназначены для защиты линий электропередач напряжением 35 кВ и выше и представляют собой стальные тросы, протянутые над токопроводящей линией и надежно заземленные на каждой опоре.

Разрядники предназначены для защиты электрооборудования подстанций от перенапряжений, поступающих по линиям электропередач, поэтому они устанавливаются на первых опорах ВЛ от подстанции. Представляют собой устройство, состоящее из искрового промежутка и дугогасящих элементов. Разрядники бывают трубчатые и вентильные.

Трубчатый разрядник (рис. 11.8) представляет собой трубку 1 из газогенерирующего материала (фибробакелита, винилпласта), внутри которой размещается метал-

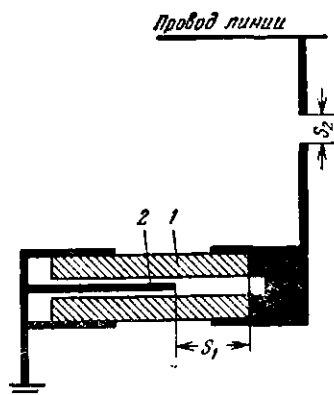


Рис. 11.8. Принципиальное устройство трубчатого разрядника

Внутри трубки образуется высокое давление, а в результате — воздушное дутье, которое способствует гашению дуги. При уменьшении напряжения дуга погаснет (цепь ВЛ — земля будет разорвана).

Разрядники из винипласта обозначаются РТВ, из фибробакелита — РТФ.

Вентильные разрядники изготавливаются вилитовые (РВП, РВО) и с магнитным гашением дуги (РВМ). Устанавливаются на подстанциях и подключают к шинам распреустройства через разъединители.

Вилитовый разрядник РВП (рис. 11.9) состоит из фарфорового корпуса 1, внутри которого размещены латунные диски 2 с искровыми промежутками между ними и вилитовые диски 3. Величина суммарных искровых промежутков и количество вилитовых дисков зависит от величины перенапряжения, при котором разрядник будет срабатывать.

Вилит — керамическое (состоящее из глины, графита и карборунда) сопротивление с нелинейной характеристикой. При нормальном напряжении его сопротивление большое, поэтому искровые промежутки не пропускают ток. При перенапряжении сопротивление вилита резко падает, в результате общее сопротивление цепи провод — земля уменьшается и между искровыми дисками проходит ток. При снижении напряжения вилитовые диски

лический стержень 2, соединенный с землей.

Трубка имеет металлический наконечник, который через искровой промежуток S_1 соединяется с воздушной линией электропередач.

Изменяя величину искровых промежутков S_1 и S_2 , можно отрегулировать величину напряжения, при котором произойдет разряд с ВЛ на землю.

В момент прохождения дуги через искровой промежуток S_1 в трубке будет интенсивно выделяться газ.

увеличивают сопротивление и дуга в искровых промежутках гаснет.

11.3. Измерительные трансформаторы

Измерительные трансформаторы предназначены для расширения пределов измерений приборов. Они подразделяются на измерительные трансформаторы тока и измерительные трансформаторы напряжения (рис. 11.10).

Измерительные трансформаторы тока применяют в установках переменного тока. Их схема включения показана на рис. 11.10. Трансформаторы тока бывают проходные, катушечные, шинные, для установки внутри помещений и снаружи. Для трансформаторов тока приняты следующие обозначения: Т — трансформатор тока; К — катушечный; Ф — с фарфоровой изоляцией; У — усиленной конструкции; Н — наружной установки; О — один виток в первичной обмотке.

После букв следуют цифры: первая группа цифр обозначает величину напряжения высшей стороны, вторая группа — класс точности трансформатора, третья группа — номинальный ток трансформатора (первичной обмотки).

Трансформаторы тока выпускаются на все стандартные напряжения сети. Они имеют две обмотки: первичную, включаемую в сеть потребителя тока последовательно, и вторичную, в цепь которой включаются токовые катушки измерительных приборов. Коэффициент трансформации $k_{т\tau}$ вычисляется по формуле

$$k_{т\tau} = \frac{I_1}{I_2} = \frac{w_2}{w_1},$$

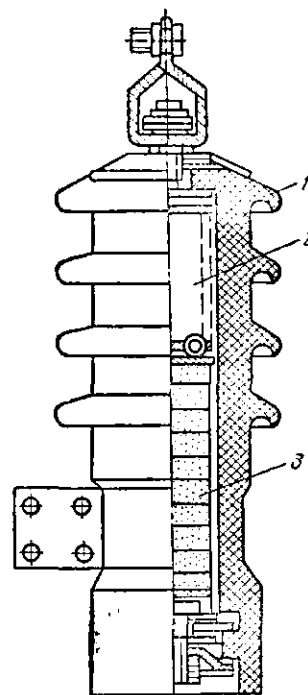


Рис. 11.9. Вилитовый разрядник РВП

где I_1 — ток в первичной цепи трансформатора; I_2 — ток во вторичной цепи трансформатора; ω_1 — число витков первичной обмотки; ω_2 — число витков вторичной обмотки.

Трансформаторы тока изготавливаются так, что во вторичной обмотке величина номинального тока будет 5 А при номинальных токах в первичной обмотке. Выпускаются пять классов точности: 0,2 — для точных лабораторных измерений; 0,5 — для включения измерительных приборов и счетчиков; 1 — для измерительных приборов; 3, 10 — для включения реле.

Иногда трансформаторы имеют две вторичные обмотки разных классов точности, которые в наименовании обозначаются через дробь (например, ТПФ-10-1/3-200 — трансформатор тока, проходной, с фарфоровой изоляцией, на напряжение 10 кВ, с классами точности 1 и 3, на номинальный первичный ток 200 А).

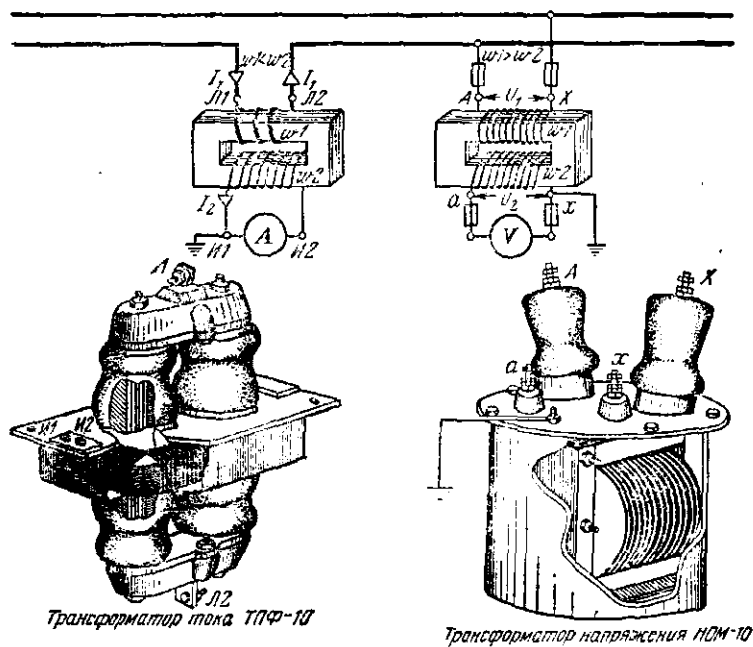


Рис. 11.10. Трансформаторы тока и напряжения

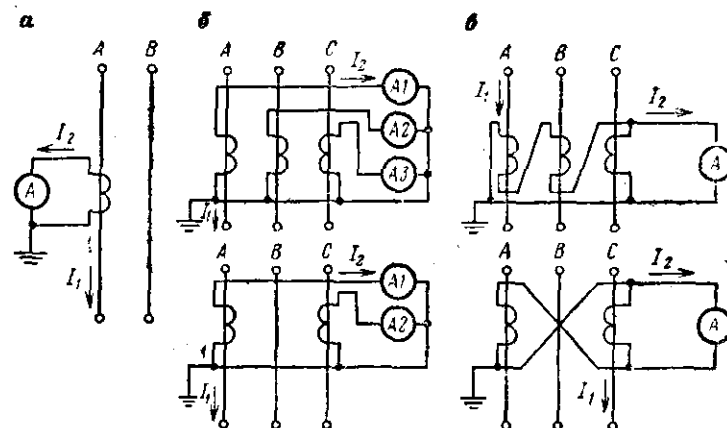


Рис. 11.11. Схемы соединения трансформаторов тока

Трансформаторы тока работают в режиме короткого замыкания, поэтому при эксплуатации запрещается оставлять разомкнутой его вторичную обмотку.

Если возникает необходимость в отключении прибора, то прежде, чем отключить его, следует замкнуть накоротко вторичную обмотку перемычкой из медного провода сечением не менее 2,5 мм².

Для предотвращения поражения человека электрическим током при повреждении изоляции между первичной и вторичной обмотками, вторичную обмотку трансформатора тока следует заземлять.

На рис. 11.11 показаны различные схемы включения трансформаторов тока:

а — при включении в однофазную сеть;

б — при включении в трехфазную сеть (вверху — полная звезда, внизу — неполная звезда);

в обеих схемах соединения зависимость между токами первичной I_1 и вторичной I_2 цепей выражается формулой

$$I = \frac{I_1}{k_{\text{тт}}};$$

где $k_{\text{тт}}$ — коэффициент трансформации тока;

в — при включении в трехфазную сеть (вверху — полный треугольник, внизу — неполный треугольник); в обеих

схемах соединения зависимость между токами выражается формулой

$$I_2 = \sqrt{3} \frac{I_1}{k_{тн}}.$$

Измерительные трансформаторы напряжения (см. рис. 11.10) применяются при напряжениях выше 380 В. Изготавливаются однофазные и трехфазные, с воздушным и масляным охлаждением (сухие и масляные). Вторичные обмотки всех трансформаторов напряжения выполняются для напряжения 100 В.

Коэффициент трансформации $k_{тн}$ трансформатора напряжения вычисляется по формуле

$$k_{тн} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{\omega_1}{\omega_2},$$

где U_1 — величина первичного напряжения; U_2 — величина вторичного напряжения; ω_1 , ω_2 — соответственно число витков первичной и вторичной обмоток трансформатора.

Для предохранения трансформатора от ненормальных режимов работы на высшей и низшей стороне включают плавкие предохранители.

В зависимости от величины погрешности, вносимой трансформатором при измерении напряжения, они делятся на четыре класса точности: класс 0,2 — для точных лабораторных измерений; класс 0,5 — для включения измерительных приборов и счетчиков; класс 1 — для включения измерительных приборов; класс 3 — для релейной защиты и сигнальных ламп.

При работе трансформатора с перегрузкой его класс точности понижается.

Для трансформаторов напряжения приняты следующие условные обозначения: Н — трансформатор напряжения; О — однофазный; Т — трехфазный; С — сухой; М — масляный; И — измерительный; К — с компенсирующей обмоткой. Цифра за буквенным обозначением указывает величину номинального высшего напряжения (например, ПОМ-6 — трансформатор напряжения, однофазный, с масляным охлаждением, на напряжение с высшей стороны 6 кВ).

Для защиты обслуживающего персонала от пораже-

ния электрическим током в случае перехода высшего напряжения на низшую сторону трансформатора, его вторичная обмотка заземляется: у трехфазных трансформаторов заземляется нулевая точка вторичной обмотки, у однофазных — один из полюсов вторичной обмотки.

11.4. Силовые трансформаторы.

Расчет мощности и выбор трансформаторов

Силовой трансформатор — это электрический аппарат, предназначенный для преобразования переменного тока одного напряжения в переменный ток другого напряжения при той же частоте.

Впервые однофазный трансформатор был сконструирован в 1876 г. П. Н. Яблочковым, а затем был усовершенствован И. Ф. Усагиным. Наиболее широкое распространение получил трехфазный трансформатор, изобретенный И. И. Доливо-Добровольским в 1889 г.

На горных предприятиях применяют понижающие трансформаторы с воздушным и масляным охлаждением. Трансформаторы с естественным воздушным охлаждением для угольной промышленности выпускаются мощностью от 2,5 до 630 кВ · А и применяются в основном для установки в подземных выработках и взрывоопасных зонах. Трансформаторы с масляным охлаждением широко применяются на поверхности горных предприятий.

Трансформаторы могут работать параллельно, но для этого необходимо, чтобы их номинальная мощность была равна или имела отношение не более $1/3$, напряжения короткого замыкания были бы равны, группы соединений совпадали.

Мощность трансформатора может определяться по графику нагрузки и по установленной мощности потребителей. Оба способа равноценны, дают возможность определить необходимую мощность трансформатора с допустимыми для практики погрешностями. Расчет мощности трансформатора по установленной мощности потребителей менее трудоемок.

РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА НА ПОДСТАНЦИЯХ
И ЭЛЕКТРОУСТАНОВКАХ12.1. Общие сведения о релейной защите
и классификация реле

В процессе работы электропотребителей по различным причинам могут возникать аварийные режимы, несвоевременное устранение которых может привести к повреждениям линий электропередач, источников энергии или электропотребителей. Для автоматического контроля за режимами работы линий электропередач, трансформаторов, электроприемников и своевременного отключения их при возникновении аварийной ситуации предназначена релейная защита.

Для обеспечения надежной работы релейной защиты необходимо, чтобы она: имела избирательность (селективность) в отключении, т. е. подавала сигнал на отключение или отключала только тот участок сети, где имеет место ненормальный режим работы; обладала высокой чувствительностью ко всем видам повреждений, возможных на защищенном участке сети; надежно и быстро срабатывала.

Основным элементом релейной защиты является реле.

Реле, применяемые в релейной защите на подстанциях, классифицируются по следующим признакам: по принципу действия — электромагнитные, индукционные, электродинамические, тепловые, электронные, полупроводниковые и др.; по параметру, которые они контролируют, — тока, напряжения, мощности, частоты и т. д.; по способу включения их в сеть, где производится контроль заданной величины, — первичные (непосредственно включенные в контролируемую сеть) и вторичные (включенные в сеть через соответствующие трансформаторы); по способу воздействия на отключающий механизм — прямого и косвенного действия; по времени срабатывания и зависимости его от контролируемой величины — реле мгновенного действия, реле с зависимой, независимой и ограниченно зависимой характеристикой. Величина контролируемого параметра, при котором реле срабатывает, называется уставкой реле.

К реле мгновенного действия относятся такие реле, которые срабатывают мгновенно при достижении контролируемым параметром величины уставки реле. На время срабатывания реле не оказывает влияния значительное или незначительное превышение значения измеряемого параметра над уставкой реле.

К реле с зависимой характеристикой относятся такие реле, у которых время срабатывания зависит от того, насколько контролируемый параметр больше уставки реле. Чем больше эта разница, тем быстрее срабатывает реле.

В некоторых реле с зависимой характеристикой устанавливается верхний предел измеряемого параметра, при достижении которого реле уже срабатывает мгновенно. Этот предел носит название отсечки данного параметра (например, отсечка тока). Такие реле относятся к реле с ограниченно зависимой характеристикой.

К реле с независимой характеристикой относятся реле, у которых время срабатывания не зависит от измеряемых величин, оно устанавливается при настройке релейной защиты.

Основная цель защиты — отключить аварийный участок электрической сети. Отключение производится приводами масляных реле, которые при этом потребляют значительное количество энергии. Для питания реле на подстанции используется оперативный ток. Оперативный ток может быть и переменный, и постоянный. Реле замыкают или размыкают цепи оперативного тока, подавая в нужный момент команды на отключение поврежденных участков цепи.

12.2. Устройство различных типов реле

Реле максимального тока предназначены для защиты линий электропередач и электропотребителей от токов к. з. Реле максимального тока делится на первичные и вторичные. Первичные реле включаются в цепь непосредственно, вторичные — через измерительный трансформатор. Вторичные реле применяются для защиты линий и потребителей напряжением свыше 1000 В.

Некоторые реле встраиваются в приводы (ПРА, ПРБА, ППМ-10, П-67) масляных выключателей. К таким реле относится реле РТМ (рис. 12.1, а). Это реле

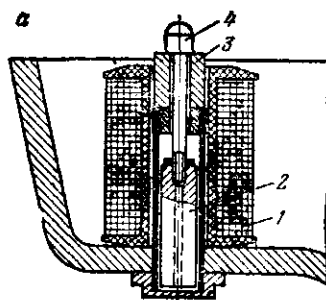
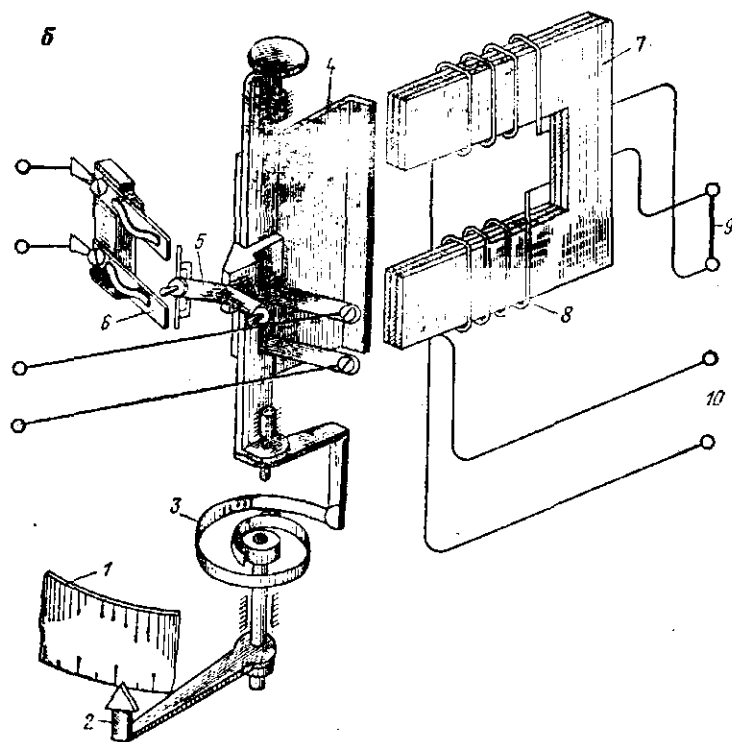


Рис. 12.1. Реле максимального тока:
а — РТМ; б — РТ-40



электромагнитное реле тока, вторичное, прямого действия, с мгновенным отключением. Состоит из катушки 1, количество витков которой может регулироваться поворотным переключателем (этим и достигается определенная уставка тока), подвижного сердечника 2, неподвижного

сердечника 3, бойка 4, соединенного с подвижным сердечником 2.

При протекании по катушке 1 установленного тока срабатывания сердечник 2 втягивается в катушку, ударник 4 ударяет по рычагу расцепления привода и выключатель выключается.

Более чувствительным является электромагнитное реле РТ-40 (рис. 12.1, б). Оно вторичное, косвенного действия, с мгновенным отключением. На П-образном сердечнике 7 находятся две катушки 8, которые могут соединяться с помощью переключки 9 последовательно или параллельно. К контактам 10 подключают контролируемую цепь. Повороту якоря 4, на котором укреплен мостик 5 для замыкания контактов 6, препятствует пружина 3, натяжение которой можно изменять поворотом рычага 2. Меняя схему соединения катушек и силу натяжения пружины 3, устанавливают ту или иную уставку срабатывания реле по току на шкале 1.

При прохождении через катушки тока, равного уставке реле, якорь 4 поворачивается, контактный мостик 5 замыкает или размыкает контакты 6, подавая сигнал на отключение масляника.

В тех случаях, когда отключение масляника должно происходить не сразу по достижении тока срабатывания реле, а с некоторой выдержкой времени, зависящей от величины, показывающей, во сколько раз фактический ток превышает ток уставки, применяют реле РТ-80.

Реле РТ-80 электромагнитно-индукционное, токовое, вторичное, косвенного действия, с ограниченно-зависимой характеристикой. Оно состоит (рис. 12.2) из электромагнита 2 с короткозамкнутыми витками 3, диска 5, ось которого 4 находится в подшипниках, закрепленных в поворотной рамке 6. Рамка может поворачиваться на оси 8 и пружиной 7 удерживается в нормальном положении, когда червяк 10 вала диска 5 не входит в зацепление с червячным сегментом 9. К контактам 14 подсоединяется контролируемая цепь, а к контактам 12 — исполнительная цепь (в нормальном состоянии контакты 12 разомкнуты). Уставка тока срабатывания реле производится изменением количества витков катушки 1 путем перестановки штекера 18.

Если ток в контролируемой цепи меньше токовой уставки, то диск 5 вращается, но его червяк не находится

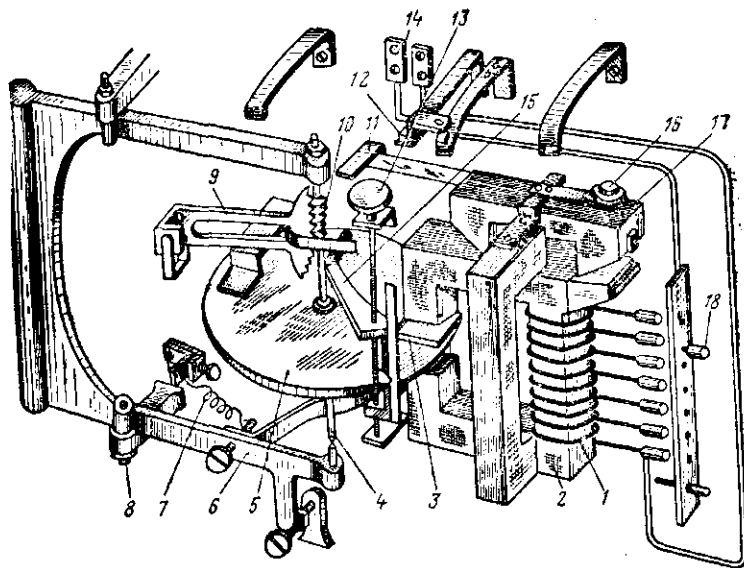


Рис. 12.2. Реле РТ-80

в зацеплении с сегментом и контакты 12 остаются разомкнутыми. Когда величина тока в контролируемой цепи окажется больше величины уставки, магнитный поток рассеяния преодолеет натяжение пружины 7 и повернет рамку так, что ее червяк войдет в зацепление с сегментом 9, сегмент начнет постепенно поворачиваться и в конечном счете поднимет планку 11, а она замкнет контакты 12.

Время срабатывания реле зависит от первоначального положения сегмента 9 и скорости вращения диска. Первоначальное положение сегмента регулируется винтом 13 и гайкой 15, т. е. есть возможность регулировать время срабатывания реле. Скорость вращения диска зависит от величины тока: чем больше ток, тем быстрее вращается диск, тем скорее срабатывает реле, т. е. происходит автоматическая корректировка установленного времени срабатывания в зависимости от величины тока.

В реле имеется электромагнитный элемент, состоящий из якоря 17 и установочного винта 16. Часть потока рас-

сеивания электромагнита 2 замыкается через якорь 17; при определенном значении тока в катушке 1 этот поток сможет притянуть якорь 17, в результате чего контакты 12 будут замкнуты и независимо от сегмента 9 произойдет мгновенное срабатывание реле. Установка на мгновенное срабатывание реле осуществляется путем изменения воздушного зазора между якорем 17 и электромагнитом 2 с помощью винта 16.

Электромагнитный элемент действует самостоятельно, как бы отсекая определенную часть зависимой характеристики реле. Поэтому электромагнитный элемент реле часто называют отсечкой.

Таким образом, реле РТ-80 может осуществлять защиту от токов перегрузки и токов к. з.

При установке реле в схему защиты на нем необходимо установить три уставки, а именно: уставку тока от длительной перегрузки, уставку времени допустимой перегрузки и уставку тока для защиты от тока к. з.

Реле минимального напряжения предназначены для защиты потребителей от работы на пониженном напряжении.

Наиболее широко распространенными минимальными реле являются реле РН и РНВ.

Реле РН устроено так же, как и реле РТМ, с той разницей, что его катушка рассчитана на включение в сеть как катушка напряжения. Реле РНВ имеет такое же принципиальное устройство, как и реле РН, но дополнительно внутри реле монтируется часовой механизм, который дает возможность срабатывать реле только с определенной выдержкой времени (от 0 до 9 с).

Помимо этих реле на ГПП применяются вспомогательные реле: реле времени, промежуточные реле, сигнальные реле.

Реле времени используют в схемах тогда, когда надо создавать независимую характеристику срабатывания защиты. Для этой цели используют реле времени серий ЭВ и РВМ.

Реле ЭВ (рис. 12.3) состоит из Ш-образного магнитопровода 7, якоря 9, катушки 8, системы рычагов 6, 5 и часового механизма 1. При подаче напряжения на катушку 8 якорь 9 поднимается и через систему рычагов 6, 5 заводит часовой механизм 1. Якорь часового механизма 4, поворачиваясь через установленное время,

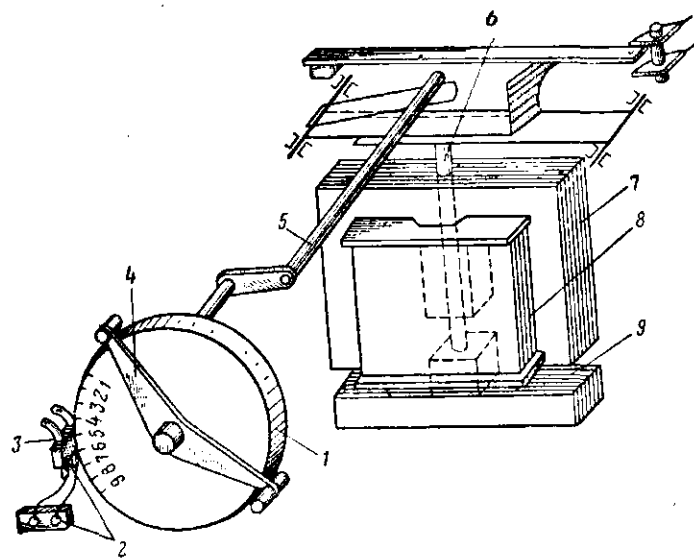


Рис. 12.3. Реле времени ЭВ

замыкает контакты 3 исполнительной цепи. Выдержка времени регулируется перемещением колодки 2, на которой укреплены контакты 3.

Реле РВМ имеет такое же принципиальное устройство, как и реле ЭВ, но, в отличие от него, имеет моторный привод часового механизма.

Промежуточные реле предназначены для размножения и усиления сигнала основного реле. В отличие от рассмотренных ранее реле, промежуточные реле не имеют устройств для изменения пределов срабатывания, а их контактная система способна передавать большие токи.

Сигнальные (указательные) реле предназначены для подачи сигнала о срабатывании той или иной защиты. Обычно они включаются в цепь соответствующих реле и срабатывают тогда, когда срабатывают защиты. Все они электромагнитного действия, имеют контакты, которые могут использоваться для подачи светового или звукового сигнала. Непосредственно в реле смонтирован флажок, который при срабатывании реле

опускается в смотровое окно корпуса реле. Возврат контактов и флажка в первоначальное положение осуществляется вручную — нажатием соответствующей кнопки или поворотом специального рычага.

Перечисленные выше реле обеспечивают необходимую защиту потребителей и линий электропередач напряжением 6—10 кВ.

12.3. Основные схемы релейной защиты ЛЭП и потребителей электроэнергии напряжением 6—10 кВ

В соответствии с требованиями ПБ потребители электрической энергии и линии электропередач напряжением 6—10 кВ оборудуются защитой от токов к. з., от замыканий на землю (от утечек тока), а крупные двигатели (подъема, вентиляторов) — защитой от длительных перегрузок. Наиболее распространенная максимально-токовая защита может осуществляться посредством применения токового реле РТ-40 и реле времени ЭВ или РВМ — тогда она называется максимально-токовой защитой с независимой характеристикой времени срабатывания (рис. 12.4, а, б).

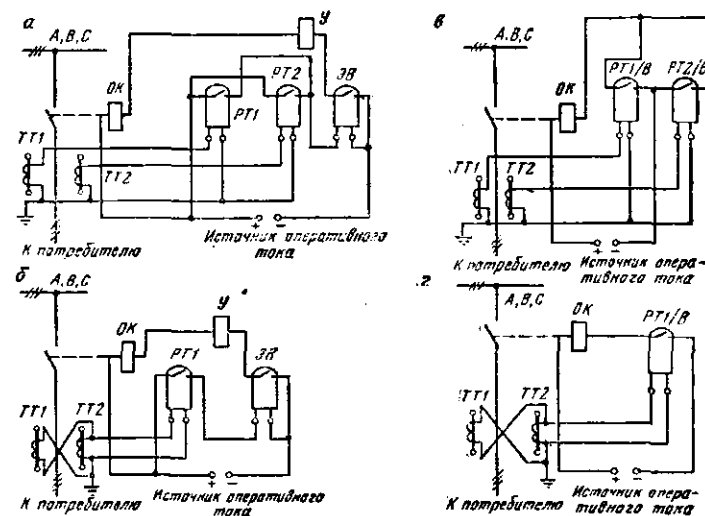


Рис. 12.4. Схемы релейной защиты ЛЭП и потребителей

При использовании индукционно-токовых реле РТ-80 защита называется максимально-токовой с зависимой характеристикой времени срабатывания (рис. 12.4, в, г).

Для обеспечения работы схем максимально-токовой защиты необходимо вычислить и установить уставки тока и времени, при которых будут срабатывать реле.

Уставка тока вычисляется по формуле

$$I_y = \frac{k_n k_z k_{cx} I_{ном}}{k_b k_{тт}},$$

где k_n — коэффициент надежности (принимается равным 1,1—1,25); k_z — кратность пускового тока защищаемого аппарата (берется из характеристики); k_{cx} — коэффициент схемы соединения трансформаторов тока (при соединении их в полную и неполную звезду $k_{cx} = 1$ (рис. 12.4, а, в), при соединении в полный или неполный треугольник (рис. 12.4, б, г) $k_{cx} = \sqrt{3}$); k_b — коэффициент возврата реле (принимается равным 0,8; 0,85); $I_{ном}$ — величина тока номинальной нагрузки в первичной цепи; $k_{тт}$ — коэффициент трансформации трансформаторов тока.

Для обеспечения селективности защиты необходимо, чтобы время срабатывания защиты увеличивалась по мере удаления защиты от места повреждения на ступеньку Δt (обычно 0,2 с). Поэтому при сборке схемы максимально-токовой защиты первой ступени (непосредственно у потребителя) $\Delta t = 0$, т. е. защита должна срабатывать мгновенно, откуда отпадает необходимость в установке реле времени и схема упрощается. Питание на отключающую катушку ОК включают непосредственно токовые реле. На последующих ступенях схемы защиты будут собираться так, как показано на рис. 12.4.

Работа схемы максимально-токовой защиты с независимой выдержкой времени (рис. 12.4, а, б) будет протекать следующим образом:

а) при нормальном режиме работы потребителя в первичной цепи будет протекать ток $I_{ном}$, поэтому во вторичных цепях трансформаторов тока ТТ1 и ТТ2 через реле РТ1 и РТ2 будет проходить ток меньше тока уставки — реле срабатывать не будет, отключающая катушка ОК не будет обтекаться током, выключатель В останется включенным;

б) при междофазном коротком замыкании в одном из трансформаторов тока (например, ТТ1) ток резко возрастет и станет по величине больше тока уставки реле РТ1, реле замкнет свой контакт РТ1 и оперативный ток обтечет обмотку реле времени ЭВ по цепи: «+» — РТ1 — ЭВ — «—». Реле времени ЭВ через определенное время замкнет свой контакт, катушка отключения ОК обтечется током по цепи: «+» — ОК — У — ЭВ — «—», сработает и отключит привод выключателя В — потребитель будет обесточен.

Аналогичным образом работают схемы, приведенные на рис. 12.4, в, г, однако в реле РТ-80 время выдержки зависит от величины тока, поэтому эти схемы защиты и называются максимально-токовой защитой с зависимой характеристикой времени срабатывания.

Схемы, приведенные на рис. 12.4, можно использовать и для защиты потребителей от длительных перегрузок и затянувшихся пусков асинхронных двигателей, для чего необходимо изменить величины уставок тока и времени.

Схемы, приведенные на рис. 12.4, в и г, можно одновременно использовать и для защиты от токов к. з., и для защиты от длительных перегрузок, так как реле РТ-80 имеет две токовые уставки и уставку времени.

В подземных выработках защита от к. з. всегда выполняется как защита мгновенного действия.

Для облегчения монтажа подстанций электропромышленность выпускает комплекты защит определенных серий. Они представляют собой металлические ящики, в которых установлены и соединены определенные реле, а для подсоединения к ячейке подстанции выведены необходимые клеммы.

Глава 13

УСТРОЙСТВО РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ ПОДСТАНЦИЙ НА ПОВЕРХНОСТИ ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

13. 1. Устройство главных понизительных подстанций

Известно, что главная понизительная подстанция (ГПП) предназначена для распределения электрической энергии напряжением 6 кВ, понижения напряжения и

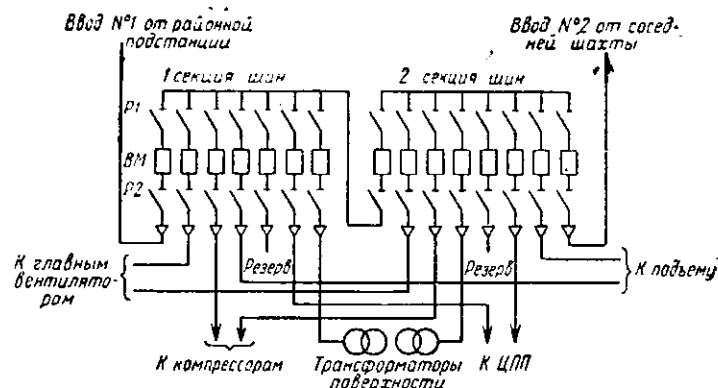


Рис. 13.1. Принципиальная электрическая схема ГПП

распределения электрической энергии низшего напряжения.

Для распределения электрической энергии и присоединения трансформаторов нужны распределительные устройства (РУ). Таким образом, подстанция представляет собой несколько РУ, объединенных между собой шинами.

РУ, трансформаторы и другое оборудование может располагаться в специальных помещениях, тогда подстанция называется закрытого типа. Принято подстанции с высшим напряжением 6—10 кВ строить закрытого типа.

Если РУ, трансформаторы и другое оборудование располагается на открытом воздухе и только некоторые элементы (релейная защита, щит управления и др.) располагаются в помещении, тогда подстанция называется открытого типа. Принято подстанции напряжением 35 кВ и выше строить открытого типа.

Присыльные и распределительные устройства (рис. 13.1) комплектуются из шин, шинных (Р1) и линейных (Р2) разъединителей, выключателей мощности (ВМ), измерительных трансформаторов, измерительных приборов, реле защиты, приводов разъединителей.

Изготовление РУ можно вести путем сборки их на месте из отдельных аппаратов, тогда они будут называться сборными. Сборные РУ дорого стоят и медленно монтируются, поэтому применяются очень редко.

Широкое применение нашли комплектные РУ, которые собираются полностью на специализированных за-

водах, а на подстанциях только подсоединяются к общей схеме подстанции.

Комплектные РУ (КРУ) значительно дешевле сборных, и применение их дает возможность удешевить и ускорить монтаж подстанций.

КРУ выполняются различных типов для внутреннего монтажа (отличаются они номерами типов) и для установки на открытом воздухе (КРУИ).

При размещении оборудования на подстанции руководствуются следующими соображениями: взрыво- и пожароопасное оборудование размещается в железобетонных взрывных камерах; распределительные устройства высшего и низшего напряжения располагаются отдельно; ключи управления, сигнализация с распределительных устройств, измерительные приборы выносятся на пульт диспетчера; определенное количество РУ резервируется; вентиляция всех помещений осуществляется естественная.

Принципиальная электрическая схема ГПП показана на рис. 13.1.

Правилами технической эксплуатации для ГПП рекомендуется применение одинарной секционированной системы шин. Сущность этой системы заключается в том, что шины, расположенные по длине подстанции с обеих сторон коридора управления, разделены на две секции, которые могут присоединяться друг к другу масляным выключателем или разъединителем. К каждой секции подсоединена одна из линий, по которой подается напряжение на подстанцию. Так как ГПП питает потребителей электроэнергии всех категорий, линии, подающие напряжение, должны питаться от независимых источников тока.

Потребители первой категории по надежности электроснабжения (подъем, главный водоотлив, главный вентилятор и т. д.) питаются по двум линиям электропередач; каждая линия подсоединяется к разным секциям шин.

13. 2. Контроль за состоянием изоляции в сетях напряжением выше 1000 В

Для постоянного контроля качества изоляции ЛЭП и установок с $U > 1000$ В на ГПП монтируют три вольтметра V и реле напряжения РН, подключенных к шинам

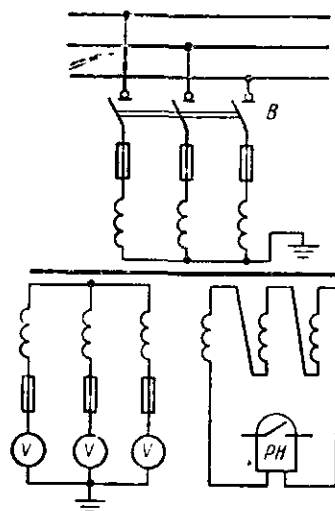


Рис. 13. 2. Электрическая схема устройства для контроля за состоянием изоляции в сетях напряжением свыше 1000 В

на землю в цепи катушки реле появится напряжение, реле замкнет свой контакт, в результате будет произведено отключение линии, либо подан звуковой сигнал о наличии опасного режима работы сети.

Учитывая, что описанные способы контроля качества изоляции требуют присутствия на ГПП обслуживающего персонала, в настоящее время ведутся работы по внедрению реле утечки типа АЗУ-6 для автоматического контроля качества изоляции кабельных линий, подающих электроэнергию подземным потребителям напряжением 6 кВ.

13. 3. Комплектные трансформаторные подстанции

Для электроснабжения потребителей небольшой мощности используются трансформаторные киоски и мачтовые трансформаторные пункты.

Трансформаторные киоски устраиваются в отдельно стоящих огнестойких зданиях. Они имеют минимум два

ГПП через трансформатор напряжения НТМИ-6 (рис. 13.2). При одинаковом сопротивлении трех фаз относительно земли показания вольтметров будут одинаковыми.

При снижении сопротивления одной из фаз снижается показание вольтметра, подключенного к данной фазе, и возрастают показания двух других вольтметров. При замыкании одной из фаз на землю вольтметр, подсоединенный к этой фазе, покажет нулевое напряжение, а два других — линейное напряжение сети.

В цепи реле напряжения РН при нормальном состоянии изоляции суммарное напряжение близко к нулю, при замыкании одной из фаз

помещения с отдельными выходами: взрывную камеру для размещения трансформатора, коммутационной и защитной аппаратуры на напряжение свыше 1000 В и помещение распредустройства напряжением до 1000 В.

Мощность трансформатора, устанавливаемого в таких киосках, не превышает 400—630 кВ·А.

Комплектные трансформаторные подстанции применяются для электроснабжения постоянных потребителей электроэнергии и особенно для снабжения электроэнергией строительных площадок. Устанавливаются как внутри помещений (КТПВ), так и на открытом воздухе (КТПН). Поставляются заводами полностью собранными или подготовленными для сборки.

В КТПВ и КТПН, у которых все электрооборудование и токоведущие части находятся в закрытых металлических корпусах, предусматривается установка одного или двух трансформаторов мощностью от 30 до 1000 кВ·А на напряжение 6—10/0,4—0,23 кВ.

В открытых КТПН, которые собираются из отдельных блоков, устанавливаются трансформаторы мощностью до 10 000 кВ·А на напряжение 220, 110, 35, 10 и 6 кВ.

Применение комплектных трансформаторных подстанций дает значительную экономию по сравнению с применением обычных стационарных подстанций.

13.4. Автоматизация в системах электроснабжения горного предприятия

На действующих и строящихся предприятиях из элементов автоматизации электроснабжения широко применяются телесигнализацию, дистанционное управление РУ, устройства автоматического включения резервного питания оборудования (АВР) и автоматического повторного включения (АПВ).

АВР может быть применено при условии, что потребитель будет питаться от двух источников энергии, которые либо работают раздельно (каждый на свою секцию шин), либо один работает, а другой находится в резерве.

В таких случаях система реле АВР настраивается таким образом, чтобы в случае отключения одного из источников автоматически происходило переключение

всех (или части) потребителей, потерявших питание от первого источника, на питание от второго источника.

АПВ позволяет быстро восстановить электроснабжение в случае отключения его. Для выполнения автоматического повторного включения заводы выпускают устройства АПВ в двух вариантах: механическом и электрическом. Механическое АПВ применяется в ручных и грузовых приводах, электрическое — в любых приводах с дистанционным управлением. Полные схемы автоматизации систем электроснабжения рассматриваются в специальной литературе и курсе «Автоматизация производственных процессов».

13.5. Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок напряжением выше 1000 В

Для обеспечения обслуживания РУ напряжением выше 1000 В в соответствии с «Правилами техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей», фиксирования распоряжений вышестоящих технических руководителей и показаний различных контрольных приборов в здании подстанции всегда находится следующая документация: принципиальная схема электроснабжения горного предприятия; список лиц, имеющих право производить оперативные переключения; оперативный журнал, куда заносятся все производимые оперативные переключения, отметки о допуске к работам по ремонту и наладке оборудования подстанции; бланки переключений, которые заполняются при производстве сложных переключений в подстанции; папка действующих нарядов на ремонт оборудования подстанции; журнал записи показаний приборов, учитывающих расход энергии; журнал учета выдачи ключей от помещений электроустановок; журнал сдачи и приема смен дежурным персоналом.

Для обеспечения безопасного обслуживания дежурным персоналом РУ напряжением выше 1000 В в подстанции должны быть следующие защитные средства: изолирующие штанги — по одной на каждое применяемое напряжение; указатели напряжения — по одному на каждое применяемое напряжение; изолирующие клещи для замены предохранителей; диэлектрические перчатки — не менее двух пар; переносные заземления (закоротки) — не менее двух на каждое напряжение; времен-

ные ограждения (щиты) — не менее двух; предупредительные плакаты — не менее четырех комплектов; защитные очки — две штуки; противогазы — две штуки.

Все изолирующие средства должны иметь отметку об испытании их на диэлектрическую прочность.

Для обеспечения безопасности при проведении ремонтно-наладочных работ обязательно выполнение следующих организационных мероприятий: оформление работы письменным нарядом или распоряжением, выдаваемым непосредственно перед началом работы; допуск к работе; надзор во время работы; оформление перерывов в работе, переводов на другое рабочее место, окончания работы.

Необходимо помнить, что при осмотре и обслуживании аппаратов напряжением 6—10 кВ категорически запрещается: а) приближаться к токоведущим частям ближе чем на 0,7 м; б) заходить внутрь РУ, находящегося под напряжением; в) производить включения и отключения электрических аппаратов без использования защитных средств.

При эксплуатации маслонаполненных аппаратов необходимо систематически следить за уровнем масла и периодически (раз в 6 мес) отправлять масло на лабораторные испытания.

Раздел четвертый

ОСВЕЩЕНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

Глава 14

ОСНОВНЫЕ СВОТОТЕХНИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ИСТОЧНИКИ СВЕТА

14.1. Значение освещения, основные светотехнические величины

Хорошее освещение рабочего места является одним из условий повышения производительности труда, снижения травматизма, улучшения качества продукции.

Для выполнения различных работ необходимы различные оптимальные условия освещения места работы, поэтому ПТЭ угольных и сланцевых шахт устанавливают определенные нормы освещения отдельных рабочих мест, выработок, камер и т. д.

Для определения качества и количества света в технике используются нижеперечисленные светотехнические величины.

Так как от точечного источника свечения лучистая энергия распространяется во все стороны, то для характеристики количества энергии, проходящей через определенную площадку за единицу времени и воспринимаемой глазом человека как свет, введено понятие световой поток.

В большинстве случаев рассматривают поток излучения, распространяющийся в ограниченной части пространства. С одной стороны — это точечный источник света, с другой — это интересующая нас площадка; таким образом, рассматривают конический объем пространства. Эта часть пространства именуется *телесным углом* ω (рис. 14.1, а).

За единицу телесного угла принят угол, вырезающий на поверхности сферы площадь, равную площади квад-

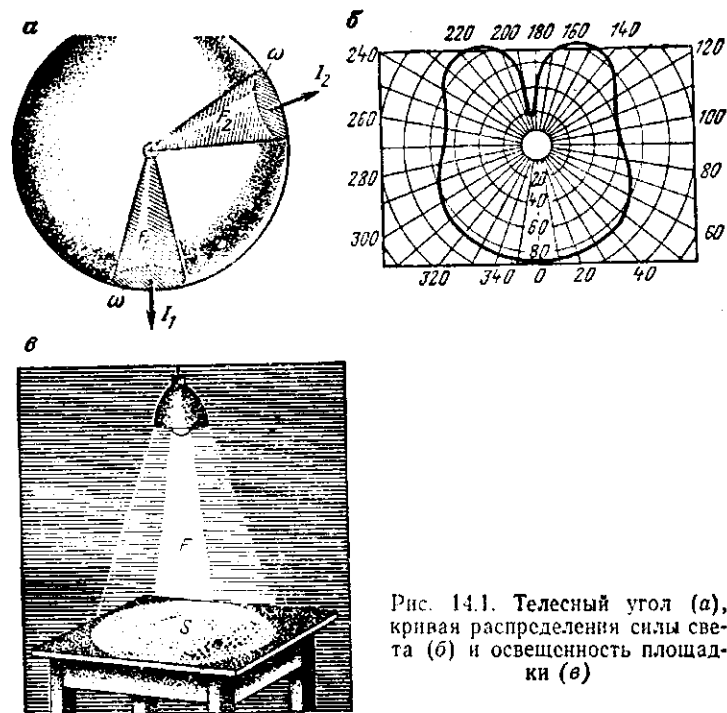


Рис. 14.1. Телесный угол (а), кривая распределения силы света (б) и освещенность площадки (в)

рата со стороной, равной радиусу сферы. Эта единица называется *стерадиан* (ср).

В действительных источниках света световой поток не одинаков во всех направлениях, и чтобы иметь возможность вычислить его величину, введено понятие — *сила света*.

Силой света I называется величина, которая характеризует зависимость светового потока, испускаемого источником света, от направления излучения. В единицах СИ сила света измеряется в канделах (кд).

Кандела равна силе света, испускаемого с поверхности площадью $1/600\,000\text{ м}^2$ полого излучателя в перпендикулярном направлении, при температуре излучателя, равной температуре затвердения платины при давлении 101 325 Па.

Световой поток F — это мощность лучистой энергии оцениваемая по световому ощущению глаза человека.

Световой поток F измеряется в люменах (лм). Световой поток в 1 лм — это световой поток, излучаемый точечным источником силой света в 1 кд внутри телесного угла в 1 ср. Зависимость между F и I выражается формулой

$$I = \frac{F}{\omega}.$$

При наличии точечного источника силой света в 1 кд общий световой поток его будет

$$F = 4\pi I.$$

Сила света ламп и осветительных приборов неодинакова в различных направлениях, поэтому для характеристики данного источника света (или осветительного прибора) дается кривая распределения силы света в полярных координатах (рис. 14.1, б).

Световой поток, падая на поверхность, освещает ее.

Освещенностью E называется плотность светового потока на освещаемой поверхности (рис. 14.1, в). За единицу освещенности принят люкс (лк) — освещенность площади в 1 м², когда на нее падает световой поток в 1 лм.

Если в центре шара радиусом R поместить источник света силой I , то освещенность внутренней поверхности шара

$$E = \frac{F}{S} = \frac{4\pi I}{4\pi R^2} \quad \text{или} \quad E = \frac{I}{R^2},$$

т. е. освещенность прямо пропорциональна силе света и обратно пропорциональна квадрату расстояния от источника света до освещаемой поверхности.

Учитывая производственную важность освещения рабочего места и то, что источник света выделяет световой поток во все стороны, при конструировании осветительных приборов стараются по возможности весь световой поток направить на освещаемую поверхность. Это возможно путем использования отражающих устройств.

На рис. 14.1, в в центре более светлое пятно освещено прямым световым потоком, а по краям — отраженным. Как видно из рисунка, освещенность этих площадей неодинакова.

Количество отраженного светового потока будет зависеть от свойств отражающей поверхности. Эти свойства характеризуются коэффициентом отражения ρ , который вычисляется как отношение отраженной части светового потока $F_{\text{отр}}$ к общему световому потоку, падающему на поверхность $F_{\text{пад}}$:

$$\rho = \frac{F_{\text{отр}}}{F_{\text{пад}}}.$$

Для углей коэффициент ρ колеблется в пределах 0,02—0,08, для пород — 0,1—0,37, для светлых стен зданий — 0,2—0,5. Отсюда следует, что для более полного использования светового потока источников света необходимо вокруг источника иметь поверхности с высоким ρ . Поэтому в шахте рекомендуется производить побелку выработок. Исследованиями установлено, что побелка выработок увеличивает коэффициент отражения в 5—10 раз.

Яркость — это сила света с единицы площади светящейся поверхности.

За единицу яркости в СИ принимают кд/м² — яркость такой плоской равномерно светящейся поверхности, с каждого квадратного метра которой в перпендикулярном к ней направлении излучается сила света в 1 кд.

Человеческий глаз реагирует на очень малую яркость — 10⁻⁶ кд/м², а яркость более 10⁵ кд/м² может повредить глаз. Поэтому при устройстве осветительных приборов стараются различными способами уменьшить яркость источника света. Для этого применяют различного рода светильники, непрозрачные колпаки-отражатели, которые закрывают источник света от глаз, матовые стекла и т. д.

14.2. Электрические источники света

Основными источниками искусственного освещения являются лампы накаливания и люминесцентные лампы.

Лампа накаливания, изобретенная в 1873 г. русским инженером А. Н. Лодыгиным и усовершенствованная затем Эдисоном, имеет устройство, показанное на рис. 14.2.

Обычно лампы накаливания мощностью до 40—60 Вт изготавливаются вакуумными, а лампы большей мощно-

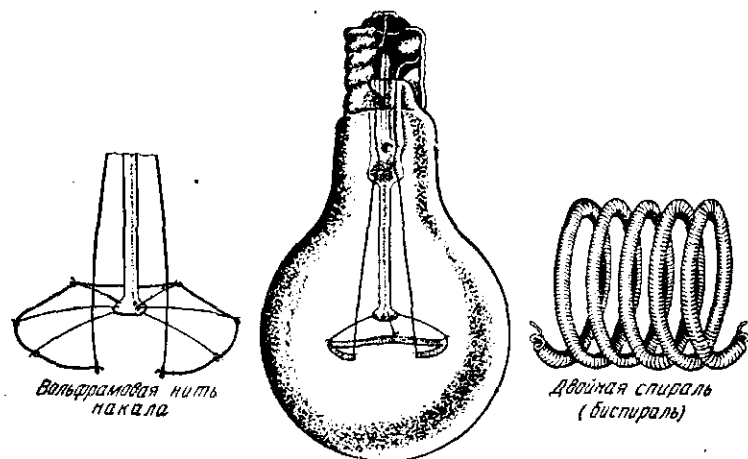


Рис. 14.2. Конструкция лампы накаливания

сти — газонаполненными. В качестве наполнителей используют инертные газы: аргон, криптон, ксенон, азот.

Наполненные газом лампы имеют более высокий к. п. д. и больший срок службы, так как газы-наполнители уменьшают распыление нити накаливания. Для уменьшения распыления и улучшения к. п. д. нить накаливания сворачивается в двойную спираль.

Свечение лампы происходит за счет нагрева спирали до 2572—3073 К. При такой температуре световой к. п. д. лампы составляет всего 1—4%. С увеличением температуры он увеличивается, однако лампа быстро выходит из строя.

Световая отдача (отношение светового потока к потребляемой из сети мощности) составляет 7,9—18,2 лм/Вт.

Срок службы лампы — 1000 ч.

К достоинствам ламп накаливания относятся: простота устройства; низкая себестоимость; независимость работы лампы от окружающей температуры; малые габариты.

К недостаткам лампы накаливания относятся: малый срок службы; низкий световой к. п. д.; малая светоотдача; взрывоопасность (высокая температура светящегося тела); чувствительность к колебаниям напряжения.

Люминесцентная лампа (рис. 14.3) состоит из стеклянной трубки 1, на концах которой укреплены цоколи 2 с вольфрамовыми биспиральными электродами 3, покрытыми пленкой окиси бария.

После откачивания воздуха из трубки в нее вводится некоторое количество ртути и аргона. Внутренняя поверхность трубки покрывается люминофором, который под воздействием ультрафиолетового излучения паров ртути при горении лампы светится видимым светом.

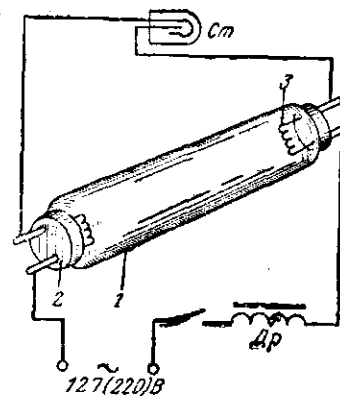


Рис. 14.3. Конструкция люминесцентных ламп

Спектр свечения зависит от состава люминофора. На лампах ставят следующие обозначения, указывающие на характер свечения: ЛД — лампы дневного света; ЛБ — лампы белого света; ЛХБ — лампы холодно-белого света; ЛТБ — лампы теплого белого света и т. д.

Коэффициент полезного действия люминесцентных ламп выше, чем ламп накаливания, и составляет около 60%, светоотдачи — 32—43 лм/Вт, срок службы — 3000 ч.

Горение лампы обеспечивается за счет разряда в парах ртути, который происходит между электродами 3. Для горения лампы достаточно, чтобы между электродами было напряжение около 60 В и напряжение на нитях накала 6 В. Однако для зажигания лампы необходимо напряжение 700—800 В, поэтому люминесцентные лампы имеют специальное пусковое устройство.

К достоинствам люминесцентных ламп относятся: большой срок службы; значительная светоотдача (в 3—4 раза больше, чем в лампах накаливания); спектр света, более близкий к солнечному свету; их частичная взрывобезопасность. Опытами установлено, что температура нагрева элементов лампы в процессе горения недостаточна для зажигания взрывоопасной смеси в случае разрушения трубки лампы. Однако при зажигании лампы

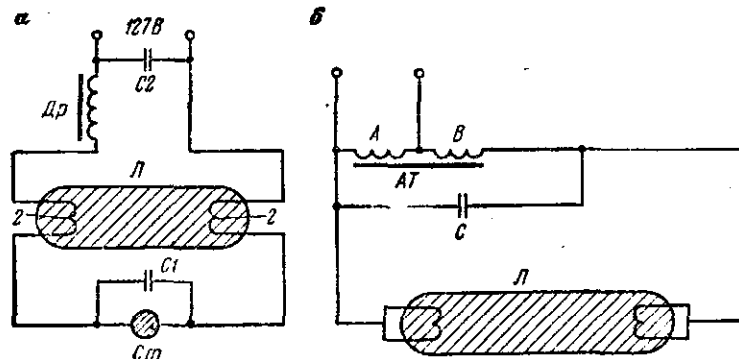


Рис. 14.4. Схемы зажигания люминесцентных ламп:
а — с предварительным подогревом электродов лампы; б — без подогрева электродов лампы

методом подогрева электродов, температура их достаточно для взрыва метано-воздушной смеси.

К недостаткам люминесцентных ламп относятся: большие габариты ламп; необходимость специального пускового устройства, которое не только громоздко, но и ухудшает коэффициент мощности; чувствительность ламп к низким температурам (при низких температурах лампа не зажигается); стробоскопический эффект.

Несмотря на перечисленные недостатки, люминесцентные лампы широко используются для освещения подземных выработок, так как они экономичнее ламп накаливания, дают свет по спектру более близкий к дневному, в процессе работы имеют невысокую температуру.

На рис. 14.4 представлены две схемы зажигания люминесцентных ламп: без подогрева электродов и с предварительным подогревом электродов.

В схему пускового устройства с предварительным подогревом электродов (рис. 14.4, а) входят: дроссель *Др* — для ограничения тока, стартер *Ст* и электроды лампы. Все эти элементы соединены последовательно и включены в сеть.

Стартер *Ст* представляет собой небольшую неоновую лампочку с порогом зажигания, близким к напряжению сети, и с одним электродом, изготовленным из биметалла.

При включении напряжения стартер *Ст* загорается, в результате чего электроды его нагреваются и через некоторое время (0,5; 1 с) замыкаются. Величина тока в цепи увеличивается. Электроды лампы нагреваются, нагревается газ внутри трубки, происходит испарение ртути, газовое пространство ионизируется, возникает термоэлектронная эмиссия.

В этот момент остывший биметаллический электрод стартера размыкает электрическую цепь. В дросселе *Др* возникает э. д. с. самоиндукции значительной величины, на электродах 2 появляется высокое напряжение (600—800 В), в результате чего лампа зажигается.

Так как при горении лампы *Л* на электроды стартера *Ст* подается напряжение ниже порога зажигания его, стартер не загорается до тех пор, пока по какой-либо причине лампа *Л* не потухнет. Как только лампа потухнет, стартер зажжется и процесс подогрева электродов и зажигания лампы повторится.

Так как лампа тухнет и при разрушении трубки, то стартер включит накал электродов в момент непосредственного контакта их с рудничной атмосферой. Температура нагрева электродов при зажигании лампы достаточно для воспламенения метано-воздушной смеси, поэтому этот способ зажигания лампы представляет повышенную опасность при применении его в рудничных светильниках.

Конденсатор *С1* применяется для уменьшения радиопомех, конденсатор *С2* — для повышения коэффициента мощности лампы.

На рис. 14.4, б показана схема бесподогревного способа зажигания лампы, за счет использования эффекта ударной ионизации газового пространства. Здесь в цепь лампы включен автотрансформатор *АТ*. Вначале он работает как автотрансформатор, повышая напряжение на электродах лампы *Л* до величины, необходимой для зажигания лампы, а затем как дроссель, ограничивающий величину тока в цепи горящей лампы. Конденсатор *С* используется для повышения коэффициента мощности устройства.

Для бесподогревного зажигания ламп используется также схема с резонансом напряжения.

Бесподогревные способы зажигания уменьшают срок службы ламп вследствие более быстрого распыления и

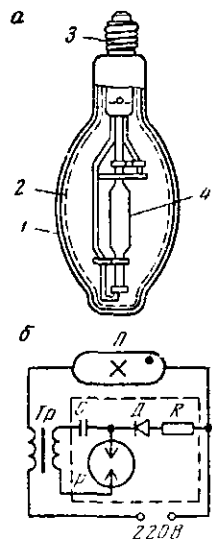


Рис. 14.5. Общий вид (а) и схема зажигания (б) ртутной лампы ДРЛ

Состоит из стеклянного баллона 1, покрытого изнутри люминофором 2, и резьбового цоколя 3. Внутри стеклянного баллона помещается ртутная лампа 4, баллон заполнен азотом. Ртутная лампа представляет собой баллон из кварцевого стекла, внутри которого находятся аргон под небольшим давлением, небольшое количество ртути и два вольфрамовых электрода. Электроды через цоколь соединяются с сетью.

В сеть включается специальное пусковое устройство, состоящее из трансформатора-дросселя Tr , конденсатора C , селенового выпрямителя D , ограничивающего сопротивление R и разрядника P (рис. 14.5, б).

При включении напряжения конденсатор C заряжается через выпрямитель D и сопротивление R .

При повышении напряжения на конденсаторе до некоторого значения произойдет разряд через разрядник P , вследствие чего на первичной обмотке трансформатора Tr возникает импульс высокого напряжения, зажигающий лампу.

При горении лампы напряжение на конденсаторе ниже пробивного напряжения разрядника и разрядов нет.

оплавления активной части электродов.

Кроме рассмотренных люминесцентных ламп (иногда их называют ртутными лампами низкого давления), в угольной промышленности все большее распространение получают *ртутные лампы высокого давления с исправленной цветностью* (сокращенно они называются ДРЛ и четырехэлектродная ДРЛ).

На поверхности применяется лампа ДРЛ, показанная на рис. 14.5, а. По своему внешнему виду и устройству для включения в сеть она похожа на лампу накаливания. Выпускается мощностью от 80 до 1000 Вт, имеет высокую светотдачу — 40—50 лм/Вт, большой срок службы — до 5000 ч и световой к. п. д. 6%.

Постепенно (в течение 4—6 мин) давление в кварцевом баллоне увеличивается, горение становится дуговым. Ультрафиолетовые лучи люминофором превращаются в видимый спектр света.

В подземных условиях применяют аналогичную лампу, но с четырьмя электродами (рис. 14.6, а). Электроды 1 и 2 являются рабочими, а 3 и 4 — зажигающими. Зажигающие электроды располагаются рядом с противоположными по фазе рабочими электродами на достаточно малом расстоянии, которое не препятствует возникновению тлеющего разряда при напряжении сети.

При подаче напряжения вначале происходит разряд между электродами 1—3 и 2—4, а через 4—6 мин возникает дуга между рабочими электродами 1 и 2.

Схема зажигания лампы показана на рис. 14.6, б.

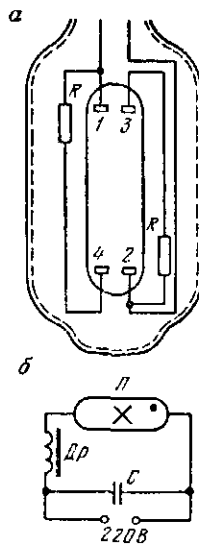


Рис. 14.6. Общий вид баллона четырехэлектродной лампы ДРЛ (а) и схема зажигания (б)

Глава 15

РУДНИЧНЫЕ СВЕТИЛЬНИКИ И ОБОРУДОВАНИЕ ЭЛЕКТРООСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

15.1. Общие сведения

Светильником называется осветительный прибор ближнего действия, предназначенный для рационального использования светового потока источника света и защиты его от окружающей среды.

К конструкциям рудничных светильников предъявляются следующие требования: защита внешней среды от свойств источника света, которые могут вызвать нежелательные явления; распределение светового потока лампы с целью получения наибольшего потока в нужном

направлении; защита лампы от действия отрицательных факторов внешней среды.

В зависимости от способа передачи энергии к источнику света рудничные светильники делятся на *сетевые светильники*, получающие энергию от проложенной в выработках электрической сети, *рудничные аккумуляторные светильники*, получающие энергию от автономных источников энергии — аккумуляторов.

В соответствии с ПБ сетевыми светильниками на линейное напряжение не более 220 В в подземных условиях должны освещаться: а) электромашинные и диспетчерские камеры, здравпункты, раздаточные камеры складов ВМ; б) главные выработки с локомотивной откаткой, конвейерной доставкой и откаткой бесконечным канатом; в) приемные площадки, разминовки, участки выработки, где производится перегрузка угля, пункты посадки людей в поезда и выхода из них; г) людские ходки, вспомогательные наклонные стволы с механизированной перевозкой людей.

Сетевыми светильниками на линейное напряжение не более 127 В должны освещаться: а) призабойное пространство стволов и проходческие подвесные полки; б) забои очистных выработок на пологих и наклонных пластах, оборудованные механизированными комплексами, независимо от мощности пласта; в) электромашинные установки, передвижные подстанции и распределители вне специальных камер.

Ручными индивидуальными аккумуляторными светильниками снабжаются все люди, спускающиеся в шахту.

Так как сетевые светильники в шахтах работают в различных газовых условиях, то они изготавливаются в исполнении РН, РП и РВ.

15. 2. Рудничные сетевые светильники в исполнении РН, РП, РВ

Светильники в исполнении РН применяются для освещения подземных выработок негасовых шахт и околоточных выработок, омываемых свежей струей воздуха, газовых шахт всех категорий, исключая шахты, разрабатывающие пласты, опасные по выбросам, и выработки с суфлярным выделением метана.

В настоящее время в угольной промышленности находятся в эксплуатации следующие светильники в исполнении РН: с лампами накаливания — РН-60, РН-100, РН-200 (цифры показывают мощность ламп накаливания, которые ставятся в светильник); с люминесцентными лампами — РНЛ-20, РНЛ-80.

Конструкция светильников РН-60, РН-100 (рис. 15.1) и РН-200 одинаковы, отличаются они друг от друга размерами и мощностью ламп.

Светильники в исполнении РП применяются для освещения выработок со свежей струей воздуха шахт I, II, III категорий

по газу и сверхкатегорий или опасных по пыли, за исключением выработок с суфлярным выделением метана.

Светильники в исполнении РП выпускаются с лампами накаливания — РП-100М, РП-200, ПНН-500 и с четырехэлектродными ртутными лампами ДРЛ — РП-ДРЛ-80, РП-ДРЛ-125.

Светильник ПНН-500 предназначен для освещения забоев стволов, остальные — для освещения горизонтальных и наклонных выработок.

Светильники в исполнении РП имеют те же основные части, что и светильники в исполнении РН, но выполнение некоторых из них иное. Так, корпус светильника имеет проходную кабельную муфту, что дает возможность при подключении светильников обойтись без тройниковых муфт.

Исполнение корпуса светильника — РВ, 2В. В корпусе помещаются все токоведущие части, в том числе устройство, исключающее возникновение искры между патроном и цоколем лампы в случае замены ее без снятия напряжения в электрической сети. Такое же устрой-

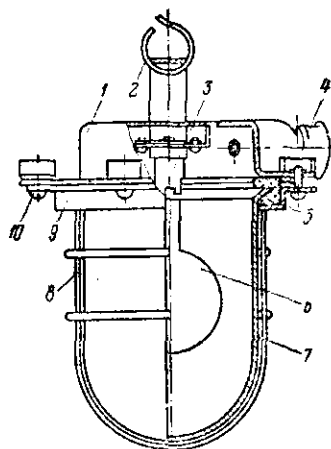


Рис. 15. 1. Конструкция светильника РН-100:

1 — корпус; 2 — устройство для подвески; 3 — патрон; 4 — штуцер; 5 — прокладка; 6 — лампа накаливания; 7 — защитный стеклянный колпак; 8 — защитная сетка; 9 — фланец для крепления; 10 — крепежные болты

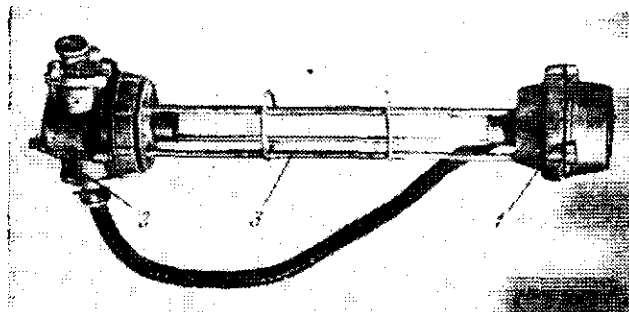


Рис. 15.2. Конструкция светильника РВЛ-20М

ство применяется в светильниках в исполнении РВ, при описании которых рассмотрена его конструкция.

Кольцо, с помощью которого прижимается защитный стеклянный баллон к корпусу, соединяется с корпусом с помощью штыкового замка.

Светильники в исполнении РВ применяются для освещения выработок и работ в газовых шахтах в местах, где не разрешается применение светильников в исполнении РП.

Для освещения горизонтальных и наклонных выработок применяются светильники с люминесцентными лампами РВЛ-20М, РВЛ-40М, РВЛ-80М, для освещения очистных забоев при работе комплексов — «Луч-2», СКВ-2/8У, СЭВ-60, СЭВ-15.

Все светильники РВЛ имеют одинаковую конструкцию и отличаются друг от друга размерами светильников, мощностью ламп, способом зажигания ламп.

Светильник РВЛ-20М (рис. 15.2) состоит из двух разъемных корпусов 1, 2, изготовленных в исполнении РВ, 2В и соединенных между собой металлической трубкой.

В одном из корпусов смонтирован проходной кабельный ввод, в другом находится пусковое устройство; между корпусами вставлена люминесцентная лампа 3, закрытая прозрачным цилиндром из прочного стекла. С обеих сторон располагаются патроны с устройством, которое обеспечивает разрыв электрической цепи люминесцентной лампы в случае разрушения баллона лампы.

Устройство опережающего отключения (рис. 15.3) состоит из корпуса 1, изготовленного из прочной пластмассы, в котором смонтированы неподвижные контакты 2 и подвижные контакты 3. Контакты 3 пружинами 4 удерживаются в крайнем левом положении. Камеры, где перемещаются подвижные контакты и образуются искры при разрыве цепи между контактами 2 и 3, выполнены во взрывобезопасном исполнении.

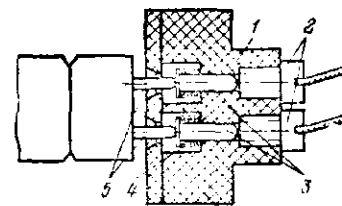


Рис. 15.3. Устройство опережающего отключения для светильников в исполнении РП и РВ

В нормальных условиях работы люминесцентной лампы ее штыри 5 прижимают подвижные контакты 3 к неподвижным 2, и электрический ток проходит через них в лампу. При повреждении баллона лампы штыри 5 теряют опору, в результате чего пружины 4 за 2—3 мс перемещают контакты 3 в левое положение и разрывают электрическую цепь.

Размещение токоведущих частей во взрывобезопасных оболочках и рассмотренное выше блокирующее устройство обеспечивают взрывобезопасность светильников РВЛ.

В светильниках РВЛ-20М применяется способ зажигания лампы с предварительным подогревом электродов путем включения их в электрическую цепь с помощью неоновой лампы. В светильниках РВЛ-40М и РВЛ-80М используется бесстартерный способ зажигания лампы с предварительным подогревом.

Светильник «Луч-2» устанавливается на изгибающихся конвейерах струговых установок. В нем применяется лампа мощностью 15 Вт. Зажигание лампы происходит за счет резонанса напряжений в пусковой схеме.

Светильник СКВ 2/8У предназначен для освещения очистных забоев при выемке угля механизированными комплексами. В нем применяются две лампы, каждая мощностью 8 Вт. Зажигание ламп осуществляется за счет бесстартерного предварительного подогрева электродов.

Светильники СЭВ-60 и СЭВ-15 предназначены для освещения очистных работ при применении механизированных комплексов.

В светильнике СЭВ-60 используется специальная лампа накаливания мощностью 60 Вт, в СЭВ-15 — люминесцентная U-образная мощностью 15 Вт. Защитные колпаки для ламп в обоих светильниках изготовлены из силикатного стекла и поликарбоната. Защитная решетка из проволоки отсутствует.

15.3. Рудничные аккумуляторные светильники

Согласно ПБ каждый подземный рабочий должен быть снабжен индивидуальными средствами освещения, независимо от наличия сетевого электрического освещения. Для этой цели в настоящее время широко применяются ручные (переносные) аккумуляторные светильники. Количество аккумуляторных светильников на шахте должно быть на 10% больше списочного состава подземных рабочих.

Для головных аккумуляторных светильников в угольной промышленности применяются щелочные кадмиево-никелевые аккумуляторы, которые выполняются герметизированными (не требующими доливки).

Наибольшее распространение получили аккумуляторные светильники СГГ-3 (рис. 15.4), состоящие из щелочной кадмиево-никелевой батареи аккумуляторов (три элемента КНГК-10Д) в пластмассовом корпусе и фары, которая подсоединена к батарее двухжильным кабелем.

В фаре, изготовленной из прочного материала, размещается двухсветовая лампа накаливания с двумя нитя-

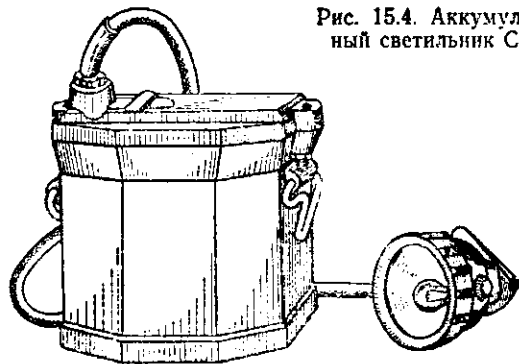


Рис. 15.4. Аккумуляторный светильник СГГ-3

ми на 1 и 0,5 А, переключатель мощности освещения, контактная система для подключения светильника к зарядному устройству и пружинный крючок для крепления фары на каске.

Характеристика СГГ-3 следующая: лампа накаливания — на ток 0,5—1 А; световой поток лампы — 30 лм; напряжение батареи — 3,75 В; емкость батареи — 10 А·ч; продолжительность работы — 10 ч; масса светильника — 2,1 кг; исполнение РП.

Выпущены аккумуляторные светильники с люминесцентными лампами (ЛАС-11), в которых лампа мощностью 3,5 Вт дает световой поток 70 лм. Однако они еще не получили широкого применения на шахтах.

15.4. Электрооборудование осветительных установок

Электрооборудование рудничных осветительных установок состоит из осветительных трансформаторов, пусковой и защитной аппаратуры, кабелей, кабельной аппаратуры и светильников.

В качестве осветительных трансформаторов для стационарных осветительных установок используют трансформаторы ТСШ-2,5С, ТСШ-4, для участковых передвижных установок — пусковые агрегаты АП-3,5М и АП-4.

При использовании трансформаторов ТСШ для подключения их в РП высшего напряжения (380 или 660 В) устанавливают магнитные пускатели ПВИ или ПМВИ на соответствующий ток, а для контроля за утечками тока в сети низшего напряжения — реле утечки УАКИ.

В передвижных осветительных сетях для питания светильников используют пусковые агрегаты, которые в комплекте имеют необходимую пусковую и защитную аппаратуру, поэтому схема подключения светильников упрощается.

Для электроснабжения в стационарных сетях, независимо от категории шахт по газу, используют бронированные и гибкие экранированные кабели, допущенные к эксплуатации в шахте.

Для электроснабжения освещения очистных и подготовительных выработок используют гибкие экранированные кабели.

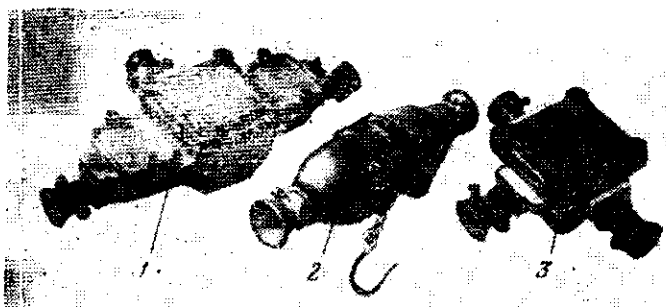


Рис. 15.5. Муфты:

1 — тройниковая ТМ-10М; 2 — соединительная СМ-6; 3 — тройниковая ТМ-6

Прокладку осветительных кабелей ведут совместно с силовыми кабелями, подвешивая их в горизонтальных и наклонных выработках выше силовых кабелей.

В случае необходимости установки на магистральном осветительном кабеле тройников (для подключения светильников, которые имеют один штуцер для ввода кабеля) используют тройниковые муфты: для соединения бронированных и гибких кабелей — ТМ-10М, для соединения гибких кабелей — ТМ-6 (рис. 15.5).

Тройниковая муфта представляет собой корпус с тремя выводными штуцерами и крышкой. Внутри корпуса, на изоляционной колодочке, установлены штыри для соединения жил трех кабелей. Муфты выполнены во взрывобезопасном исполнении.

При необходимости частого разъема кабеля осветительной сети в очистных выработках, в месте разъема монтируют взрывобезопасную соединительную муфту СМ-6.

Соединительная муфта состоит из двух частей: вилки и розетки. Розетка монтируется на кабеле, идущем от трансформатора, вилка монтируется на кабеле, не связанном с источником тока при разъединении сети.

15.5. Расчет освещения в подземных выработках

Для обеспечения нормальных зрительных восприятий в подземных условиях необходимо выполнение следующих условий:

а) освещенность рабочих поверхностей не должна быть ниже минимальной, установленной исходя из санитарно-гигиенических условий и предписанной ПТЭ угольных и сланцевых шахт;

б) равномерность освещения одной и той же плоскости на протяжении 0,75 м не должна быть ниже 0,1—0,3; равномерность освещения определяется как отношение наименьшей освещенности $E_{\min}$ к наибольшей $E_{\max}$ на данной поверхности, т. е.

$$\frac{E_{\min}}{E_{\max}} \leq 0,1 \div 0,3;$$

в) источники света не должны иметь большую мощность, а приборы освещения должны иметь специальное устройство для уменьшения слепящего действия источников света.

Для выполнения этих требований ПТЭ предписывает минимальную величину освещенности, расстояние между светильниками в зависимости от мощности источника света и конкретной выработки.

Пользуясь приведенными в таблицах ПТЭ нормами, можно подсчитать количество светильников определенной мощности, необходимое для освещения той или другой выработки.

Иногда возникает необходимость производить расчеты освещения (для проверки фактической освещенности при принятой расстановке светильников, для определения количества светильников в местах, где отсутствуют рекомендации ПТЭ, и т. д.).

Существуют три метода расчета освещения: метод удельной мощности; точечный метод; метод светового потока.

Целью расчета любым методом является определение количества светильников и их мощностей для обеспечения минимальной освещенности $E_{\min}$.

Исходными данными для расчета являются величина $E_{\min}$ и площадь освещаемой поверхности S .

Метод удельной мощности используется для ориентировочных расчетов.

Он базируется на средних значениях мощности, необходимой для создания требуемой освещенности при средних значениях коэффициента использования осветительной установки.

Установлено расчетами и на практике, что удельный расход мощности на освещение жилых и общественных помещений колеблется в пределах 3,5—12 Вт/м², а для производственных помещений — 3—10 Вт/м². Для подземных условий удельный расход мощности рекомендуется принимать по ПТЭ угольных и сланцевых шахт.

Учитывая коэффициент запаса, коэффициент использования установки, светоотдачу ламп, можно приблизительно считать, что

$$\omega = \frac{E_{\min}}{3 \div 4},$$

тогда для освещения площади S потребуется общая мощность P , равная $S\omega$ (Вт), а при мощности одиночного светильника P_1 количество светильников n будет равно

$$n = \frac{P}{P_1}.$$

Для помещений и выработок, где освещение производится за счет прямого и отраженного светового потока источника света, расчет освещения наиболее целесообразно вести методом светового потока.

Точечный метод используется для определения освещенности в различных точках горной выработки.

Пример. Определить освещенность в точке A на горизонтальной плоскости от одной лампы (рис. 15.6, а).

Произведем некоторые построения. По кривой распределения силы света данного светильника определим силу света в этом направлении, пусть она будет I_a . Одновременно определим расстояние r от источника до точки A , угол α , вертикальное и горизонтальное расстояние h и a . Построим треугольник со сторонами h , a , r .

Как известно, освещенность E (лк) в точке A на поверхности, перпендикулярной к направлению светового потока, равна

$$E = \frac{I_a}{r^2},$$

но так как точка A находится на горизонтальной плоскости, находящейся под некоторым углом к направлению светового потока, то освещенность $E_{\text{гор}}$ будет равна

$$E_{\text{гор}} = \frac{I_a \cos \alpha}{r^2}.$$

Однако r не всегда удобно измерить, легче замерить величину h , поэтому, заменив r через h ($r = h / \cos \alpha$), получим

$$E_{\text{гор}} = \frac{I_a \cos^3 \alpha}{h^2}.$$

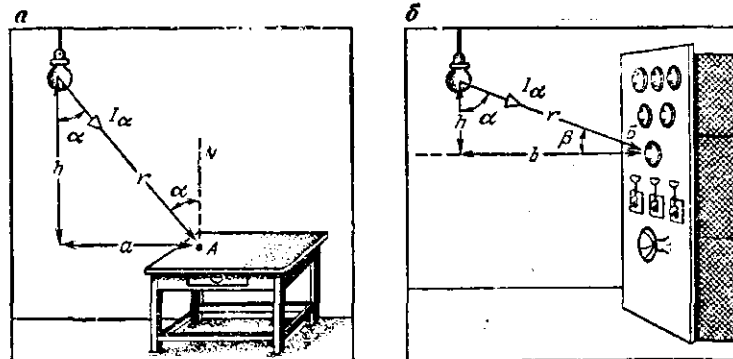


Рис. 15.6. Горизонтальная и вертикальная освещенность

Учитывая коэффициент k запыленности колпаков светильников в подземных условиях, окончательно получаем

$$E_{\text{гор}} = \frac{I_a \cos^3 \alpha}{kh^2}.$$

Аналогичным путем можно определить освещенность в точке B на вертикальной плоскости (рис. 15.6, б)

$$E_{\text{верт}} = \frac{I_a \sin \alpha \cos^2 \alpha}{kh^2} \quad \text{или} \quad E_{\text{верт}} = E_{\text{гор}} \operatorname{tg} \alpha.$$

Определив освещенность в точках A и B , можно сравнить ее с нормами и принять необходимые меры в случае расхождения между этими величинами.

Расчет кабельной сети и мощности трансформаторов для осветительных установок производится так же, как и для других силовых установок.

Так, мощность осветительного трансформатора $S_{0.т}$ вычисляется по формуле

$$S_{0.т} = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_n}{1000\eta_c},$$

где $P_1, P_2, \dots, P_n$ — установленная мощность светильников η_c — к. п. д. сети (принимается 0,92—0,95).

Сечение кабеля s определяется из условий допустимых потерь напряжения $\Delta U_{\text{доп}}$ по формуле

$$s = \frac{100PL}{4\gamma \Delta U_{\text{доп}}^2},$$

где P — общая нагрузка рассчитываемой линии; обычно считают, что она сосредоточена в центре плеч схемы; L — длина линии одного плеча; γ — удельная проводимость меди, принимаемая 50 м/Ом·мм²; ΔU — допустимая потеря напряжения, которая по ПТЭ принимается равной 4% номинального напряжения; U — номинальное напряжение осветительной линии.

15.6. Правила безопасности при эксплуатации электроосветительных установок в шахте

Для обеспечения безопасных условий работы осветительных установок в шахте необходимо выполнять следующие требования ПБ:

монтаж установок, прокладка кабелей и заземляющей сети должны выполняться в соответствии с проектом, с соблюдением требований ПБ и ПТЭ угольных и сланцевых шахт;

включение в работу электроустановок разрешается только при исправных реле утечки и наличии исправных заземляющих устройств;

взрывобезопасное оборудование должно подвергаться ежесменному и еженедельному осмотрам;

не реже одного раза в месяц стекла светильников должны протираться с целью удаления пыли;

стационарные осветительные кабельные сети должны иметь местные заземления через каждые 100 м;

любые ремонты и замены источников света в установках должны производиться при выключенном напряжении и соблюдении правил, предписанных ПБ;

разъединение и соединение штепсельных муфт в кабельной сети установок должны производиться при выключенном напряжении в разъединяемом кабеле;

индивидуальные аккумуляторные светильники ежедневно должны осматриваться для проверки их исправности и соответствия исполнению; фары индивидуальных светильников должны не реже одного раза в месяц очищаться от грязи и пыли.

Раздел пятый

РУДНИЧНАЯ АППАРАТУРА УПРАВЛЕНИЯ И ЗАЩИТЫ

Глава 16

ЭЛЕМЕНТЫ РУДНИЧНОЙ АППАРАТУРЫ УПРАВЛЕНИЯ

16.1. Общие сведения и классификация аппаратуры управления

Аппаратура управления предназначена для пуска, регулирования и остановки электропривода. Аппаратура защиты предназначена для предотвращения выхода из строя электроустановок и защиты обслуживающего персонала от поражения электрическим током в случае каких-либо нарушений нормального режима работы. Для эффективного использования механизма или машины необходимо, чтобы аппаратура управления по своему исполнению соответствовала условиям работы машины, была надежной в работе и легкой в обслуживании, давала возможность не только включать, выключать и регулировать электропривод, но при необходимости и автоматизировать его.

В шахтах применяется следующая аппаратура управления и защиты:

выключатели — аппараты управления, которые служат для ручного включения и отключения электропривода; **контроллеры** — аппараты управления, которые служат для ручного включения, отключения и переключения режимов работы электропривода;

автоматы (автоматические выключатели) — аппараты управления и защиты, которые служат для ручного включения электропривода или группы их (отключение электроприводов может происходить как вручную, так и автоматически при срабатывании защиты, встроенной в автомат);

пускатели (ручные) — аппараты управления и защиты, в которых смонтированы ручной выключатель и аппаратура защиты;

контакторы — аппараты управления, в которых для включения, удержания и отключения контактов используется сила электромагнитного поля;

пускатели магнитные — аппараты управления и защиты, в которых установлены контактор и аппаратура защиты;

магнитные станции управления — несколько магнитных пускателей в одном корпусе; служат для включения, отключения и регулирования нескольких приводов.

Рудничная аппаратура управления и защиты классифицируется по следующим признакам: по величине напряжения, по уровню взрывозащиты, по принципу действия механизма включения, по способу осуществления реверсирования механизма, по конструкции систем, обеспечивающих включение и выключение силовых цепей потребителя электроэнергии, по способу дугогашения и по конструкции контактов.

16.2. Элементы аппаратуры управления

В настоящее время наибольшее распространение на шахтах получили пускатели с контактными системами замыкания и размыкания силовых цепей. Наиболее важным и ответственным элементом таких пускателей является контактная система. От конструкции, материала и состояния контактов в значительной мере зависит надежность работы пускателя.

Контакты аппаратов изготавливаются из твердотянутой меди; в аппаратах, предназначенных для длительной работы под нагрузкой, контактные поверхности их покрываются серебром; в аппаратах с большими токами нагрузки обычно применяют несколько пар контактов на одну фазу.

В процессе работы контакты нагреваются, так как по ним проходит ток и так как между контактами существует переходное сопротивление. Уменьшение переходного сопротивления достигается за счет применения материалов, у которых удельное сопротивление материала и окисной пленки примерно одинаковое (серебро, особые сорта

лагуни и бронзы), увеличения давления на контакты и площади соприкосновения.

Контакты делятся на: плоские — касание по плоскости (контакты рубильников, разъединителей), линейные — касание по линии (изогнутые контакты пускателей и т. д.), точечные — касание в точке (плоская поверхность и полусферическая поверхность).

Наибольшее распространение получили линейные контакты изогнутой формы, позволяющей им при замыкании перекатываться друг по другу. При перекатывании, из-за разных радиусов кривизны изгиба, они притираются друг к другу (увеличивается площадь соприкосновения); кроме того, при разрыве цепи образовавшаяся дуга не повреждает рабочую поверхность контактов. Такие контакты часто называют контакторными, так как они наиболее широко применяются в контакторах.

Для каждого аппарата в зависимости от размеров контактов, их конструкции заводы указывают номинальный ток, который длительно может протекать через контакты, не перегревая их, и максимальный или разрывной ток, который может надежно разрывать контактная система без повреждения аппарата.

Дугогасительные устройства предназначены для создания условий, способствующих быстрому гашению электрической дуги. В дугогасительных устройствах различными способами добиваются уменьшения напряжения на единицу длины дуги и уменьшения (или устранения) ионизации промежутка между размыкающимися контактами.

Основные способы гашения электрической дуги следующие:

1. Интенсивное охлаждение электрической дуги с уменьшением величины удельного напряжения на единицу длины дуги за счет искусственного удлинения ее и непосредственного контакта ее по всей длине с изоляционным материалом, обладающим высокой теплопроводностью. Удлинение дуги достигается применением воздушного, масляного или магнитного дутья. При применении воздушного или масляного дутья струя воздуха или трансформаторного масла под давлением направляется перпендикулярно к дуге. За счет интенсивной замены окружающей среды дуга охлаждается, уменьшается напряжение на единицу длины дуги — она быстро гаснет.

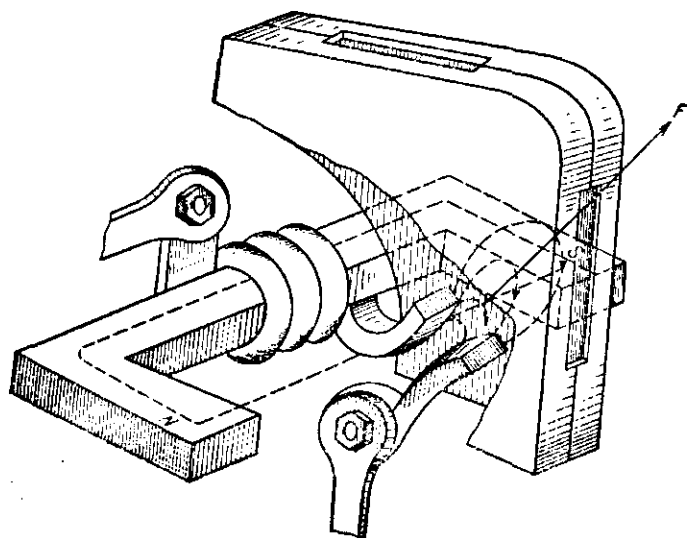


Рис. 16.1. Схематическое изображение процесса гашения дуги в дугогасительной камере с применением магнитного дутья

Магнитное дутье создается катушкой, включенной последовательно с контактами и размещенной на магнитопроводе, полюса которого охватывают с боков пространство, где образуется дуга. Магнитное поле катушки выдувает дугу внутрь асбо-цементной дугогасительной камеры (рис. 16.1).

Магнитное дутье в комбинации с дугогасительной камерой применяют на коммутационных аппаратах постоянного тока, иногда на выключателях переменного тока.

2. Рассечение электрической дуги на отдельные дуги, интенсивное охлаждение их. Этот способ осуществляется за счет многократного размыкания электрической цепи силовыми контактами и применения дугогасительных камер с деионными решетками (предложено русским ученым Доливо-Добровольским в 1912 г.). Такое устройство состоит из асбоцементной дугогасительной камеры (рис. 16.2), внутри которой закреплено большое количество стальных, омедненных изолированных друг от друга пластин 1. Дугогасительную камеру закрепляют над контактами аппарата переменного тока. При размыкании контактов 2 и 3 возникает дуга, которая под действием

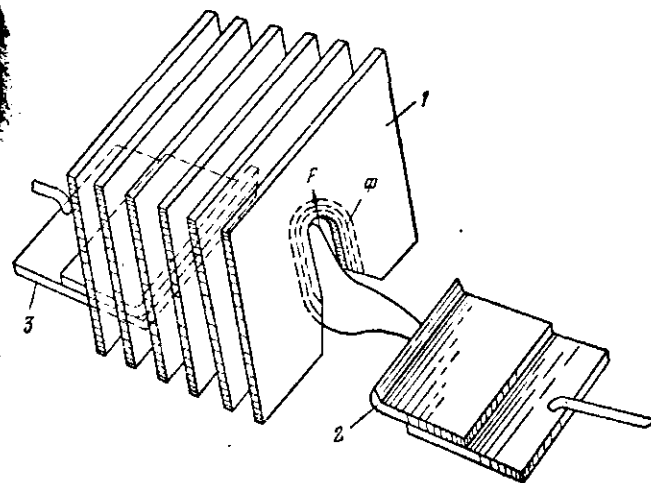


Рис. 16.2. Схематическое изображение принципа действия деионной решетки

силы F , создающейся в результате взаимодействия проводника с током (электрической дуги) с магнитным потоком Φ , смещенным в сторону стальных пластин, затягивается внутрь дугогасительной (деионной) решетки, пересекается на отдельные короткие горячие дуги с малыми потенциалами на концах, интенсивно охлаждаются и, при первом же переходе тока через нулевое значение, гаснут. Деионные решетки широко применяются во всех пускателях переменного тока.

3. Создание условий, исключающих ионизацию пространства между размыкающимися силовыми контактами. Конструктивно этот способ осуществляется путем размещения силовых контактов в камерах с высокой степенью вакуума.

Конструкции вакуумных выключателей уже разработаны и нашли применение в рудной промышленности. Для подземных выработок шахт таких выключателей пока нет, но научно-исследовательские институты ведут работу по их созданию.

Конструкция механизма включения и отключения пускателей играет существенную роль в вопросе обеспечения надежной и продолжительной работы контактной системы. Механизмы включения и отключения должны обеспечивать быстрое замыкание контактов, мгновенное

отключение их, независимо от быстроты действия обслуживающего персонала, достаточное давление в местах соприкосновения подвижного и неподвижного контактов.

Механизм ручного включения и отключения устраивается так, что вначале усилие руки затрачивается на сжатие или растяжение промежуточной пружины до определенного усилия, а затем пружина осуществляет включение, прижатие или отключение контактов с расчетной скоростью и силой.

В контакторах и магнитных пускателях включение происходит за счет силы притяжения якоря к неподвижному магнитопроводу, на котором закреплена катушка, питаемая электрическим током. Сила притяжения контактов и скорость включения и отключения рассчитываются и не зависят от обслуживающего персонала.

Механизм свободного расцепления используется для ручного включения автоматов. Это система рычагов, которая позволяет включать контакты вручную, а выключать — вручную и автоматически, даже в случае удержания рукоятки в положении «включено».

Простейший механизм свободного расцепления (рис. 16.3) состоит из системы рычагов 3, 4, 5, 6. Рычаг 3, к которому прикреплен подвижный контакт 2, постоянно возвращается в крайнее правое положение пружиной 9, а рычаги 3, 4, 5, 6 соединяются между собой шарнирно в точках А, С, В. Для включения необходимо взвести механизм — поставить рычаги 4, 5 в положение, когда шарнир С будет находиться на линии АВ, а затем, повернув рукоятку по стрелке, прижать подвижный контакт 2 к неподвижному 1. В случае перегрузки линии сердечник 8 электромагнита 7 ударяет в шарнир С, в результате шарнир поднимается выше прямой линии АД. Под действием отклоняющей пружины 9 автоматический выключатель выключается даже тогда, когда рукоятка будет удерживаться человеком в положении «включено».

Имеются и другие конструкции механизмов свободного расцепления, но принцип их работы такой же.

Блокировочные устройства, предназначенные для предотвращения неправильных действий обслуживающего персонала, могут быть механическими и электрическими.

Механические устройства осуществляют блокировку между крышкой пускателя и рукояткой выключателя или

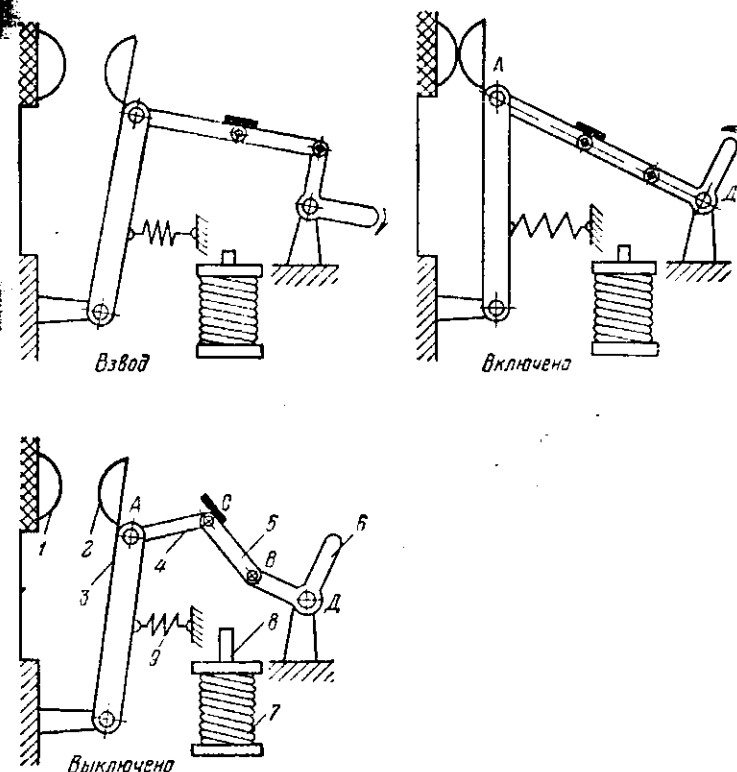


Рис. 16.3. Принципиальное устройство механизма свободного расцепления

разъединителя таким образом, что крышку пускателя невозможно открыть при включенной рукоятке, а также невозможно включить рукоятку при открытой крышке.

В ручных пускателях со штепсельным выводом (ПРВ-3 и др.) предусматривается еще блокировка, не дающая возможности вынуть и вставить штепсельную вилку при положении рукоятки «Включено», а также включить рукоятку при вынутой штепсельной муфте.

В магнитных пускателях предусмотрена механическая блокировка между кнопкой «Стоп» на пускателе и рукояткой разъединителя. Эта блокировка не дает возмож-

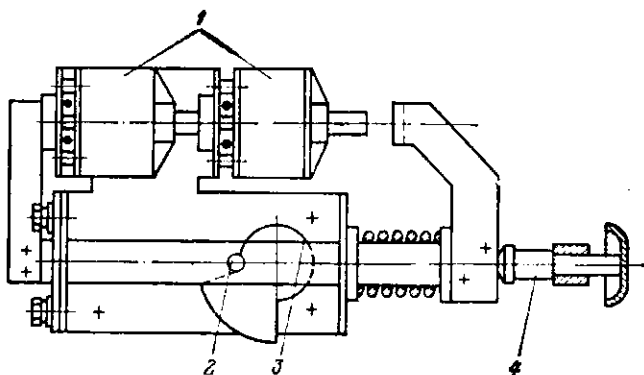


Рис. 16.4. Конструкция блокировки валика рукоятки разъединителя с кнопкой «Стоп»

ности выключить разъединитель при ненажатой кнопке «Стоп».

В реверсивных пускателях между контакторами «Вперед» и «Назад» устраивается механическая блокировка, не дающая возможности включить контактор «Вперед» при включенном контакторе «Назад», и наоборот. Перечисленные выше блокировки предохраняют обслуживающий персонал от ненамеренных нарушений общепринятых правил обслуживания рудничного оборудования.

Блокировки достигаются с помощью различных механических устройств. К примеру, в пускателях ПВИ блокировки осуществляются следующими механическими устройствами. На рис. 16.4 показана блокировка валика 3 рукоятки разъединителя с толкателем 4 кнопки «Стоп». При ненажатой кнопке «Стоп» блокировочная тяга своим штифтом 2 входит в фигурный вырез валика рукоятки разъединителя 3 и не дает возможности повернуть рукоятку в положение «Выкл.» (на рисунке по часовой стрелке). При нажатии на толкатель 4 тяга со штифтом 2 переместится влево, контакты кнопки 1 разомкнутся (если контактор пускателя был включен — он выключится) и рукоятку разъединителя 3 можно повернуть в положение «Выкл.» (кнопка «Стоп» останется в нажатом положении).

16.3. Контакторы

Контакторы различают: по роду тока — постоянного и переменного; по количеству полюсов — одно-, двух- и трехполюсные; по траектории движения подвижной части — клапанного типа и прямоходовые.

Контакторы постоянного тока надежнее в работе, более чувствительны к колебаниям напряжения, поэтому применяются в магнитных станциях управления крупными электродвигателями, иногда в рудничных магнитных пускателях (ПВИ-250, ПВИ-320).

Контакторы переменного тока нашли широкое применение в магнитных станциях и пускателях для управления электродвигателями забойных машин.

Одно- и двухполюсные контакторы устанавливаются на панелях магнитных станций управления. Трехполюсные — используются в магнитных пускателях.

Если при включении и отключении контактора подвижная часть электромагнитной системы имеет неподвижную точку, вокруг которой она поворачивается, такой контактор называют *контактором клапанного типа*. В тех же случаях, когда подвижная часть электромагнитной системы движется прямолинейно, контактор называют *прямоходовым*.

В рудничных магнитных пускателях применяются контакторы клапанного типа (КТ, КТВ) и прямоходовые (КТУ).

Независимо от конструктивного исполнения контакторы состоят из следующих основных частей: контактной системы; дугогасительных устройств; электромагнитной системы; кнопочного поста управления.

На рис. 16.5 представлен контактор КТ-7023Р, который используется в пускателях серии ПМВИ. Его контактная система состоит из силовых контактов 6 и блок-контактов 4. Силовые контакты используются для включения и отключения силовых цепей потребителя; количество пар их соответствует роду тока. Блок-контакты — это вспомогательные, маломощные контакты мостикового типа, предназначенные для замыкания и размыкания цепей управления контактора, а также для осуществления электрических блокировок. Как правило, в контакторе монтируют минимум один замыкающий и один размыкающий блок-контакты. Они находятся на одном валу с

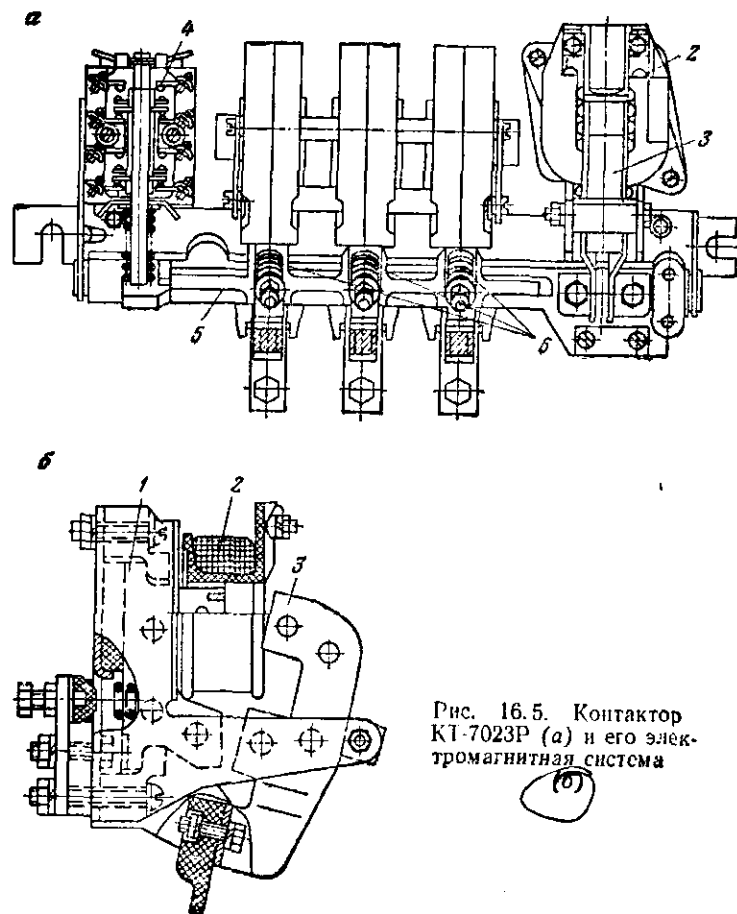


Рис. 16.5. Контактор КТ-7023Р (а) и его электромагнитная система (б)

силовыми контактами и работают с ними одновременно.

Электромагнитная система контактора состоит из неподвижного сердечника 1 и подвижного якоря 3, собранных из отдельных, изолированных друг от друга листов электротехнической стали. На сердечнике 1 смонтирована катушка 2, с помощью которой создается электромагнитное поле. На концах сердечника и якоря смонтированы латунные короткозамкнутые витки, которые служат для устранения дребезжания системы в момент перехода

переменного тока через нулевое значение. Якорь закреплен на валу 5, на котором смонтированы силовые контакты 6 и блок-контакты 4.

При обтекании катушки 2 током образуется магнитное поле, которое притянет якорь к сердечнику, силовые контакты замкнутся и будут удерживаться в таком положении до момента отключения катушки. После прекращения питания катушки исчезнет магнитное поле и якорь за счет собственного веса и действия контактных пружин возвратится в первоначальное положение — контактор отключится.

Контакторы постоянного тока типа КП отличаются от контакторов переменного тока тем, что сердечник и якорь магнитной системы для них изготовляют из сплошной стали, катушка рассчитывается на питание постоянным током, короткозамкнутые витки на сердечнике и якоре не ставят.

Кнопочные посты контакторов обычно состоят из двух кнопок «Пуск» и «Стоп». Заводы выпускают универсальные кнопочные элементы с одним размыкающим и одним замыкающим контактом (рис. 16.6). Если для включения в сеть используют замыкающие контакты, то такая кнопка называется кнопкой «Пуск», при использовании размыкающих контактов — кнопка именуется кнопкой «Стоп».

Кнопочный элемент состоит из пластмассового корпуса 8, в котором закреплены контакты 1 и 3. Замыкание и размыкание этих контактов осуществляется мостиком 2, который через пружину 4 и толкатель 7 перебрасывается в разные положения при нажатии на кнопку 6. Нормальное положение мостика 2 — нижнее, т. е. нижние контакты 1 являются размыкающими, а верхние контакты 3 замыкаются только при нажатии кнопки 6 — они замыкающие контакты. Пружина 5 постоянно удерживает кнопку 6 в верхнем положении.

Кнопочные посты могут встраиваться в контакторы — тогда они называются встроенными, а могут находиться

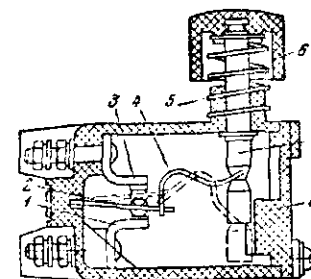


Рис. 16.6. Конструкция кнопочного элемента

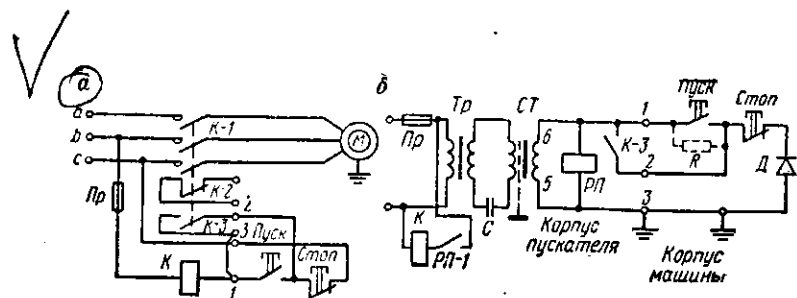


Рис. 16.7. Принципиальные электрические схемы контакторов:
а — общего назначения; б — рудничных пускателей с искробезопасными цепями управления

в отдельном корпусе — тогда они называются выносными. Простейшая принципиальная схема контактора показана на рис. 16.7, а. Схема работает следующим образом. При подаче напряжения на клеммы контактора катушка К не будет обтекаться током, так как цепь питания катушки разомкнута кнопкой «Пуск», контакты ее останутся в положении, показанном на рисунке 16.7, а.

При нажатии кнопки «Пуск» ток из фазы *b* пройдет через предохранитель *Пр*, катушку *К*, кнопку «Пуск», кнопку «Стоп» в фазу *c*. При этом замкнутся контакты *K-1* и двигатель *М* включится в работу. Теперь можно отпустить кнопку «Пуск», так как блок-контакт *K-3* замкнут и ток из фазы *b* к фазе *c* будет проходить по цепи: фаза *b* — *Пр* — *К* — *K-3* — «Стоп» — фаза *c*. Контакт останется включенным. В данном случае говорят, что блок-контакт *K-3* зашунтировал кнопку «Пуск».

Для включения контактора надо нажать на кнопку «Стоп». При этом цепь: фаза *b* — *Пр* — *К* — *K-3* — «Стоп» — фаза *c* разомкнется, катушка *К* не будет обтекаться током, контакты *K-1*, *K-2*, *K-3* вернутся в первоначальное положение.

Отпустив кнопку «Стоп», мы уже не восстановим прежнюю цепь питания катушки *К*, так как контакт *K-3* останется разомкнутым. Для повторного включения необходимо вновь нажимать кнопку «Пуск».

Иногда в цепь питания катушки *К* последовательно с кнопкой «Стоп» включают размыкающие контакты различных аппаратов защиты, тогда они выполняют роль дополнительных кнопок «Стоп».

Схема управления, приведенная на рис. 16.7, а, используется для контакторов общего назначения.

В большинстве рудничных пускателей для управления контакторами применяют схему цепей управления, приведенную на рис. 16.7, б. Цепи управления работают на постоянном токе, катушка промежуточного реле *РП* включена параллельно вторичной обмотке стабилизатора *СТ*.

Схема работает следующим образом. При подаче напряжения работают трансформаторы *Тр* и стабилизатор *СТ*, на вторичной обмотке которого индуктируется э. д. с. Катушка *РП* обтекается переменным током и поэтому не срабатывает. При нажатии на кнопку «Пуск» в один из полупериодов переменный ток от контакта 5 стабилизатора *СТ* пройдет через диод *Д*, кнопки «Стоп», «Пуск» и вернется на контакт 6 вторичной обмотки *СТ*. Во втором полупериоде ток от контакта 6 пройдет через катушку *РП* и вернется к стабилизатору на контакт 5. Итак, катушка *РП* каждые полпериода будет обтекаться током в одном направлении, т. е. постоянным током. Реле сработает и замкнет свой контакт в цепи катушки *К* контактора. Контактор сработает и включит контакты *K-1* (начнет работать двигатель) и *K-3* (зашунтирует кнопку «Пуск»). Теперь кнопку «Пуск» можно отпустить, контактор останется включенным.

Глава 17

ВИДЫ ЗАЩИТ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В РУДНИЧНОЙ АППАРАТУРЕ

17.1. Общие сведения

Назначением защитных устройств и аппаратов в шахтных электрических установках является: 1) защита электроустановок от ненормальных режимов работы; 2) защита обслуживающего персонала от поражения электрическим током; 3) защита электроустановок от включения при взрывоопасных условиях в окружающей среде.

К ненормальным режимам работы электродвигателей, светильников, кабельной сети и других потребителей относятся режимы, возникающие: при значительном и продолжительном снижении напряжения против номинального; при кратковременном прохождении через потреби-

тель или кабель тока, в несколько раз превосходящего допустимое значение; при длительном прохождении через потребитель или кабель тока выше номинального; при чрезмерно большой частоте включения аппаратов.

Для обслуживающего персонала представляет опасность внезапное, самопроизвольное включение механизмов в работу, включение напряжения на обслуживаемый аппарат при плохом качестве или отсутствии заземления его, при пробое одной фазы на корпус.

В подземных условиях иногда возникают такие обстоятельства, при которых правила безопасности запрещают включение напряжения на машины и механизмы. К таким обстоятельствам относятся: содержание метана в рудничной атмосфере выше допустимых норм; отсутствие вентиляции в глухих забоях, которые проветриваются вентиляторами местного проветривания. Задача состоит в том, чтобы при возникновении вышеперечисленных условий либо не допустить включения пусковых объектов, либо отключить их, если они были включены до появления опасности, и просигнализировать об этом обслуживающему персоналу.

В зависимости от видов опасности, которой подвергаются электроустановки, обслуживающий персонал и окружающая среда, различают следующие виды защит: а) максимальная; б) тепловая (температурная); в) от частых включений; г) минимальная; д) нулевая; е) от обрыва или увеличения сопротивления заземляющей жилы; ж) от включения напряжения на участок сети с повреждением изоляции относительно земли (с наличием недопустимо большой величины тока утечки); з) от замыканий в цепях управления пускателей; и) от включения пусковой аппаратуры при концентрации метана в рудничной атмосфере выше допустимых норм; к) от включения пусковой аппаратуры при отсутствии принудительной вентиляции.

Две последние защиты выполняются как отдельная автоматическая аппаратура контроля и при необходимости воздействуют на пусковую аппаратуру.

Тепловая защита размещается внутри контролируемых электрических приемников, контакты аппаратуры включаются в цепи управления пускателями.

Аппаратура, обеспечивающая остальные виды защит, как правило, монтируется внутри оболочки пускателя.

17.2. Максимальная защита

Назначение максимальной защиты заключается в автоматическом отключении от сети электроустановки при протекании в ней тока, значительно превышающего допустимую величину. Так как такие токи возникают при коротких замыканиях в сети или установке, то максимальная защита — защита от токов короткого замыкания. Она осуществляется с помощью плавких предохранителей и электромагнитных реле.

Плавкие предохранители для напряжения до 1000 В бывают пробочные и трубчатые. Пробочные предохранители применяются для защиты осветительных сетей от тока к. з., трубчатые — для защиты силовых сетей и мощных потребителей электрической энергии.

✓ *Трубчатые предохранители* ПР-2 (рис. 17.1) состоят из изолирующей фибровой трубки 1, на концах которой укреплены латунные колпачки 2. Плавкая вставка 3 представляет собой цинковую пластинку, имеющую несколько сужений для более быстрого перегорания. Пластика привернута винтами к медным ножам 4, которыми предохранитель вставляется в пружинные губки на панели.

Трубчатые предохранители ПР-2 применяются в некоторых пускателях.

Номинальным током плавкого предохранителя называется такой ток, который плавкая вставка выдерживает длительное время, не перегорая. Сгорание плавкой вставки

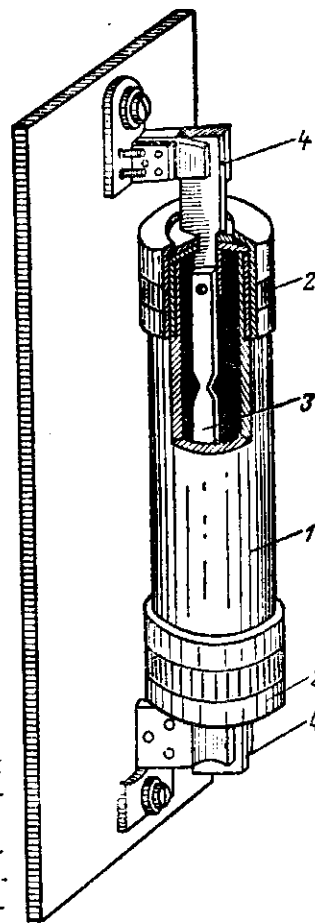


Рис. 17.1. Трубчатый предохранитель ПР-2

происходит при токе значительно большем, чем ее номинальный ток, причем время, за которое вставка расплавится, зависит от величины тока. Плавная вставка при токе больше номинального на 25% вовсе не перегорает, а при токе больше номинального на 60% перегорит только через час. Учитывая, что асинхронный двигатель при перегрузке на 50% может работать без особого вреда всего 2—4 мин, можно сделать вывод: предохранители не могут защитить двигатели и другие установки от перегрузок.

Выбор плавких вставок для защиты различных установок от тока к. з. производится по следующим формулам:

для осветительных сетей и фазных асинхронных двигателей

$$I_{\text{пл.вст}} = I_{\text{ном.}}$$

для асинхронных короткозамкнутых двигателей

$$I_{\text{пл.вст}} = \frac{I_{\text{п}}}{1,6 + 2,5},$$

где $I_{\text{пл. вст.}}$ — номинальный ток плавкой вставки, А; $I_{\text{ном.}}$ — номинальный ток защищаемого потребителя, А; $I_{\text{п}}$ — пусковой ток короткозамкнутого асинхронного двигателя, А. Коэффициент 1,6 берется для тяжелых условий пуска (двигатель запускается под нагрузкой), коэффициент 2,5 — для случаев запуска двигателя без нагрузки.

Стандартные величины плавких вставок: 6, 10, 15, 20, 25, 35, 45, 60, 80, 100, 125, 160, 200, 225, 260, 300, 430, 500, 600, 700, 850, 1000 А.

Выбранные плавкие вставки обязательно проверяются на надежность срабатывания при минимальном токе короткого замыкания. При этом должно быть выполнено неравенство

$$I_{\text{к}}^{(2)} \geq (4 \div 7) I_{\text{пл.вст.}}$$

Такое требование ПБ объясняется тем, что только при таких соотношениях токов плавкий предохранитель срабатывает практически мгновенно.

Достоинства плавких предохранителей: простота, низкая стоимость, высокая скорость отключения токов к. з.; недостатки: большая трудоемкость при замене

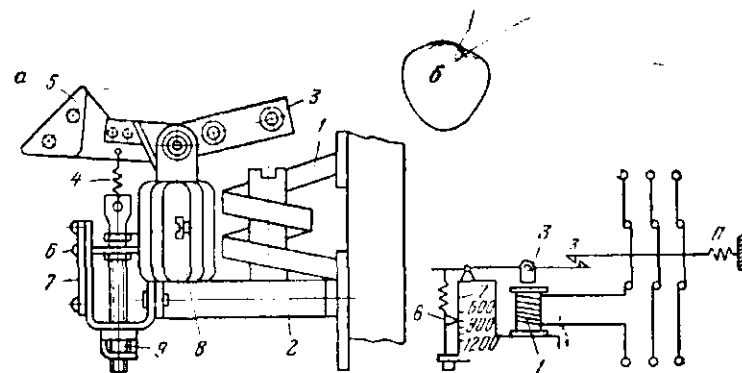


Рис. 17.2. Электромагнитное реле прямого действия:
а — механическое устройство; б — электрическая схема

плавких вставок; возможность одновременного перегорания плавких вставок, что может вызвать продолжительную работу потребителя на двух фазах и как результат — выход его из строя из-за перегрева; относительная трудность подбора предохранителей и возможность установки некалиброванных плавких вставок.

Из-за недостатков предохранители применяются довольно редко, в основном, для защиты ответственных установок малой мощности и осветительных установок.

Максимальные токовые реле предназначены для постоянного контроля за величиной тока в защищаемой сети и подачи сигнала на отключение ее при прохождении по ней тока выше установленной величины.

В рудничной аппаратуре для максимально-токовой защиты применяют первичные и вторичные электромагнитные токовые реле прямого и косвенного действия с мгновенной и зависимой характеристикой.

Простейшее первичное электромагнитное реле прямого действия на отключающий механизм, с мгновенным срабатыванием показано на рис. 17.2, а. Оно состоит из П-образного неподвижного магнитопровода 2 с подвижным якорем 3, который удерживается в крайнем открытом положении пружиной 4 (натяжение ее можно регулировать винтом 9, используя для установки указатель 6 и шкалу 7). На сердечник надета токовая катушка 1, которая включается последовательно в одну из фаз аппарата (рис. 17.2, б).

✓ Так как количество витков в катушке I постоянно, то величина магнитного потока, создаваемого этой катушкой, будет прямо пропорциональна величине тока в фазе. Чем больше ток в катушке, тем больше магнитный поток и сила, с которой якорь притягивается к неподвижному сердечнику. Перемещению якоря препятствует натяжение пружины 4. Таким образом, определенному усилию натяжения пружины соответствует определенный ток, при котором якорь будет притягиваться к сердечнику, поэтому шкала 7, показывающая усилие натяжения пружины, проградуирована в амперах. На конце якоря 3 монтируется либо ударник 5 (для непосредственного воздействия на механизм свободного расцепления автомата), либо мостик (для размыкания контактов в цепи управления пускателем).

✓ Реле работает следующим образом. При установке указателя силы натяжения пружины 6 на цифру 750 А реле не сможет притянуть якорь до тех пор, пока в цепи катушки будет проходить ток меньше 750 А. Если же по контролируемой цепи пройдет ток 750 А, якорь 3 притянется, освободит защелку 3 и выключатель пружинной П будет отключен. Такие реле монтируются в фидерных автоматах, которые предназначены для защиты магистралей от тока к. з.

Правила безопасности требуют ежедневной проверки исправности максимальной защиты перед началом работ. Проверка эта производится не устройством короткого замыкания в магистрали, а имитацией его с помощью катушки 8. Катушка 8 имеет много витков тонкого провода и включается при проверке защиты в электросхему как катушка напряжения с помощью кнопки. Величина тока при включении катушки будет небольшая, а величина магнитного потока будет такая же, как в случае короткого замыкания в контролируемой цепи. Реле сработает — произойдет выключение автомата.

Значение тока, при котором реле срабатывает, называется уставкой тока.

Уставка тока вычисляется по формулам:
для осветительных сетей

$$I_{уст} \geq 4I_{ном}, А;$$

для асинхронных короткозамкнутых двигателей

$$I_{уст} \geq I_{п}, А;$$

для группы асинхронных двигателей

$$I_{уст} \geq I_{п, max} + \Sigma I_{ном, ост}, А,$$

где $I_{уст}$ — уставка тока; $I_{ном}$ — номинальный ток осветительной сети; $I_{п}$ — пусковой номинальный ток асинхронного короткозамкнутого двигателя; $I_{п, max}$ — пусковой номинальный ток двигателя максимальной мощности; $\Sigma I_{ном, ост}$ — сумма номинальных токов остальных двигателей. В соответствии с положениями ПБ защита будет работать надежно, если величина установки $I_{уст}$ будет не менее чем в 1,5 раза меньше тока к. з. в защищаемой сети.

Достоинства максимальных токовых реле: простота устройства, размыкание всех трех фаз потребителя при срабатывании реле, легкость регулировки уставок, постоянная готовность к работе; недостаток — мгновенная реакция на любое, даже кратковременное повышение тока в цепи потребителя.

В настоящее время в пускателях максимально-токовая защита осуществляется вторичными электромагнитными реле, включаемыми по специальным схемам, которые предложены сотрудниками ВНИИВЭ. В пускателях применяются защиты УМЗ и ПМЗ.

Защита УМЗ состоит из двух одинаковых частей, включенных в разные фазы (рис. 17.3) и питающихся через трансформаторы тока ТТ1 и ТТ2. При нормальной работе переключатели П замкнуты, а потенциометры R3 установлены в положение, соответствующее определенной уставке реле. В трансформаторах тока ТТ1, ТТ2 индуцируется ток, пропорциональный току в первичной цепи. Этот ток замыкается через резисторы R1 и R2, в результате чего на резисторах возникает напряжение, величина которого пропорциональна первичному току. Так как параллельно резисторам R1 и R2 включена цепь R3—В1—Р3, выпрямитель выпрямляет это

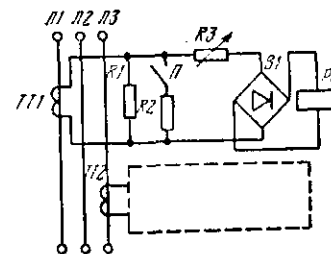


Рис. 17.3. Электрическая схема защиты УМЗ

напряжение и подает его на катушку $P3$. Катушка $P3$ имеет постоянное сопротивление, а реле — определенный ток трогания. До тех пор, пока величина напряжения (а значит, величина тока в первичной цепи) будет недостаточной для того, чтобы в реле прошел ток, равный току трогания, реле $P3$ будет находиться в покое. При достижении критического значения тока в первичной цепи, напряжение на резисторах $R1$ и $R2$ станет достаточно большим, чтобы реле $P3$ сработало, пускатель отключится.

Переключатель Π используется для опробования максимальной защиты при токах, в два раза меньших токов установки. Для опробования он ставится в положение «Выключено».

Защита УМЗ имеет экспоненциальную характеристику, что дает возможность для асинхронных короткозамкнутых двигателей установку тока ставить не по номинальному, а по фактическому пусковому току.

Защита ПМЗ устанавливается на фидерных автоматах типа АВ и отличается от защиты УМЗ следующим: 1) трансформаторы тока ставятся на всех трех фазах автомата, соединяются в звезду; б) с помощью полупроводниковых выпрямителей вторичная цепь трансформаторов разделена на две схемы: измерительную и исполнительную; в) в измерительной схеме для измерения величины напряжения использованы транзисторы, которые при установленной величине напряжения на резисторах открываются и подают питание в исполнительную схему — на реле напряжения; г) реле напряжения при получении питания через транзисторы непосредственно воздействует на механизм свободного расцепления автомата и выключает его; д) в исполнительной схеме предусмотрено блокировочное реле, которое осуществляет запрет повторного включения автомата до устранения причины срабатывания защиты; е) кнопка возврата блокировочного реле в первоначальное положение (кнопка взвода реле) выведена наружу оболочки.

Защиты УМЗ и ПМЗ имеют специальные контакты, которые используются для сигнализации о срабатывании защиты.

17.3. Защита работы электродвигателя от неполнофазного режима

При максимально-токовой защите с помощью предохранителей, из-за использования некалиброванных плавких вставок, зачастую сгорает одна из них, в результате двигатель продолжает работать на двух фазах, перегревается и выходит из строя.

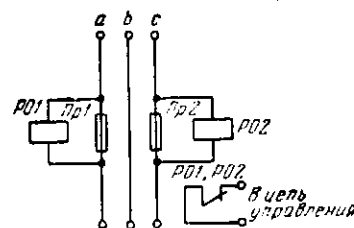


Рис. 17.4. Электрическая схема защиты от неполнофазного режима работы электродвигателя

Для защиты электродвигателей от неполнофазного режима работы (работа на двух фазах) в пускателях ПМВИР используется реле обрыва фаз.

Реле обрыва фаз PO (рис. 17.4) состоит из двух токовых обмоток $PO1$ и $PO2$, подключенных параллельно предохранителям $Пр1$ и $Пр2$, размыкающий контакт $PO1$, $PO2$ реле включается последовательно в цепь управления контактора как кнопка «Стоп».

При наличии плавких вставок токовые обмотки реле PO не обтекаются током и контакт токового реле в цепи управления контактора остается замкнутым. Если одна из вставок перегорит, одна из обмоток реле PO обтежется током, контакт его разомкнется и контактор отключится.

Для защиты электродвигателей большой мощности от неполнофазного режима работы, несимметричных нагрузок используются различные конструкции реле фильтровой защиты.

17.4. Тепловая защита

В электроустановках токоведущие части изолируются друг от друга и от корпуса изоляционными материалами, которые длительно сохраняют изоляционные свойства только при условии нагрева их до допустимых температур. При перегреве изоляция быстро теряет свои свойства, происходят короткие замыкания между токоведущими частями и установка выходит из строя.

Из-за перегрева изоляции особенно часто выходят из строя электродвигатели. Основными причинами пе-

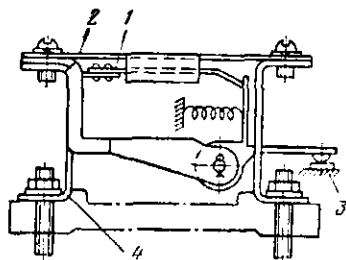


Рис. 17.5. Принципиальное устройство теплового реле

перегрева их являются: перегрузки, нарушение режима работы и вентиляции. Контролируя величину I^2t (количество тепла), можно контролировать и температуру нагрева двигателей.

Защита, работающая на принципе измерения количества тепла, выделяемого током нагрузки, называется тепловой защитой. Аппараты, осуществляющие тепло-

вую защиту, называются тепловыми реле. Иногда тепловую защиту называют еще защитой от длительных перегрузок двигателя.

Тепловое реле. Основой теплового реле (рис. 17.5) является биметаллическая пластина 1, состоящая из двух металлов, имеющих разные температурные коэффициенты линейного расширения, и нагревательный элемент 2, которой выделяет тепло для подогрева биметаллической пластины. Токоведущие стойки 4 включают в одну из фаз контролируемого двигателя, поэтому ток фазы проходит через нагревательный элемент 2, в результате чего он выделяет количество тепла, пропорциональное I^2t . Контакт 3 теплового реле включается в цепь управления контактора как кнопка «Стоп», биметаллическая пластина удерживает его от выключения до тех пор, пока не нагревается до температуры срабатывания. При этой температуре она изгибается вверх так, что перестает удерживать контакт в замкнутом положении, — контактор выключается. Вновь контакт замыкается вручную через 15—20 с, когда биметаллическая пластина остынет и займет свое первоначальное положение.

Тепловые реле обычно монтируются на двух фазах пускателя, внутри его корпуса. Однако тепловые реле не осуществляют защиты при нарушении режима вентиляции двигателя, при частых пусках двигателя, поэтому они не применяются для защиты рудничных электроприводов.

Для защиты обмоток рудничных электродвигателей от перегрева применяют *температурное реле*, которое располагается на лобовой части обмотки и непосред-

ственно контролирует температуру ее. При нагреве обмотки до температуры выше допустимой температурное реле с помощью биметаллической пластинки размыкает свои контакты, которые включаются в цепь управления пускателем как кнопка «Стоп».

Предложено несколько конструкций температурных реле. Наиболее универсальным является реле, предложенное сотрудниками ВНИИВЭ и названное ДТР (дифференциальное температурное реле), которое реагирует не только на температуру обмотки двигателя, но и на скорость ее нарастания.

17.5. Минимальная и нулевая защиты

Момент вращения асинхронных двигателей прямо пропорционален квадрату напряжения, поэтому снижение напряжения при том же моменте сопротивления на валу двигателя вызывает повышенное потребление тока и перегрев двигателей. Заводы гарантируют работу электродвигателей при отклонении напряжения от номинального значения на $+5 \div -10\%$ и кратковременном снижении напряжения до $0,7U_{ном}$. Дальнейшее снижение напряжения недопустимо из-за опасности выхода из строя двигателя.

Минимальная защита осуществляет защиту двигателей от работы при пониженном напряжении. В качестве аппарата минимальной защиты применяются минимальные реле.

Минимальные реле (рис. 17.6) представляют собой электромагнитные реле напряжения, которые могут быть первичными (для двигателей с $U < 1000$ В) и вторичными (для сетей с $U > 1000$ В), с мгновенным срабатыванием и с выдержкой времени при срабатывании.

При появлении номинального напряжения на фазах а, б, с катушка реле К втягивает сердечник Я и защелка з фиксирует включаемый контактор в положении «Включено» — двигатель получает питание.

На шкале с помощью винта устанавливается предельное напряжение, при котором сила магнитного потока катушки К будет равна силе натяжения пружины П (на схеме — 280 В). При снижении напряжения ниже установленного значения пружина П размыкает защел-

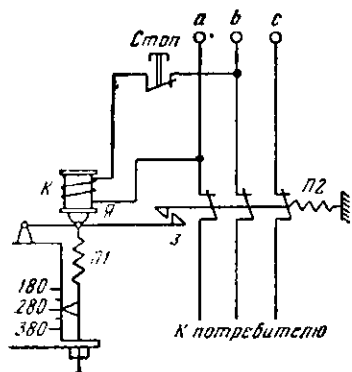


Рис. 17.6. Электрическая схема минимального реле

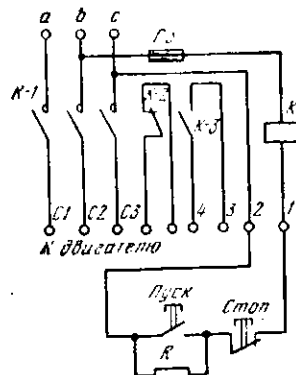


Рис. 17.7. Принципиальная электрическая схема контактора общего назначения

ку з и контактор силой пружины П2 отключается. Отключение можно произвести и нажатием кнопки «Стоп».

В магнитных пускателях роль минимального реле выполняют катушки контакторов, которые рассчитываются таким образом, что при снижении напряжения до $0,7 \div 0,6 U_{ном}$ они не могут удерживать контакты во включенном положении и контактор отключается.

Нулевая защита предназначена для отключения потребителей при исчезновении напряжения или при снижении его до $15\% U_{ном}$ и предотвращения самовключения их при появлении напряжения в сети.

Эта защита нужна в первую очередь для обеспечения безопасности обслуживающего персонала. При отсутствии нулевой защиты самовключение машины может быть причиной тяжелых травм человека.

При необходимости нулевое реле может быть поставлено в любой пускатель.

По конструкции нулевое реле такое же, как и минимальное реле, только уставка срабатывания у него не регулируется ($0,15 U_{ном}$).

Нулевая защита обеспечивается и минимальным реле, а в магнитных пускателях — катушкой контактора с применением специальных схем включения ее.

На рис. 16.7 приведена схема управления катушкой К контактора с помощью двухкнопочного поста управле-

ния (кнопки «Пуск» и «Стоп») и блок-контакта К-3 контактора. В данной схеме нулевая защита обеспечивается катушкой К контактора и блок-контактом К-3, включенного параллельно кнопке «Пуск».

Кнопку «Пуск» можно шунтировать и резистором определенной величины. На рис. 17.7 блок-контакты К-2 и К-3 контактора не используются, зато параллельно кнопке «Пуск» подключен резистор R такой величины, что при включении его в цепь катушки К величина тока, проходящая через катушку К, будет недостаточной для того, чтобы образовать магнитный поток, способный притянуть якорь контактора. Однако если якорь будет притянут к сердечнику, то эта величина магнитного потока будет достаточной для удержания якоря в притяннутом положении.

В данной схеме нулевая защита осуществляется катушкой К контактора и резистором, шунтирующим кнопку «Пуск». Достоинствами этой схемы является уменьшение количества проводов, идущих от контактора к посту управления.

Недостатком схемы является несадежность нулевой защиты при значительных колебаниях напряжения (при значительном повышении напряжения схема может сама включиться). Поэтому для обеспечения надежной нулевой защиты в цепях управления этой схемы надо ставить стабилизатор напряжения.

17.6. Устройства для опережающего контроля качества изоляции, контроля наличия и качества заземления передвижных машин

Защита обслуживающего персонала от поражения электрическим током в рудничной пусковой аппаратуре осуществляется за счет:

применения в цепях управления безопасных величин напряжения;

запрещения включения напряжения на участки сети с низким сопротивлением изоляции токоведущих проводников относительно земли;

запрещения включения машин и механизмов при отсутствии или плохом качестве заземления.

В соответствии с ПБ в цепях дистанционного управления стационарными и передвижными рудничными маши-

нами используют напряжение не выше 40 В, а для комплектных РУ на напряжение свыше 1000 В — не выше 60 В.

Для получения таких величин напряжения в каждом пусковом аппарате монтируют понижающие трансформаторы, через которые питаются цепи управления и некоторые цепи защиты.

В существующих конструкциях реле утечки не предусмотрен контроль качества изоляции сетей потребителей перед включением напряжения.

Включение напряжения на участок сети с поврежденной изоляцией относительно земли опасно для обслуживающего персонала и окружающей среды, поэтому ПБ требуют, чтобы магнитные пускатели были оснащены блокировочными реле утечки (БРУ). БРУ предназначены для контроля качества изоляции электрической сети потребителей перед включением напряжения и осуществления запрета включения пускателя при сопротивлении изоляции относительно земли ниже допустимых норм.

В соответствии с ПИВРЭ БРУ должны осуществлять запрет включения пускателей при сопротивлении изоляции сети относительно земли в 18 кОм — для напряжения 380 В, 30 кОм — для напряжения 660 В, 90 кОм — для напряжения 1140 В, 120 кОм — для напряжения 6000 В.

В рудничных пускателях устанавливают контактные и бесконтактные БРУ.

В контактных БРУ используют электромагнитное реле постоянного тока. Схема подключения контактного БРУ показана на рис. 17.8, а.

От специальной обмотки стабилизатора СТ через выпрямительный мост В и размыкающий блок-контакт КЗ контактора получает питание высокочувствительное реле

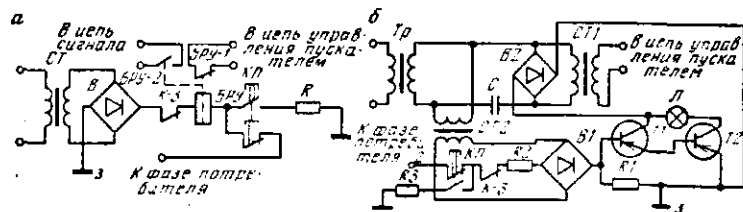


Рис. 17.8. Электрическая схема БРУ:

а — на контактных элементах; б — бесконтактного БРУ-2с

постоянного тока БРУ. Кнопка КП служит для опробования реле БРУ через резистор R.

При подаче напряжения на контактор во вторичной обмотке стабилизатора СТ индуцируется э. д. с. и по цепи: СТ—В—КЗ—БРУ—КП — фаза кабеля потребителя — земля потребителя — земля з — СТ проходит постоянный ток.

Величина постоянного тока будет зависеть от величины сопротивления изоляции сети на отрезке: фаза кабеля потребителя — обмотка потребителя — земля потребителя. Если сопротивление изоляции будет больше установленной нормы, ток будет недостаточный для срабатывания реле БРУ и контакт БРУ-1, который включается в цепь управления контактором, останется замкнутым — пускатель можно будет включить. При сопротивлении изоляции меньше установленной нормы катушка БРУ сработает, разомкнет контакт БРУ-1 — пускатель невозможно включить, так как цепь управления его разомкнута.

Для сигнализации о срабатывании реле БРУ используется другой его контакт БРУ-2, который замыкает цепь сигнальной лампы.

При нажатии на кнопку КП создается дополнительная цепь через резистор R на землю (контролируемая цепь при этом отключается). Так как величина сопротивления резистора равна уставке срабатывания реле, исправное реле БРУ сработает. Так осуществляется проверка исправности реле.

Таким БРУ встраиваются в пускатели ПВИ.

Пускатели ПМВИ оборудуются бесконтактным блокировочным реле БРУ-2с, схема которого представлена на рис. 17.8, б.

В этих пускателях блок стабилизации напряжения состоит из трансформатора Тр и двух феррорезонансных стабилизаторов СТ1 и СТ2, причем вторичная обмотка СТ1 используется для питания цепи управления контактора, а вторичная обмотка СТ2 — для питания блокировочного реле. Само реле БРУ-2с состоит из двух выпрямительных мостов В1 и В2, транзисторов Т1 и Т2, сигнальной лампы Л, резисторов R1—R3.

Схема работает следующим образом. При подаче напряжения на контактор пускателя появляется напряжение на вторичных обмотках стабилизаторов. От вторич-

ной обмотки *СТ2* ток пройдет через *В1*, резистор *RI*, землю 3, корпус отключенного потребителя, изоляцию обмотки и кабеля, фазу, контакт 2, *КП*, блок-контакт *К-3*, резистор *R2*, *В1* и вернется на обмотку *СТ2*. При высоком сопротивлении изоляции контролируемой силовой цепи ток этот мал и падение напряжения на сопротивлении *RI* невелико, поэтому транзисторы *T1* и *T2*, к которым приложено это падение напряжения, оказываются запертыми; в этом случае выпрямитель *B2* не имеет нагрузки и, работая в режиме холостого хода, имеет высокое сопротивление, а обмотка стабилизатора *СТ1* получает нормальное напряжение от трансформатора *Тр*. Во вторичной обмотке *СТ1* напряжение достаточное для нормальной работы цепи управления контактором — пускатель может быть включен.

Когда сопротивление изоляции контролируемого участка цепи снизится до 100 кОм при 380 В или 200 кОм при 660 В, ток увеличится, падение напряжения на резисторе *RI* увеличится настолько, что транзисторы начинают открываться и пропускать ток, достаточный для зажигания лампы *Л* от выпрямителя *B2*, — реле подает сигнал об опасном снижении сопротивления изоляции.

При дальнейшем снижении сопротивления контролируемой сети величина тока в описанной ранее цепи значительно возрастет, возрастет и величина падения напряжения на резисторе *RI*, транзисторы *T1* и *T2* полностью откроются и выпрямитель *B2* будет закорочен, следовательно, на первичную обмотку *СТ1* будет поступать напряжение значительно ниже рабочего. Соответственно снизится напряжение и во вторичной обмотке *СТ1* до величины, при которой ни одно реле в цепи управления включиться не сможет — пускатель невозможно будет включить до устранения дефекта в изоляции.

В обеих схемах при включении контактора *БРУ* отключаются, так как размыкается блок-контакт *К-3*.

Как известно из предыдущего материала, заземление передвижных машин осуществляется с помощью одной из жил кабеля, при этом величина сопротивления заземляющей жилы не должна быть больше 1 Ом. Так как присоединение заземляющего проводника к корпусу машины и к корпусу пускателя при монтаже осуществляется внутри корпусов, а сам проводник проходит внутри кабеля, контроль наличия заземления передвижной

машины путем осмотра невозможен. Поэтому ПБ требуют, чтобы в пусковой аппаратуре предусматривался автоматический контроль наличия и качества заземления передвижных машин.

В шахтах, опасных по газу или пыли, при применении в пускателях схем управления контакторами, показанных на рис. 16.7 б, автоматический контроль за наличием и качеством заземления осуществляется путем использования заземляющей жилы в цепи управления контактора.

Как видно из рисунка, провод от контакта 3 подсоединен на корпус двигателя и при включениях двигателя он всегда является токоведущим. В случае обрыва этого провода промежуточное реле *РП* не будет обтекаться током — контактор выключится, т. е. при отсутствии заземления двигателя подать напряжение на него будет невозможно.

Если произойдет ухудшение контакта между проводником и корпусами машины и пускателя, величина сопротивления линии заземления увеличится; в случае увеличения сопротивления до 100 Ом в цепи управления будет настолько большое падение напряжения, что катушка *РП* отпустит свои контакты (т. е. она сработает как минимальное реле) и контактор выключится. Аналогичным путем осуществляется защита от включения напряжения на незаземленную (или с плохим качеством заземления) машину и в негазовых шахтах.

Во взрывоопасных условиях для осуществления защиты применяют только искробезопасные цепи управления.

При применении напряжения свыше 1000 В ПБ требуют отключения машины в тех случаях, когда величина сопротивления заземления увеличится до 10 Ом. Поэтому в пускателях на напряжение 1140 В предусмотрен специальный блок, который постоянно контролирует величину сопротивления заземления и в случае увеличения его выше 10 Ом подает сигнал на отключение пускателя.

17.7. Защита от частых включений контактора

Исследованиями установлено, что при включении и отключении контакторов под нагрузкой с частотой более одного раза в 2—3 с происходит интенсивный износ силовых контактов. Во многих типах рудничных магнитных

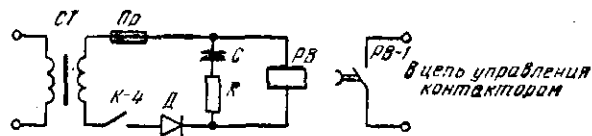


Рис. 17.9. Принципиальная электрическая схема реле времени пускателя ПВИ

пускателей ставится защита от частых включений, которая осуществляется с помощью реле времени постоянного тока.

Схема реле времени, которое применяется в пускателях типа ПВИ, дана на рис. 17.9. От стабилизатора СТ выпрямленным током питается электромагнитное реле РВ, параллельно которому через резистор подключен конденсатор С. Замыкающийся контакт РВ-1 с выдержкой времени при размыкании включается в цепь управления контактором.

При включении контактора в цепи реле РВ замыкается блок-контакт К-4 контактора К, катушка РВ обтекается током и замыкает свой контакт РВ-1 в цепи управления контактором. Одновременно заряжается конденсатор С. Когда контактор будет выключен, блок-контакт К-4 разомкнется, однако катушка РВ будет некоторое время (2—3 с) обтекаться током за счет энергии конденсатора С, поэтому контакт РВ-1 разомкнется только через 2—3 с. Включив его в цепь управления контактором так, как показано на рис. 19.2, при выключении контактора на 2—3 с закорачивается цепь катушки РП, в результате пускатель не может включиться, несмотря на нажатую кнопку «Пуск». Через установленное время контакт РВ-2 разомкнется, при нажатии на кнопку «Пуск» контактор включится.

17.8. Защита от замыканий в цепи управления контактором

К любой схеме управления предъявляется требование четкого выполнения команд обслуживающего персонала. В производственных условиях особо важное значение имеет команда «Стоп», так как для ликвидации аварий прежде всего необходимо остановить машину, предотвратить развитие аварии.

Анализируя схемы управления контактором, представленные на рис. 16.7, приходим к выводу, что в схеме, приведенной на рис. 16.7, а, в случае замыкания между проводами 1 и 3, произойдет самовключение контактора и нажатие на кнопку «Стоп» не приведет к отключению его. В таком режиме схема может работать как угодно долго, т. е. она не имеет защиты от замыканий в цепях управления. Для частичного устранения этого недостатка в схемы управления контакторами всех рудничных пускателей включаются встроенные в корпус пускателя кнопки «Стоп», которые размещаются в начале цепи управления (вблизи трансформатора), а в забойных машинах устанавливаются ручные аппараты управления, которые используются только в аварийных случаях. Сами схемы управления снабжаются различными средствами защиты от потери управления (плавкими предохранителями, реле направления тока, блок-реле и т. д.).

Наиболее эффективно защищены схемы управления рудничными пускателями, представленные на рис. 16.7, б, где любое замыкание в цепи управления, осуществленное перед диодом Д, приводит либо к выключению ранее включенного контактора, либо к невозможности включения контактора. Это объясняется тем, что при любом замыкании катушка РП перестает обтекаться постоянным током (диод Д шунтируется), и поэтому цепь катушки контактора размыкается. Такая защита осуществляется только при условии размещения диода в конце цепи управления, поэтому в производственных схемах диоды Д всегда монтируются в корпусах кнопочных постов.

Глава 18

РУДНИЧНАЯ АППАРАТУРА РУЧНОГО УПРАВЛЕНИЯ НА НАПРЯЖЕНИЕ ДО 1000 В

18.1. Общие сведения

Аппаратура ручного управления, применяемая в угольных шахтах, делится на разъединители, контроллеры, ручные пускатели, фидерные автоматические выключатели.

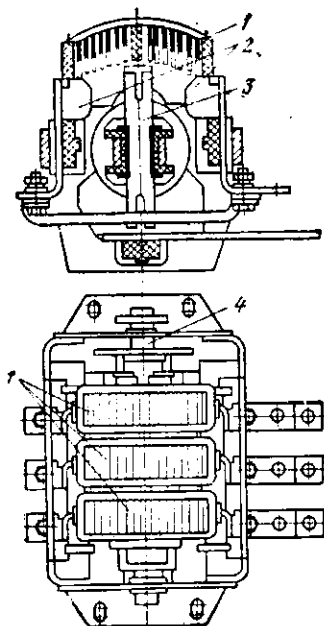


Рис. 18.1. Блокировочный реверсирующий разъединитель:

1 — дугогасительные камеры; 2 — неподвижные контакты; 3 — подвижные контакты; 4 — вал

В последних конструкциях разъединители комплектуются дугогасительными камерами с деионными решетками (рис. 18.1), что дает возможность в аварийных случаях размыкать ими силовую цепь под нагрузкой.

✓ 18.3. Контроллеры

Аппарат управления, предназначенный для осуществления переключений в нескольких силовых цепях, в определенной последовательности, называется контроллером. Все необходимые переключения производятся контактами, управляемыми вручную.

По конструктивному исполнению контактной системы контроллеры делятся на барабанные, кулачковые и плоские.

✓ 18.2. Разъединители

(Разъединитель — это аппарат ручного управления, предназначенный для разрыва электрической цепи при отсутствии в ней тока нагрузки. Как самостоятельный аппарат управления не используется, а монтируется в корпусах автоматических фидерных выключателей и магнитных пускателей. В этих аппаратах он позволяет производить работы в обслуживаемом отделении без отключения аппарата от кабельной сети. Так как рукоятка разъединителя в пускателях и автоматах блокируется с открываемой крышкой, то его часто называют блокировочным разъединителем.

По своей конструкции все разъединители ножевого типа; изготавливаются реверсивные и нереверсивные.

В последних конструк-

Наиболее простыми по устройству являются барабанные, которые используются для управления небольшими двигателями с фазными роторами. Недостатком конструкции барабанного контроллера является быстрый износ контактов, поэтому такие контроллеры применяются при числе включений в час не более 240.

При более частых включениях используют кулачковые контроллеры. Устройство кулачкового контроллера аналогично барабанному, но контактная система — контакторного типа; против каждого неподвижного контакта располагается подвижный, который пружиной прижимается к неподвижному контакту. Каждая пара контактов оснащается дугогасительным устройством. На барабане смонтированы кулачки из изоляционного материала, расположенные в определенной последовательности вокруг и вдоль барабана. При повороте барабана на определенный угол очередной кулачок, нажимая на конец подвижного контакта, отжимает его и размыкает ранее существовавшую цепь. Контроллеры таких типов применяются в электровозах, экскаваторах, кранах и т. п.

Наряду с изготовлением контроллеров для силовых цепей, заводы производят контроллеры и для цепей управления. Они называются командоконтроллерами и предназначены для осуществления переключений в нескольких цепях управления. По габаритам они значительно меньше контроллеров, так как используются в цепях с малыми коммутационными токами.

Для реверсирования забойных машин и для включения электродвигателей в аварийных ситуациях заводы выпускают специальные малогабаритные контроллеры ВРК-20 для встройки их в корпуса электроприводов обычных комбайнов.

Контроллеры ВРК-20 выпускаются в двух исполнениях: с правым (ВРК-20П) и левым (ВРК-20Л) расположением главных контактных зажимов. Их технические данные (напряжение до 660 В, номинальный ток — 160 А) и конструкция одинаковы.

Контроллер ВРК-20Л (рис. 18.2) состоит из чугунной рамы 6, на которой смонтирован механизм включения с валом управления 1; контактной системы главных контактов с силовыми неподвижными контактами 2, 5, подвижными мостиковыми контактами 3 и дугогасительными

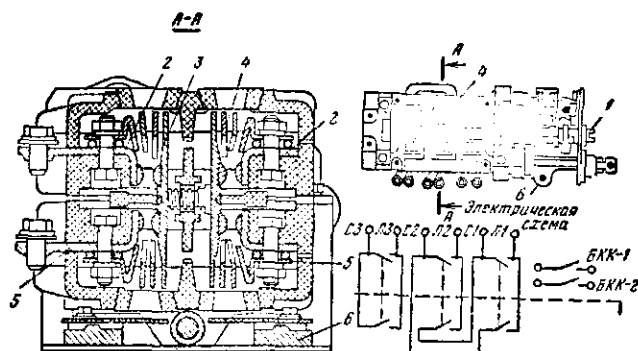


Рис. 18.2. Контроллер BPK-20Л

камерами 4; блок-контактов БКК-1, БКК-2, которые включаются в цепь управления пускателями.

При повороте валика управления 1 на 120° вправо от нулевого положения замыкаются левые главные контакты — электродвигатель вращается в одну сторону, при повороте валика из нулевого положения влево на 120° замыкаются правые контакты — электродвигатель вращается в другую сторону.

Блок-контакты БКК включаются в цепь управления контактора последовательно с кнопкой «Стоп». Механизм включения контроллера сконструирован таким образом, что при повороте валика управления 1 на включение вначале замыкаются силовые контакты, а затем замыкаются блок-контакты БКК, при повороте валика 1 в сторону выключения последовательность размыкания контактов обратная. Таким образом, при включении блок-контактов БКК в цепь управления контактором исключается замыкание и размыкание силовых контактов контроллера под нагрузкой, т. е. образование мощных искр.

18.4. Ручные взрывобезопасные пускатели

Ручные пускатели предназначены для управления трехфазными асинхронными короткозамкнутыми двигателями небольшой мощности (до 5 кВт) и для подключения осветительных установок с номинальным током до 25 А.)

В связи с небольшой областью применения промышленность выпускает два типа ручных пускателей, технические данные которых приведены в табл. 18.1.

Электрическая схема пускателя ПРВ-3 показана на рис. 18.3. В пускателе ПРШ-1 плавкие предохранители располагаются в штепсельной вилке пускателя.

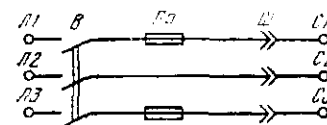


Рис. 18.3. Электрическая схема пускателя ПРВ-3

Таблица 18.1

Показатели	Тип пускателя	
	ПРВ-3	ПРШ-1
Напряжение, В	127—660	127—660
Номинальный ток, А	10	10
Тип плавких предохранителей	ПР-2	ПР-2
Исполнение	РВ, ЗВ	РВ, ЗВ

18.5. Автоматические фидерные выключатели

Автоматические фидерные выключатели применяются для защиты от токов короткого замыкания магистральных силовых кабелей. Совместно с реле утечки автоматические выключатели осуществляют защиту сети от недопустимых токов утечки.

В настоящее время серийно выпускаются фидерные автоматы АФВ-1А, АФВ-2А, АФВ-3, АФВД-2БК, АВ-200-ДО, АВ-320-ДО. Технические данные их приведены в табл. 18.2.

Автоматические выключатели АФВ и АФВД имеют аналогичное устройство (в АФВД-2БК добавлено устройство для дистанционного отключения по искробезопасным цепям управления) и одинаковую электрическую схему.

Выключатели АВ-200-ДО и АВ-320-ДО имеют одинаковую конструкцию и электрическую схему, отличаются номинальными данными трансформаторов тока.

Фидерный автомат АФВ представляет собой трехполюсный автоматический выключатель, заключенный во взрывобезопасную оболочку сферической формы.)

Таблица 18.2

Показатели	Тип выключателя					
	АФВ-1А	АФВ-2А	АФВ-3	АФВД-2БК	АВ-200-ДО	АВ-320-ДО
Напряжение, В	220—660	220—660	380, 660	380, 660	380—660	380—660
Номинальный ток, А	200	350	500	350	200	320
Амплитудное значение разрываемого тока (А) при напряжении, В:						
380	10 000	10 000	—	10 000	30 000	35 000
660	7 000	7 000	7 000	7 000	27 000	30 000
Исполнение	РВ, ЗВ	РВ, ЗВ	РВ, ЗВ	РВ, ЗВ, И	РВ, ЗВ, И	РВ, ЗВ, И

Оболочка с крышкой соединяется при помощи штыкового затвора. Крышка заблокирована с рукояткой таким образом, что снятие ее при включенном аппарате, как и включение аппарата при снятой крышке, невозможно. В верхней части оболочки находятся вводные коробки с комбинированной кабельной арматурой, позволяющей присоединять к автомату гибкие и бронированные кабели, а также осуществлять отвод кабеля к следующему аппарату.

В корпусе (рис. 18.4) смонтированы: мощный трехполюсный выключатель КА с контактами контактного типа и дугогасительными камерами с деионными решетками, механизм свободного расцепления М, два первичных электромагнитных максимальных реле прямого действия РМ1, РМ2 с двумя катушками опробования ОП1 и ОП2, отключающая катушка ОК и кнопки КП для косвенного опробования исправности максимальных реле и механизма свободного расцепления. Включение автомата производится вручную рукояткой Р через механизм свободного расцепления М, отключение — либо вручную той же рукояткой, либо автоматически при помощи одного из максимальных реле РМ1, РМ2, которые, срабатывая, ударяют по защелке механизма свободного расцепления, в результате чего автомат отключается. Выключение про-

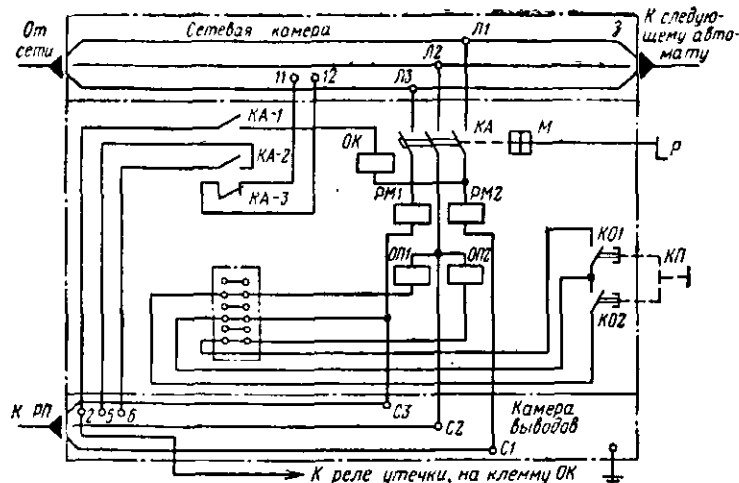


Рис. 18.4. Принципиальная электрическая схема фидерного автомата АФВ

исходит и тогда, когда отключающая катушка ОК обтекается током. Питание на катушку ОК подается при срабатывании реле утечки (при замыкании контакта Р-1, см. рис. 2.5).

Если выключение произошло под действием максимальных реле, то прежде, чем включить автомат, необходимо: снять крышку корпуса и на механизме свободного расцепления снять блокировку, которая предупреждает повторное включение автомата на неустраненное короткое замыкание; закрыв крышку, разблокировать рукоятку; поворотом рукоятки Р по часовой стрелке до отказа взвести механизм свободного расцепления; поворотом рукоятки Р до отказа против часовой стрелки включить автомат.

Изменение уставок тока максимальных реле тоже требует открытия крышки корпуса автомата.

В соответствии с ПБ, минимум раз в месяц необходимо проверять исправность максимальных токовых реле косвенным методом. Для этого используются добавочные обмотки ОП1 и ОП2 на магнитопроводах соответственных реле. С помощью двух кнопок КО1 и КО2, которые попеременно могут включаться общей рукояткой,

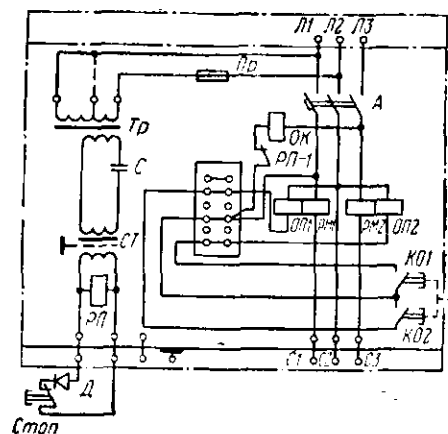


Рис. 18.5. Принципиальная электрическая схема автомата АФВД-2БК

каждая из обмоток проверки присоединяется к рабочему напряжению и воздействует на механизм свободного расцепления через электромагнитную систему максимальных реле, вызывая отключение аппарата.

Автомат АФВД-2БК. В связи с комплексной механизацией добычных участков возникла необходимость в автоматических фидерных выключателях с дистанционным отключением. Таким автоматом является АФВД-2БК (рис. 18.5), у которого перед главными контактами присоединен трансформатор *Тр*, от которого питается стабилизатор *СТ*, подающий напряжение в цепь дистанционного управления с выпрямителем *Д* и кнопкой «Стоп». При подаче напряжения на зажимы *Л1*, *Л2*, *Л3* промежуточное реле *РП* обтекается постоянным током и размыкает свой контакт *РП-1* в цепи отключающей катушки *ОК* — автомат можно включить.

При размыкании кнопки «Стоп» реле *РП* обтекается переменным током, контакт *РП-1* замыкается, отключающая катушка *ОК* обтекается током и воздействует на механизм свободного расцепления, в результате автомат *А* отключается.

Автомат АВ. Для включения, выключения и защиты от тока к. з. магистральных линий мощных угледобывающих и проходческих комплексов, работающих на шахтах всех категорий по газу и пыли, ВНИИВЭ раз-

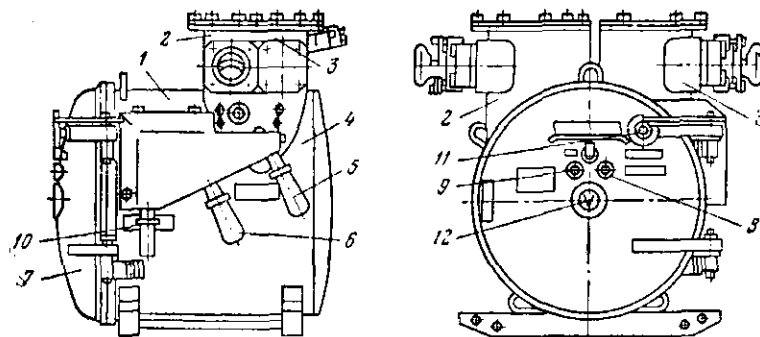


Рис. 18.6. Фидерный автоматический выключатель АВ-320-ДО

работал более совершенную конструкцию автоматического взрывобезопасного выключателя АВ.

Автомат АВ состоит из набора электрической аппаратуры, часть которой выполнена в виде быстротъемных блоков.

Автомат (рис. 18.6) представляет собой взрывонепроницаемую оболочку 1, закрываемую быстрооткрываемой крышкой 7, с отделениями вводов 3 и выводов 2, камерой разъединителя 4.

В отличие от автоматов АФВ, крышка имеет шарнирную подвеску и клиновой затвор, открываемый специальным ключом 11. Крышка сблокирована с рукояткой 5 разъединителя специальным механическим устройством 10. На передней части оболочки расположены: смотровое окно 12 для определения показаний вольтметра и наблюдения за сигнальными лампами, кнопка взвода максимальной защиты 8 и кнопка опробования БРУ 9. Сбоку размещены рукоятки включения разъединителя 5 и выключателя 6.

Внутри корпуса размещается разъединитель В1 (рис. 18.7), автоматический выключатель В2 с первичными электромагнитными максимальными реле прямого действия РМ1, РМ2, РМ3, имеющими нерегулируемую уставку тока срабатывания 2500 А, блок регулируемой максимальной защиты ПМЗ, блок дистанционного отключения ДО, блок блокировочного реле БРУ, диодный блок присоединения П, нулевое реле РН, трансформаторы тока ТТ1, ТТ2, ТТ3, трансформатор понижающий Тр,

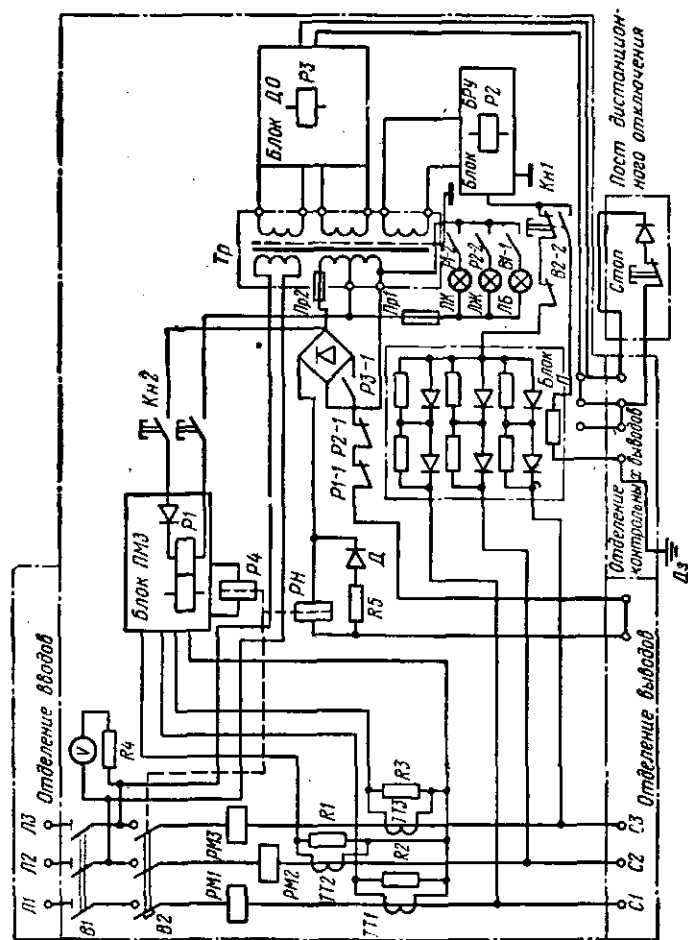


Рис. 18.7 Принципиальная электрическая схема автоматов АВ

сигнальное устройство из трех ламп ЛК, ЛЖ, ЛБ, вольтметр V, кнопочный пост Кн2 взвода защиты ПМЗ и кнопочный пост Кн1 опробования исправности БРУ.

Электрическая схема автомата обеспечивает следующие виды защит, блокировок, сигнализации и проверок: а) защиту от токов к. з. силовых цепей; б) защиту от обрыва цепи дистанционного отключения; в) защиту от потери управляемости при замыкании проводов цепи дистанционного отключения между собой; г) нулевую защиту; д) электрическую блокировку, препятствующую включению автомата при снижении сопротивления изоляции относительно земли в отходящем участке сети ниже 30 кОм; е) световую сигнализацию о включении выключателя; ж) световую сигнализацию о срабатывании блокировочного реле утечки; з) световую сигнализацию о срабатывании максимальной токовой защиты; и) проверку работоспособности блокировочного реле утечки; к) проверку работоспособности максимальной токовой защиты.

Схема обеспечивает дистанционное отключение автомата при помощи выносного поста управления. Цепи дистанционного отключения выполнены искробезопасными. В качестве коммутационного аппарата применен выключатель А-3732У.

При включении разъединителя В1 подается питание на трансформатор Тр. Если кнопка «Стоп» не зафиксирована и отсутствует замыкание в цепи отключения ДО, срабатывает реле РЗ, которое своим замыкающим контактом РЗ-1 обеспечивает цепь питания расцепителя нулевого напряжения РН, и выключатель В2 может быть включен.

Отключение автомата осуществляется вручную, дистанционно с помощью кнопки «Стоп» и максимально-токовой защитой ПМЗ. При срабатывании последней подается импульс на включение независимого расцепителя Р4, который воздействует на механизм свободного расцепления и отключает автоматический выключатель В2. Одновременно размыкающий контакт Р1-1 реле блока максимальной токовой защиты, размыкая цепь питания расцепителя нулевого напряжения РН, блокирует автомат от повторного включения, а замыкающий контакт Р1-2 замыкает цепь питания сигнальной лампы

ЛК с красным светофильтром, которая сигнализирует о срабатывании защиты ПМЗ.

Возврат электрической блокировки защиты ПМЗ в исходное рабочее состояние осуществляется нажатием кнопки Кн2, расположенной на крышке автомата.

Если при отключенном положении автоматического выключателя величина сопротивления изоляции отходящего от автомата участка электрической сети по отношению к земле окажется равной уставке или ниже нее, срабатывает реле Р2 блокировочного реле утечки. Размыкающий контакт Р2-1 разомкнет цепь питания катушки нулевого напряжения РН, блокируя автомат от включения. Замыкающий контакт Р2-2 замкнет цепь питания сигнальной системы ЛЖ с желтым светофильтром, которая сигнализирует о плохом качестве изоляции сети.

Схемой предусмотрен ряд проверок работоспособности защит: а) для проверки блока максимальной токовой защиты ПМЗ необходимо переключатель на блоке поставить в положение «проверка»; при включении наиболее мощного токоприемника сработает максимальная токовая защита и загорится сигнальная лампа ЛК; б) для проверки блока БРУ используется кнопка Кн1. При нажатии ее (в выключенном положении выключателя В2) загорается сигнальная лампа ЛЖ, сигнализирующая об исправности реле БРУ.

В связи с переводом мощных угледобывающих комплексов на питание напряжением 1140 В ВНИИВЭ разработал автоматический выключатель АВ-320-ДО на напряжение 1140 В.

В отличие от автоматических выключателей АВ-320-ДО в нем имеется два блока дистанционного отключения ДО и отсутствует блок БРУ.

Глава 19

МАГНИТНЫЕ ПУСКАТЕЛИ В РУДНИЧНОМ ИСПОЛНЕНИИ

19.1. Общие сведения

Магнитные пускатели в рудничном исполнении применяются для управления асинхронными электродвигателями горных машин и механизмов. Схемы совре-

менных магнитных пускателей допускают как дистанционное, так и местное управление.

В настоящее время выпускаются пускатели серии ПМВИ и ПВИ. Основные технические данные пускателей приведены в табл. 19.1.

Таблица 19.1

Тип пускателя	Номинальное напряжение, В	Номинальный ток, А	Наибольшая мощность электродвигателя с короткозамкнутым ротором при напряжении, 660 В, кВт	Вид защиты	Эффективный ток отключения контактора при напряжении 660 В, А	Исполнение
Нереверсивные магнитные пускатели						
ПМВИ-13М	380/660	63	55	Максимальные реле УМЗ	1400	РВ
ПМВИ-23М	380/660	120	95	То же	2400	ЗВ, И
ПМВИ-61	380/660	240	140	Максимальное электромагнитное реле	2100	То же
ПВИ-25	380/660	25	22	Максимальное реле УМЗ	1500	»
ПВИ-63	380/660	63	55	То же	2700	»
ПВИ-125	380/660	125	125	»	2500	»
ПВИ-250	380/660	250	200	»	3750	»
ПВИ-320	380/660	320	280	»	4800	»
Реверсивные магнитные пускатели						
ПМВИР-41	380/660	80	40	Плавкие предохранители ПР-2 (патрон 200А)	800	»
ПМВИР-51	380/660	120	75	То же	1250	»
ПВИР-250	380/660	250	200	Максимальное реле УМЗ	3750	»

19.2. Нереверсивные магнитные пускатели серии ПВИ

Пускатели ПВИ (рис. 19.1) состоят из следующих основных узлов: корпуса 1, крышки 2, разъединителя 15, блока контактора 11, понижающего трансформатора 14, блока управления 12 (в нем размещаются реле времени РВ, БРУ, промежуточное реле РП) блока максимальной защиты УМЗ 13, кнопки «Стоп» 8.

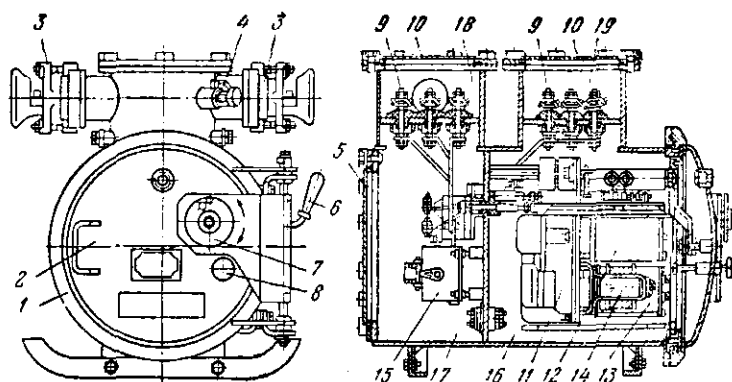


Рис. 19.1. Пускатели ПВИ-25 и ПВИ-63

Корпус имеет четыре самостоятельных отделения: контакторный отсек 16, отсек разъединителя 17, сетевую 18 и моторную 19 камеры. Обслуживаемым отсеком является контактный отсек, поэтому он закрывается быстрооткрываемой крышкой 2 с клиновым замком. Отсек разъединителя имеет крышку 5 с болтовым креплением. Сетевая моторная камера служит для ввода и вывода кабелей, которые присоединяются к сетевым и моторным зажимам 9. Камеры закрываются крышками 10. Кабели вводятся и выводятся через кабельные вводы 3, 4. Для открывания крышки 2 служит привод замка 7, который системой рычагов заблокирован с рукояткой разъединителя 6. Рукоятка 6 механически заблокирована с кнопкой «Стоп» 8 контактора. Ее можно повернуть в положение «Выкл.» только при нажатой кнопке «Стоп»; повернуть привод 7 в нужную сторону можно только при положении рукоятки 6 «Выкл.». Блокировка не дает возможности поставить рукоятку 6 разъединителя в положение «Вкл.» при открытой крышке 2. Исполнение корпуса по уровню взрывозащиты РВ 3В.

Кроме рукоятки разъединителя и кнопки «Стоп» на корпусе имеется рычаг, с помощью которого можно осуществить проверку исправности схемы управления и БРУ, включение контактора местной кнопкой (при соответствующей схеме управления контактором).

Расположение легкоъемных блоков показано на рис. 19.1.

Электрическая схема (рис. 19.2) пускателей обеспечивает следующие виды защит: а) от тока к. з.; б) от потери управляемости; в) от обрыва или увеличения сопротивления цепи заземления свыше 100 Ом; г) нулевую; д) от самовключения пускателя при повышении напряжения питающей сети до $150\% U_{ном}$; е) минимальную; ж) от включения пускателей на отходящую сеть с плохим качеством изоляции.

Схема сигнализирует: а) о срабатывании максимальной защиты (лампа ЛЗ); б) о срабатывании БРУ (лампа ЛБ); в) об исправности цепей схемы при проверке пускателя без включения контактора (лампа ЛН).

Электрическая схема работает следующим образом. При включении разъединителя Р:

1) получает питание первичная обмотка трансформатора $Tr1$ по цепи: фаза ЛЗ — первичная обмотка $Tr1$ — фаза Л1. Во вторичной обмотке трансформатора индуцируется э. д. с., в результате чего: загорается светильник местного освещения, который подключен к клеммам 10, 11; обтекается током первичная обмотка стабилизатора СТ, во вторичных обмотках стабилизатора индуцируется э. д. с.;

2) катушка РП обтекается переменным током и поэтому не срабатывает;

3) от второй вторичной обмотки стабилизатора получает питание катушка БРУ, если сопротивление изоляции отходящей от пускателя линии хорошее (больше 30 кОм при 660 В или больше 18 кОм при 380 В), то величина тока, проходящего по цепи, будет недостаточной для срабатывания БРУ и его контакты останутся в положении, вычерченном на схеме; при меньшем сопротивлении БРУ сработает, контакт БРУ-1 разомкнется и отключит питание реле РП, контакт БРУ-2 замкнется — загорится лампочка ЛБ, сигнализируя о неисправности изоляции отходящей линии;

4) так как в фазе Л1 и фазе ЛЗ проходит небольшой ток, реле РЗ не срабатывает, так как уставка срабатывания их соответствует току короткого замыкания.

При хорошем качестве изоляции пускатель можно включать в работу, но перед этим надо собрать нужную

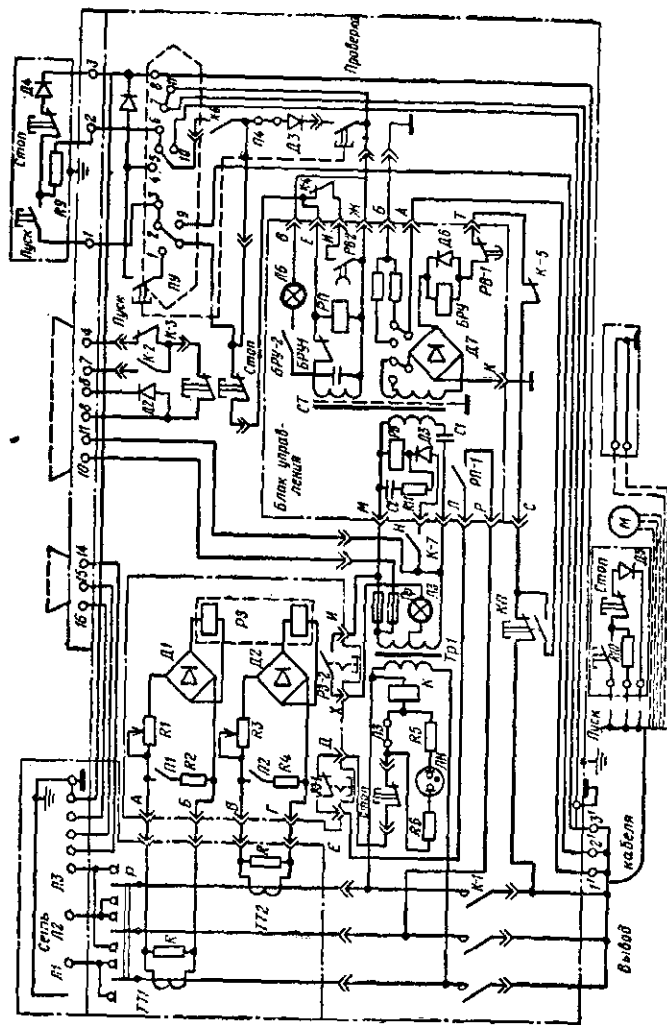


Рис. 19.2. Принципиальная электрическая схема пускателей ПВИ-25, ПВИ-63, ПВИ-125

и перемычек ПЗ, П4 в положения, указанные в табл. 19.2

Таблица 19.2

Способ управления пускателем	Перечень замкнутых пар контактов на ПУ	Наличие перемычек	
		ПЗ	П4
Местное	1,2; 4,5; 7,11	Поставить	Поставить
Дистанционное по жилам силового кабеля	9,2; 10,5; 11,8	Поставить	Снять
Дистанционное по отдельному кабелю	2,3; 5,6; 7,11	Поставить	Снять
Проверка схемы	1,2; 4,5; 11,8	Снять	Поставить

схему управления пускателем. Выбор схемы управления осуществляется установкой перемычек на панели ПУ.

Выбрав схему управления, необходимо открыть крышку пускателя, установить в нужное положение перемычки, закрыть крышку и включить разъединитель.

Положения перемычек, указанные на рис. 19.2, соответствуют дистанционному управлению с выносного пульта, подключаемого к пускателю отдельным кабелем.

При нажатии на кнопку «Пуск» катушка промежуточного реле РП шунтируется диодом Д4. В положительный полупериод ток проходит через диод Д4, а в отрицательный — через обмотку промежуточного реле РП. Реле РП замыкает контакт РП-1, катушка К обтекает током по цепи: ЛЗ — К — ПЗ — «Стоп» — РЗ-1 — РП-1 — Л2 и контактор включается. При этом замыкаются следующие контакты: К-1 — включается напряжение на зажимы потребителя; К-7 — получает питание реле времени РВ; К-6 — шунтируется кнопка «Пуск». Теперь в положительный полупериод от вторичной обмотки стабилизатора СТ ток будет проходить через диод Д4 по двум цепям: первая — СТ — БРУ-1 — «Стоп» — «Пуск» — «Стоп» — Д4 — корпус — СТ; вторая — СТ — БРУ-1 — «Стоп» — К-6 — Р9 — «Пуск» — «Стоп» — Д4 — корпус — СТ.

После прекращения нажатия на кнопку «Пуск» первая цепь размыкается, вторая — продолжает работать, т. е. обмотка СТ будет в положительный полупериод закорачиваться через резистор Р9 и диод Д4.

Параметры резистора *R9* выбраны такими, чтобы через обмотку катушки промежуточного реле *РП* проходил ток, меньший чем при включении ее, но достаточный для удержания реле *РП* во включенном положении. Поэтому пускатель останется включенным и после отпускания кнопки «Пуск».

Блок-контакт *K-5* размыкается и отключает *БРУ* от контролируемой сети.

Аналогичным образом работает схема и при других способах управления пускателем.

Во всех случаях при нажатии на кнопку «Стоп» электрическая цепь, по которой в положительный полупериод закорачивался ток через диод *Д4*, разрывается, обмотка реле *РП* перестает обтекаться постоянным током, размыкается контакт *РП-1*, катушка *K* теряет питание, контактор выключается. Блок-контакт *K-7* отключает реле *PВ* от трансформатора *Тр1*, однако за счет энергии конденсатора *С2* реле *PВ* в течение 2—3 с будет продолжать удерживать свои контакты *PВ-1* и *PВ-2* в прежнем положении (*PВ-1* — разомкнут, *PВ-2* — замкнут). Поэтому в течение 2—3 с после нажатия на кнопку «Стоп» обмотка реле *РП* будет закорочена через *K-4* и *PВ-2*, и включить пускатель будет невозможно.

Режим управления «Проверка схемы пускателя» предназначен для контроля исправности электрической схемы, собранной внутри корпуса пускателя. Для осуществления его необходимо открыть крышку пускателя, снять перемычку *П3*, поставить перемычку *П4*, а затем, закрыв крышку и включив разъединитель, нажать на кнопку «Проверка».

Тогда при исправных цепях трансформатора *Тр1*, стабилизатора *СТ* и хорошем качестве изоляции отходящего кабеля от верхней вторичной обмотки стабилизатора через контакты *БРУ-1*, кнопку «Стоп», перемычку *П4*, диод *Д3*, кнопку «Проверка» в один из полупериодов ток будет закорочен, а в другой полупериод ток будет проходить через обмотку реле *РП*. Реле *РП* сработает и замкнет контакт *РП-1* в цепи катушки *K*. Катушка *K* обтечет током, величина которого ограничена сопротивлением резисторов *R6*, *R5* и неоновой лампочки по цепи: фаза *Л3* — *K* — *R5* — *ЛН* — *R6* — «Стоп» — *PЗ-1* — *РП-1* — фаза *Л2*. Так как ток будет малой величины, катушка *K* не включит контактор, лампочка

ЛН будет гореть, сигнализируя об исправности разъединителя *P*, блока *УМЗ*, трансформатора *Тр1*, стабилизатора *СТ*, блока управления, цепей катушки контактора.

При срабатывании максимальной защиты размыкается контакт *PЗ-1*, который разрывает цепь питания катушки *K*. Она размыкает контактор, и схема приходит в первоначальное положение. О срабатывании защиты сигнализирует лампа *ЛЗ*, цепь которой замыкается контактом *PЗ-2*.

Для повторного включения контактора необходимо открыть крышку, взвести максимальную защиту нажатием на соответствующую кнопку, закрыть крышку и включать пускатель обычным способом.

Для проверки исправности *БРУ* предусмотрена выведенная наружу корпуса кнопка *КП*.

Все электрические цепи, получающие питание от вторичных обмоток стабилизатора *СТ*, искробезопасны. Электрические цепи, отходящие от клемм 4, 6, 7, 8, используются для различных блокировок пускателей между собой и сигнализации.

Пускатели *ПВИ-250*, *ПВИ-320* по внешнему виду отличаются от пускателей *ПВИ-25* и *ПВИ-63* только основными размерами.

Схема электрических соединений пускателей *ПВИ-250* и *ПВИ-320* (рис. 19.3) отличается от описанной выше схемы пускателей *ПВИ-25* и *ПВИ-63* тем, что она не предусматривает местного управления, а включающая катушка *K* контактора этого пускателя питается от выпрямительного моста *Д4*, к зажимам которого подключено реле формирования *РФ*.

При срабатывании промежуточного реле *РП* замыкается его контакт *РП-1* в цепи питания моста *Д4*, благодаря чему получает питание реле форсировки *РФ*. Это реле срабатывает и замыкает свой контакт *РФ-1* в цепи, шунтирующей резистор *R6*.

Контактор *K* включается и размыкает свой блок-контакт *K-3* в цепи реле *РФ*, что приводит к отключению последнего. Реле *РФ*, отключившись, размыкает свой контакт в цепи, шунтирующей резистор *R6*. Поэтому питание втягивающей катушки *K* после включения контактора осуществляется током, величина которого ограничена резистором *R6*, но является достаточной для удержания якоря контактора в притянутом состоянии.

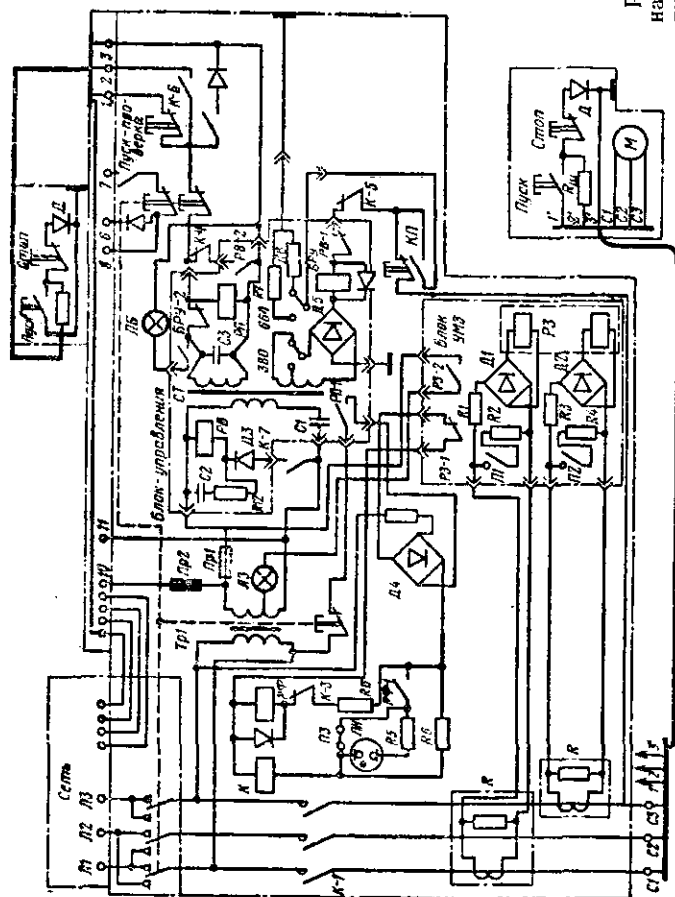


Рис. 19.3. Принципиальная электрическая схема пускателей ПВИ-250 и ПВИ-320

19.3. Неревверсивные магнитные пускатели серии ПМВИ

Пускатели ПМВИ-13М и ПМВИ-23М имеют одинаковую конструкцию и электрическую схему, состоят из тех же узлов, что и пускатели ПВИ-63. Отличаются пускатели ПМВИ-13М от ПМВИ-23М номинальными данными контакторов.

Электрическая схема пускателей ПМВИ-13М и ПМВИ-23М, представленная на рис. 19.4, является упрощенной схемой пускателей серии ПВИ и отличается от нее следующим:

трансформаторы тока $ТТ1$ и $ТТ2$ подключены после контактов $K-1$;

вместо клеммника (для осуществления выбора режима управления пускателем) поставлен переключатель $ПЗ$, имеющий два положения: $Д$ (дистанционное управление) и $П$ (проверка схемы);

отсутствуют переключки для опробования схемы без включения контактора, поэтому при опробовании схемы без включения контактора необходимо снимать блок УМЗ (опробуется исправность только цепей управления промежуточным реле $РП$);

отсутствует неоновая лампочка, сигнализирующая об исправности цепей управления при режиме «Проверка схемы»;

отсутствует местная кнопка «Пуск»;

принята другая маркировка клемм в кабельных коробках: клеммы 8, 7 используются для подсоединения местного освещения; клеммы 6, 5 — для блокировок и сигнализации.

В связи с перечисленными особенностями управление пускателями ПМВИ-13М и ПМВИ-23М возможно только с выносных пультов управления: либо по отдельному кабелю, либо по вспомогательным жилам силового отходящего кабеля.

Электрическая схема пускателей ПМВИ-13М и ПМВИ-23М предусматривает те же защиты и сигнализацию, что и электрическая схема пускателей ПВИ-25 и ПВИ-63.

Пускатель ПМВИ-61 (рис. 19.5) состоит из следующих основных узлов: взрывобезопасной оболочки 5 с вводным устройством 1, крышкой 11 и салазками 10; реверсивного разъединителя 6 с рукояткой 2; понижаю-

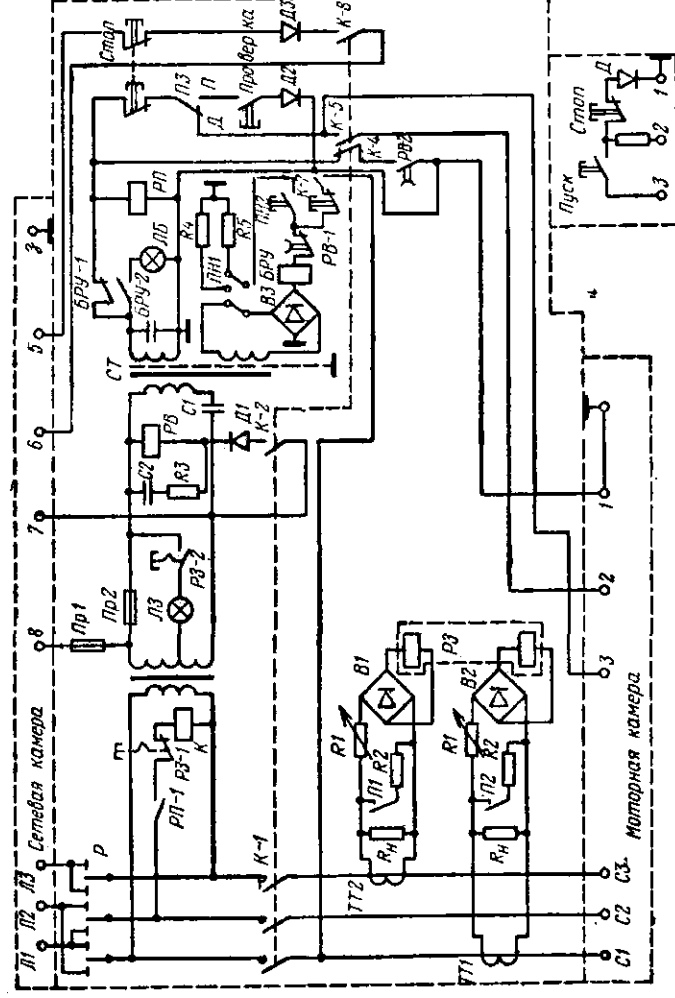


Рис. 19.4. Принципиальная электрическая схема пускателей ПМВИ-13М и ПМВИ-23М

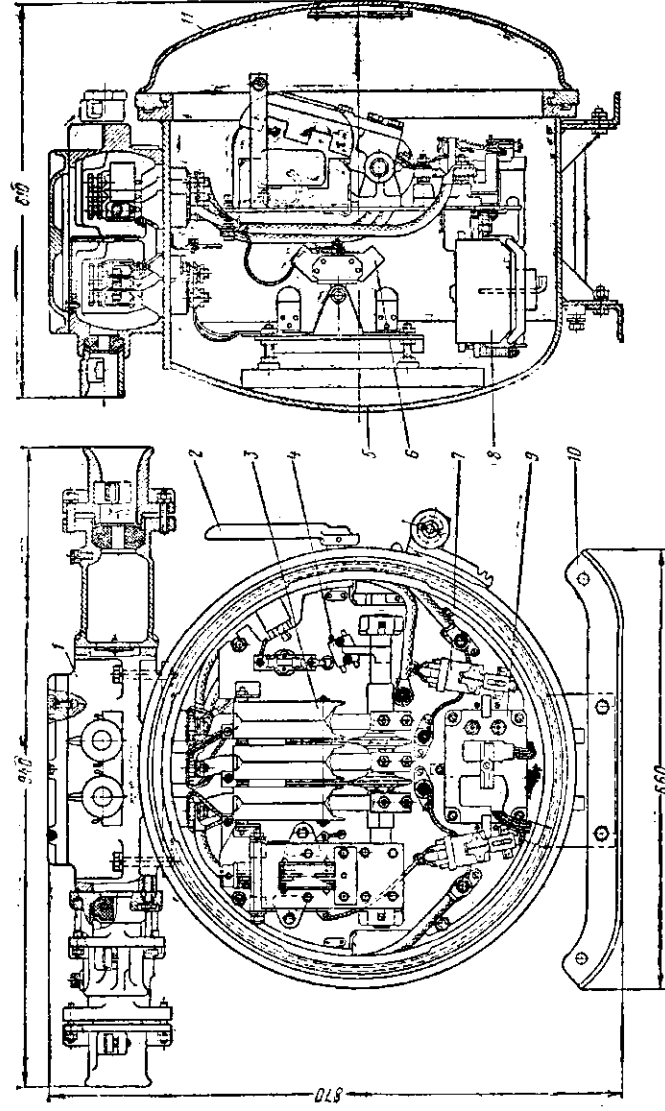


Рис. 19.5. Магнитный пускатель ПМВИ-61

шего трансформатора 8; блока управления и блокировки от утечек 9, в котором размещаются: стабилизаторы *Ст1*, *Ст2*, выпрямительные мосты *В1*, *В2*, промежуточное реле *РП*, блокировочное реле утечки типа БРУ-2с, переключатели *П1*, *П2* (рис. 19.6); контактора 3 (см. рис. 19.5); первичных электромагнитных реле максимального тока 7; кнопки «Стоп»; рукоятки проверки схемы и БРУ; узла блок-контактов 4.

Электрическая схема пускателя отличается от схемы пускателя ПМВИ-13М применением бесконтактного блокировочного реле утечки БРУ-2с (вместо электромагнитного БРУ) и первичных электромагнитных максимальных реле (вместо защиты УМЗ).

В пускателе ПМВИ-61 отсутствует сигнализация о срабатывании максимальных реле и нет защиты от частых включений контактора.

Внутри оболочки пускателя установлен влагопоглотитель *Р6* с подогревом. Этот узел способствует уменьшению конденсата воды внутри оболочки.

Для местного освещения используются клеммы 5, 6; для блокировок и сигнализации — клеммы 7, 8 и 4, 3; для управления — клеммы 1, 2, 3. Электрическая схема пускателя ПМВИ-61 позволяет осуществлять: дистанционное управление через вспомогательные жилы силового кабеля при помощи кнопок, встроенных в корпуса горных машин; дистанционное управление кнопочным постом управления через отдельный кабель; защиту подключенных к пускателю токоприемников и кабелей от токов короткого замыкания; нулевую защиту установок, питающихся электроэнергией через данный пускатель; защиту от потери управления; контроль целостности заземляющей жилы кабеля машины и величины сопротивления заземления ее; питание светильника местного освещения; сигнализацию о срабатывании БРУ и проверку его исправности; проверку исправности схемы управления пускателя.

Если в схеме переключатель *П1* поставить в положение *М*, а клеммы 12 и 9 соединить перемычкой, то кнопка «Проверка» может служить встроенной кнопкой «Пуск» и управление пускателем можно осуществлять местными кнопками.

Для управления пускателем с выносного пульта необходимо к клеммам 1, 2, 3 пускателя подсоединить

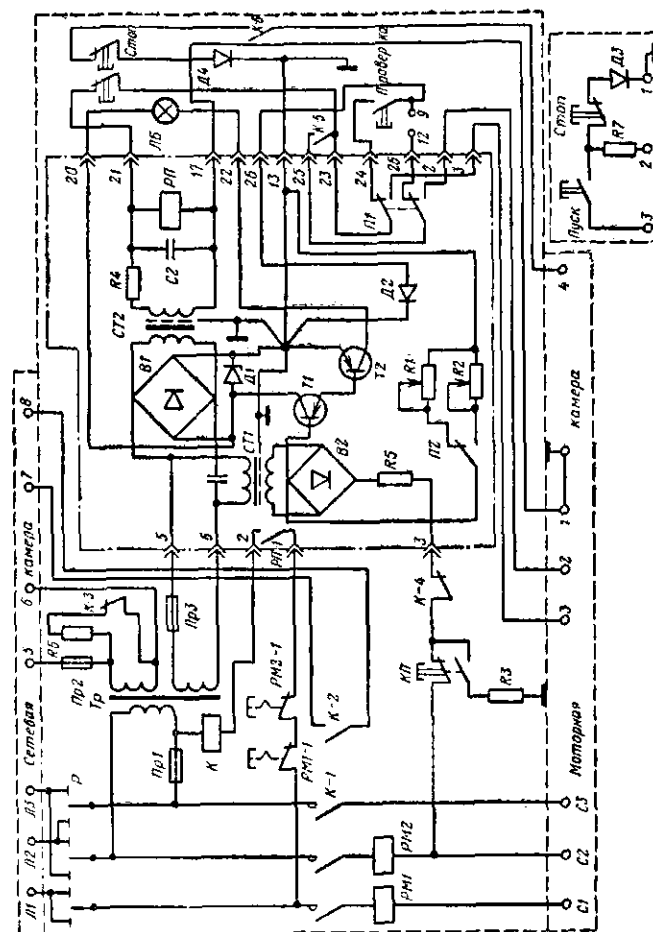


Рис 19.6. Принципиальная электрическая схема пускателя ПМВИ-61

затары *СТ1* и *СТ2*, блокировочное реле утечки БРУ-2с, два промежуточных реле *РП1* и *РП2*, переключатель напряжения *П1*, реле обрыва фаз *РО*.

Взрывобезопасная оболочка имеет такую же конструкцию, как и в нереверсивных пускателях серии ПМВИ.

В пускателе ПМВИР-41 используются контакторы КТВ-32, а в пускателе ПМВИР-51 — контакторы КТУ-3.

Снаружи оболочки располагаются рукоятка включения разъединителя, кнопка «Стоп» и кнопка опробования БРУ.

Между крышкой пускателя, рукояткой разъединителя и кнопкой «Стоп» предусмотрены такие же блокировки, как и в предыдущих пускателях.

Для управления реверсивным пускателем используют выносной трехкнопочный пост с кнопками *Н* («назад»), *В* («Вперед»), «Стоп».

Электрическая схема пускателей ПМВИР-41 и ПМВИР-51 работает следующим образом: при включенном разъединителе *Р* пускателя и нажатии на кнопку *В* выносного кнопочного поста реле *РП1* шунтируется диодом *Д2*, установленном в *КУВ*, по следующей цепи: зажим 23 стабилизатора *СТ2* — *Р6* — *К2-5* — зажим 4 пускателя — жила кабеля — зажим 4 *КУВ* — *Н* — *В* — «Стоп» — диод *Д2* — зажим 1 *КУВ* — заземляющая жила кабеля — зажим 1 пускателя — кнопка «Стоп» — *РО-1* — зажим 5 — зажим 22 *СТ2* и в этот полупериод не обтекается током; во втором полупериоде ток пройдет по цепи: зажим 22 *СТ2* — *РП1* — *Р6* — зажим 23 *СТ2*. Обмотка реле *РП1* будет обтекаться однополупериодным выпрямленным током, оно сработает, замкнет свой контакт *РП1-1* в цепи катушки *К1*; включится контактор и подаст напряжение на зажимы подключенного к пускателю электроприемника; одновременно с включением силовых контактов *К1-1* замыкается блок-контакт *К1-4*, шунтирующий кнопку *В*, поэтому отпускание кнопки *В* не приводит к нарушению цепи управления промежуточного реле.

Для реверсирования подключенного к пускателю двигателя необходимо, нажав на кнопку «Стоп», отключить двигатель, а затем, нажав на кнопку *Н*, включить двигатель для вращения в противоположную сторону.

Электрическая блокировка, предотвращающая воз-

можность включения контактора «Вперед» при включенном контакторе «Назад», достигается тем, что при включении контактора «Назад» размыкается его блок-контакт *К2-5*, включенный в цепь управления промежуточного реле *РП1*. Если при пуске двигателя одновременно нажать кнопки *В* и *Н*, включение пускателя не произойдет, так как в этом случае оказывается нарушенной цепь, в которую включен диод *Д2*.

Защита двигателя от работы в неполнофазном режиме осуществляется двухобмоточным реле *РО*, размыкающий контакт которого *РО-1* включен в цепь управления промежуточными реле пускателя. Для исключения возможности повторного включения пускателя при сгоревшей плавкой вставке одного из предохранителей, возврат реле *РО* в исходное положение осуществляется вручную, при открытой крышке пускателя.

Работа схемы по осуществлению защиты и сигнализации аналогична работе схем нереверсивных пускателей серии ПМВИ.

Пускатель ПВИР-250 сконструирован на базе нереверсивных пускателей серии ПВИ, в отличие от них имеет два контактора и схему управления контакторами, аналогичную схеме пускателей ПМВИР.

19.5. Магнитные пускатели на напряжение 1140 В

В связи с переводом мощных очистных механизированных комплексов на напряжение 1140 В ВНИИВЭ разработал новую серию взрывобезопасных унифицированных пускателей ПВ-1140. Опытные образцы магнитных пускателей на напряжение 1140 В изготовлены трех типоразмеров: ПВ-1140-2×25, ПВ-1140-2×63 и ПВ-1140-250.

В отличие от рассмотренных выше пускателей магнитные пускатели серии ПВ-1140 имеют следующие особенности: а) ножи разъединителя при выключении закорачиваются и заземляются; б) применен контактор КТ-6043БР; в) применен мостиковый способ измерения величины сопротивления заземления передвижной машины, который обеспечивает отключение и блокировку от включения контактора при увеличении сопротивления заземления свыше 10 Ом (в пускателе ПВ-1140-250);

г) конструкция пускателей на 25 и 63 А позволяет подключать два непереворачиваемых электродвигателя или один электродвигатель с реверсированием его.

Электрическая схема пускателя ПВ-1140-250 приведена на рис. 19.9. Как видно из схемы, максимальная защита обеспечивается блоком УМЗ; питание катушки К контактора осуществляется постоянным током через выпрямительный мост ВМ, а включение ее происходит с помощью реле форсировки включения РФ.

Схема управления пускателем — трехпроводная с помощью выносного кнопочного поста, который подсоединяется отдельным кабелем.

Переключатели П2 и П1 служат для переключения схемы на два режима: работа схемы и проверка исправности схемы без включения контактора.

Промежуточное реле РП получает питание по обычной схеме через контакты РКЗ-1 реле контроля заземления РКЗ и контакт БРУ1-1 блокировочного реле утечки БРУ1. Если контакты РКЗ-1 или БРУ1-1 будут разомкнуты, цепь питания реле РП разомкнется и включить его будет невозможно.

БРУ имеет предупредительную уставку (в зоне от 250 до 90 кОм) и аварийную (90 кОм). В зоне предупредительной уставки БРУ подает сигнал свечением синей лампы ЛС без блокировки цепи управления. В зоне аварийной уставки (ниже 90 кОм) БРУ блокирует цепь управления и подает аварийный сигнал с помощью белой лампы ЛБ.

Схема контроля цепи заземления состоит из измерительной и исполнительной частей.

Измерительная часть схемы, осуществляющая контроль величины сопротивления заземления, построена по принципу моста постоянного тока, одним из плеч которого является сопротивление заземления.

Исполнительная часть схемы питается от стабилизатора СТ напряжением 24 В, в нее входит двухпозиционное реле РКЗ, имеющее в цепи управления пускателем свой замыкающий контакт, а в цепи сигнальной лампы — размыкающий контакт. При величине сопротивления заземления меньше 10 Ом реле РКЗ обтекается током, поэтому в цепи управления пускателя контакт РКЗ-1 замкнут, а в цепи сигнальной лампы ЛКЗ — разомкнут, пускатель можно включить. При сопротив-

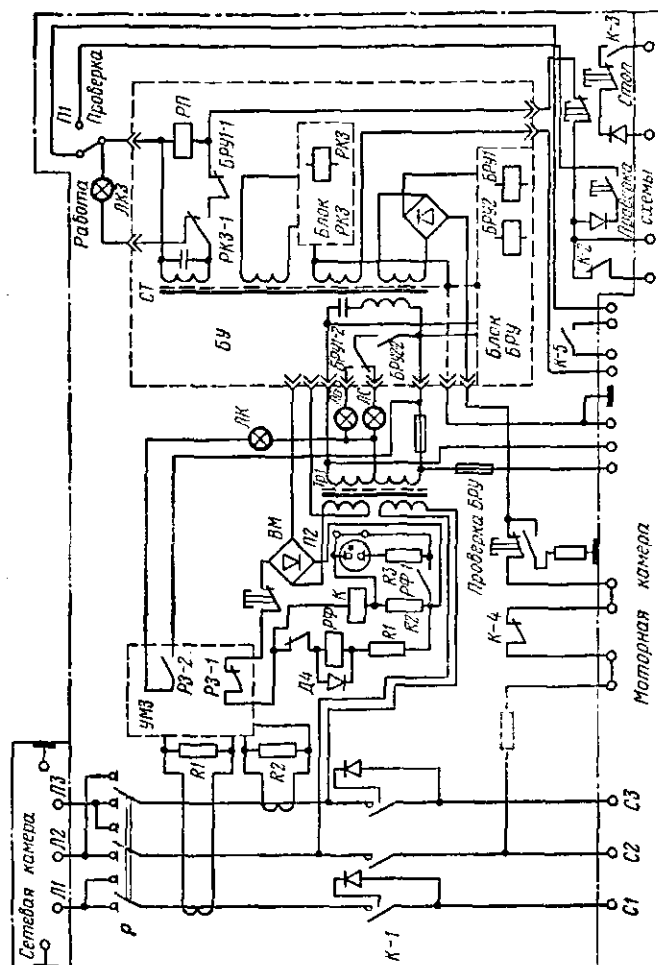


Рис. 19.9. Электрическая схема магнитного пускателя на напряжение 1140 В

лении заземления больше 10 Ом реле *РКЗ* не обтекается током, а поэтому пускатель включить нельзя, лампа *ЛКЗ* горит.

В пускателях *ПВИ-1140-2×25* и *ПВИ-1140-2×63* в отличие от пускателя *ПВИ-1140-250* установлено два контактора *КТ-6043БР* с блоками питания их катушек выпрямленным током и два блока управления. В одном из блоков управления помещается промежуточное реле *РП1*, которое по обычной искробезопасной схеме соединено с кнопками управления одного из контакторов, в другом — кроме промежуточного реле *РП2* (для включения другого контактора своим кнопочным постом) располагается блокировочное реле *БРУ*, контролирующее качество изоляции обеих отходящих от пускателя линий перед включением их под напряжение.

В этих пускателях не ставится реле контроля качества заземления.

19.6. Некоторые направления совершенствования шахтных магнитных пускателей

Наиболее совершенными пускателями из рассмотренных выше являются пускатели серии *ПВИ*. По мере увеличения выпуска пускателей этой серии, другие будут сниматься с производства.

В пускателях серий *ПВИ* и *ПМВИ* наиболее уязвимой частью является их контактная система, которая быстро выходит из строя под действием электрической дуги. В связи с этим *ВНИИВЭ* разработал контактор *КТ-6043БР*, в котором для увеличения эффективности действия шелевых дугогасителей применены диоды. Принципиальная электрическая схема полюса контактора *КТ-6043БР* приведена на рис. 19.10.

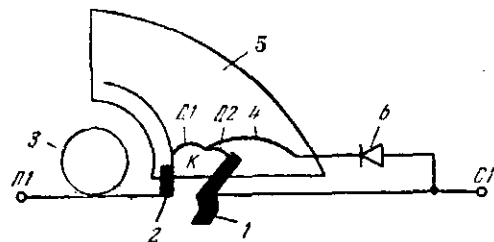


Рис. 19.10. Принципиальная электрическая схема полюса контактора *КТ-6043БР*

Два полюса контактора содержат по одной паре главных контактов *1, 2*, катушку магнитного дутья *3*, вспомогательный контакт *4*, размещенный в камере дугогашения *5*, и неуправляемый вентиль *6*, электрически связанный с подвижным и дополнительным контактами. Расстояние между контактом *4* и главными контактами *1, 2* примерно равно расстоянию между контактами *1* и *2*.

Когда контактор включен, контакты *1* и *2* замкнуты, вентиль *6* и контакт *4* не обтекаются током. При размыкании контактора между контактами *1, 2* возникает электрическая дуга, которая под действием магнитного дутья катушки *3* растягивается, перемещается вверх и соприкасается с контактом *4* в точке *К*. С момента соприкосновения с контактом *4* дуга делится на две части *Д1* и *Д2*, при этом параллельно дуге *Д2* оказываются включенными контакт *4* и вентиль *6*. При положительном направлении тока (от *С1* к *П1*) сопротивление линии *С1* — вентиль *6* — контакт *4* — *К* значительно меньше сопротивления линии *С1* — контакт *1* — *Д2* — *К*, поэтому ток будет проходить по цепи: *С1* — вентиль *6* — контакт *4* — *К* — *Д1* — контакт *2, 3* — *П1* и дуга *Д2* погаснет. При отрицательном направлении тока (от *П1* к *С1*) вентиль *6* окажется запертым, ток пройдет по цепи: *П1* — катушка *3* — контакт *2* — *Д1* — *К* — контакт *4* — вентиль *6* — *С1* не может и дуга *Д1* погаснет — произойдет отключение сети.

По данным *ВНИИВЭ*, применение такой системы дугогашения в 1,4—4 раза сокращает время действия электрической дуги и в 1,3—3 раза уменьшает выделение энергии в дуге, а это приводит к повышению коммутационной износостойкости и срока службы контактора.

Таковыми контакторами оборудованы пускатели *ПВИ-320*, *ПВИ-1140* и другие.

Другие институты ведут работы по созданию контактных систем, которые размещаются в камерах с высоким вакуумом. Уже созданы вакуумные выключатели, которые по своим характеристикам превосходят обычные системы.

Институтом горного дела им. А. А. Скочинского совместно с заводами-изготовителями ведутся работы по созданию бесконтактных выключателей на базе управляемых полупроводниковых выпрямителей — тиристоров и симисторов. В настоящее время Прокопьевский завод

шахтной автоматики выпускает аппараты бесконтактной коммутации АБК-2,5 и АБК-4 для управления ручными электросверлами.

19.7. Пусковые агрегаты

Пусковые агрегаты предназначены для питания ручного электроинструмента и освещения в подготовительных и очистных выработках. Иногда они используются для питания различных сигнальных и телеметрических систем.

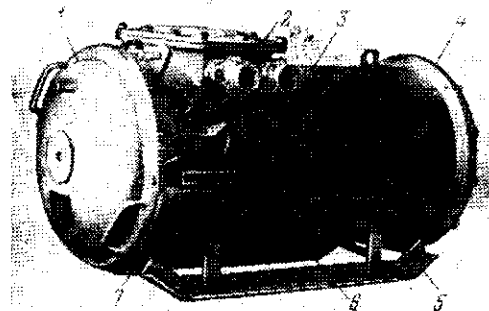
В настоящее время выпускают пусковые агрегаты с контактными пускателями — АП-3,5М, АП-4 и с бесконтактными пускателями — АБК-2,5, АБК-4, технические данные которых приведены в табл. 19.3.

Таблица 19.3

Показатели	АП-3,5М	АП-4	АБК-2,5	АБК-4
Номинальная мощность, кВт·А:				
электросверл	3,5	4	1,6	3,2
освещения	3,5	1	2,5	1
Номинальное напряжение трансформатора, В	380/660	380/660	380/660	380/660
Число одновременно работающих потребителей	133	133	133	133
Исполнение	2	2	1	2
	РВ, ЗВ, И	РВ, ЗВ, И	РВ, ЗВ, И	РВ, ЗВ, И

Пусковые агрегаты АП-3,5М и АП-4 одинаковые по конструкции и схеме. АП-4 отличается от АП-3,5М размерами корпуса и конструкцией пускозащитного блока и вводной камеры. Основные узлы их следующие (рис. 19.11): цилиндрическая оболочка 3, закрытая с одной стороны быстросъемной крышкой 1 со штыковым замком, с другой стороны — крышкой 4 на болтовом соединении; вводная коробка 2; салазки 5; силовой трансформатор, который размещается в оболочке со стороны крышки с болтовым соединением; выемной блок управления (см. рис. 19.12), состоящий из трансформатора управления ТрУ, реле утечки УАКИ-127, двух пускателей

Рис. 19.11. Пусковой агрегат АП-3, 5М



лей П1 и П2 (контакты К1, К2, промежуточные реле РП1, РП2, максимальные реле РМ1, РМ2, катушки опробования исправности максимальной защиты ОП1 и ОП2); автомат АП-50; отключающая катушка ОК.

Снаружи оболочки находится рукоятка 6 включения и выключения автомата (она заблокирована с быстросъемной крышкой), кнопка 7 опробования исправности реле утечки и максимальной защиты, кнопка взвода максимальных реле.

Электрическая схема АП-4 (рис. 19.12) работает следующим образом. При включении автомата А подается питание на первичные обмотки трансформаторов Тр и ТрУ. От вторичной обмотки силового трансформатора Тр напряжение подается к пускателям П1, П2 и реле УАКИ, которое контролирует качество изоляции в линиях напряжением 127 В.

От вторичных обмоток трансформатора ТрУ получают питание промежуточные реле контакторов (соответственно РП1 и РП2) и катушки опробования ОП1 и ОП2.

Защиты в схеме обеспечиваются следующей аппаратурой: максимальная — максимальными реле РМ1, РМ2 пускателей П1, П2, автоматом А, предохранителями Пр1, Пр2, Пр3; защита от утечек тока на землю в цепи 127 В — реле утечки УАКИ; защита от потери управления — диодами Д1, Д2; нулевая защита — кнопками включения с самовозвратом; защита от обрыва цепи заземления сверла осуществляется за счет того, что заземляющая жила является токоведущей в цепях управления пускателями П1, П2.

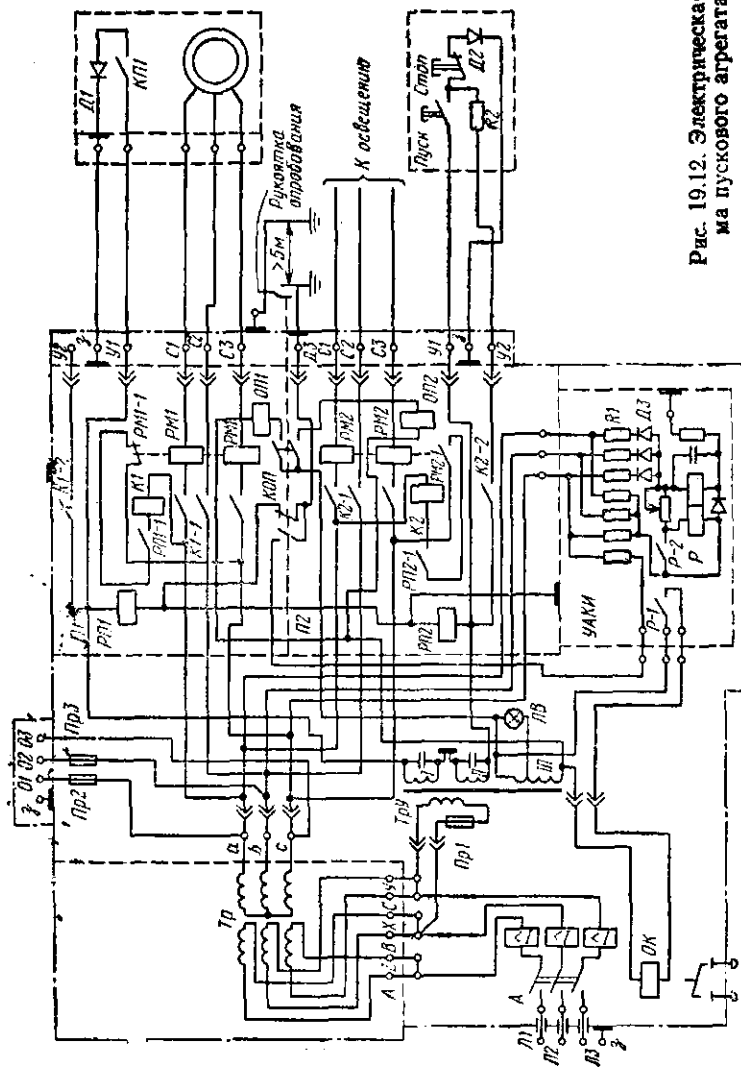


Рис. 19.12. Электрическая схема пускового агрегата АП-4

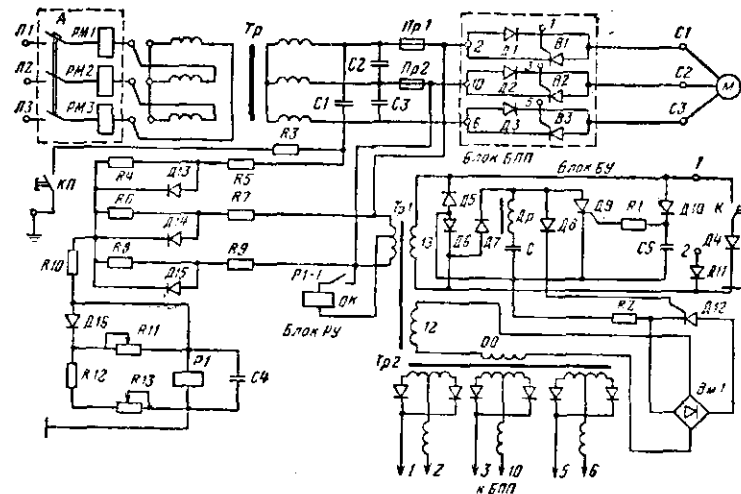


Рис. 19.13. Принципиальная электрическая схема пускового агрегата АБК-2,5

Опробование исправности реле УАКИ производится нажатием на кнопку опробования КОП.

На рис. 19.12 принята заводская маркировка клемм в кабельной коробке и показаны два способа управления контакторами пускового агрегата АП-4: пускатель П1 (контактор К1) управляется встроенной в сверло кнопкой КП1 с самовозвратом; пускатель П2 (контактор К2) управляется по обычной трехпроводной схеме выносным двухкнопочным постом.

Помимо перечисленных способов, можно осуществить местное управление, когда контактор будет включаться сразу после включения рукоятки автомата А. Для этого необходимо между клеммами У1 и «3» поставить перемычку с диодом (в этом случае будет отсутствовать нулевая защита).

Клеммы 01, 02, 03 служат для подсоединения осветительной сети мощностью до 2 кВт.

Пусковые агрегаты АБК-2,5 и АБК-4 имеют похожие электрические схемы, однако в АБК-2,5 размещен один бесконтактный выключатель, а в АБК-4 — два.

Основные узлы АБК-2,5 следующие (рис. 19.13): силовой трансформатор Тр; блок бесконтактного полупро-

водникового пускателя БПП; выемная панель, на которой размещаются: блок реле утечки РУ, трансформатор управления *Tr1*, трансформатор БПП *Tr2*, блок управления БУ; автомат А с максимальными реле; взрывобезопасная, цилиндрической формы оболочка, в которой размещены все вышеуказанные узлы.

Бесконтактный полупроводниковый пускатель состоит из трех тиристоров *B1*, *B2*, *B3* и трех кремниевых диодов *D1*, *D2*, *D3*. Тиристоры *B1*, *B2*, *B3* открываются только при наличии управляющего тока на электродах — катодах 1, 2, 5.

При наличии напряжения на зажимах *Л1*, *Л2*, *Л3* и включенном автомате А первичные обмотки трансформаторов *Tr* и *Tr1* обтекаются переменным током, во вторичных обмотках возникает э. д. с. самондукции.

В блоке управления БУ при разомкнутых контактах кнопки К от обмотки 13 в положительный полупериод ток проходит по цепи: обмотка 13 — *D10* — *R1* — *D6* — обмотка 13; в отрицательный полупериод ток проходит по цепи: обмотка 13 — *D7* — *D9* — *D5* — обмотка 13. Тиристор *D9* открыт, так как на его электроде — катоде есть ток, поддерживаемый конденсатором *C5*.

Так как диод *D8* зашунтирован открытым тиристором *D9*, ток через него проходить не будет. Не будет проходить ток и через управляющий электрод тиристора *D12* (он будет заперт), вентиль *Вм1*, обмотки 12 и 00. Следовательно, управляющий сигнал на электродах БПП отсутствует, тиристоры *B1*, *B2*, *B3* закрыты — пускатель выключен.

Для включения пускателя БПП необходимо нажать кнопку К, тогда в положительный полупериод ток от обмотки 13 пройдет по цепи с наименьшим сопротивлением — К — *D4* — обмотка 13. Предыдущая цепь через диод *D10* будет зашунтирована и поэтому обесточится.

Так как через управляющий электрод тиристора *D9* не проходит ток, он закроется, конденсатор *C5* разрядится и в отрицательный полупериод ток пройдет по цепи: обмотка 13 — *D7* — *D8* — управляющий электрод тиристора *D12* — *R2* — *D5* — обмотка 13. Тиристор *D12* откроется, выпрямительный мост начнет работать, будет обтекаться током обмотка 00 трансформатора *Tr2*, во вторичных обмотках *Tr2* будет индуцироваться э. д. с., в результате по управляющим электродам 1, 3, 5 пройдет

ток и тиристоры *B1*, *B2*, *B3* откроются — пускатель включится.

БПП останется включенным до момента размыкания контактов кнопки К, т. е. до выключения.

Защита от опасных токов утечки осуществляется блоком РУ. При снижении сопротивления изоляции в цепи 127 В ниже допустимой (до 5500 Ом на одну фазу) ток, протекающий через реле *P1*, увеличивается, реле срабатывает, замыкается контакт *P1-1*, катушка ОК обтекается током и отключается автомат А.

Для проверки реле утечки предусмотрена кнопка КП. В аппаратах АБК-2,5 и АБК-4 предусматривается управление на расстоянии выносной кнопкой по двухпроводной схеме без самофиксации (показано на рис. 19.13) и местное управление.

Для осуществления местного управления необходимо поставить перемычку с диодом *D4* между клеммами 1 и 2, тогда БПП будет включаться при нажатии кнопки автомата А.

19.8. Станции управления в рудничном взрывобезопасном исполнении

Для управления короткозамкнутыми асинхронными двигателями, установленными на машинах и механизмах угледобывающих комплексов с комбайновой выемкой угля, Торезский электротехнический завод выпускает комплект аппаратуры управления и защиты, собранный в одном корпусе и называемый станцией управления. Завод выпускает три вида станций, технические данные которых приведены в табл. 19.4.

Таблица 19.4

Показатели	СУВ-350	СУВ-1Л-100	СУВ-1Л-120
Номинальное напряжение, В	380/660	380/660	380/660
Максимальный суммарный ток нагрузки станции, А	350	350	350
Число управляемых токоприемников:			
на главное напряжение	7	10	10
на напряжение 127 В	3	—	—
Исполнение	РВ, ЗВ, И	РВ, ЗВ, И	РВ, ЗВ, И

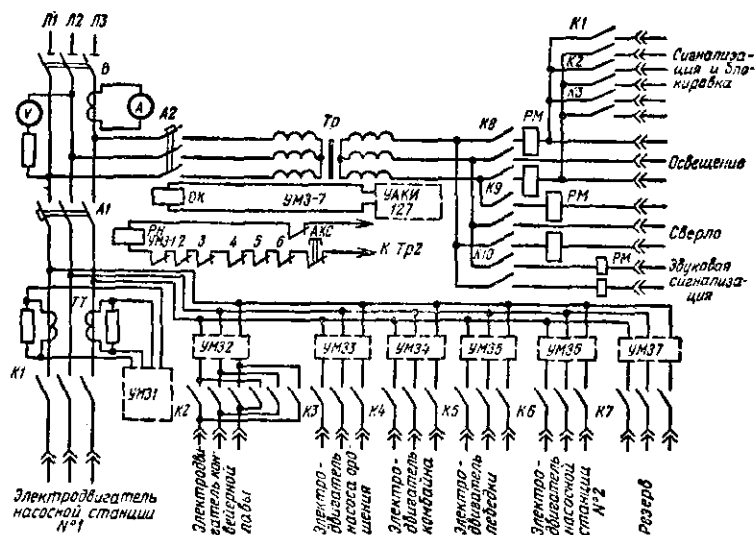


Рис. 19.14. Электрическая схема силовых цепей станции СУВ-350

Электрическая схема силовых цепей станции СУВ-350 представлена на рис. 19.14. Напряжение на схему подается с помощью блокирующего разъединителя *В* и двух автоматов *А1* и *А2*. Оба автомата ручные, с устройствами для автоматического отключения при обтекании током отключающей катушки *ОК* или обесточивании реле нулевого расцепителя *РН*.

Автомат *А1* включает питание на все пускатели (*К1—К7*) главного напряжения. Он же производит отключение всех пускателей при срабатывании защиты любого из них.

Автомат *А2* включает силовой трансформатор *Тр*, используемый для понижения напряжения до 127 В, от которого питаются пускатели *К8—К10*, имеющие максимальную защиту с помощью первичных электромагнитных реле.

Помимо трансформатора *Тр*, в схеме предусмотрено еще два трансформатора, которые используются для питания цепей управления пускателей.

В станциях управления использованы пускатели *ПВИ* со всеми защитами.

Кроме электрооборудования, показанного на схеме, в станции размещается: четыре стабилизатора напряжения, электронное реле времени, километр для очередного измерения величины сопротивления изоляции отходящих фидеров, табло сигнализации о срабатывании защит, переключатель режимов работ. Перечисленное оборудование размещается в единой оболочке с необходимым количеством кабельных коробок. Оболочка имеет три отсека, закрытых быстрооткрываемыми крышками.

Все кабели (исключая вводной) соединяются с кабельными коробками с помощью штепсельных муфт.

Электрическая схема обеспечивает следующие виды управления: а) дистанционное с центрального пульта управления всеми электродвигателями комплекса, за исключением электродвигателя комбайна (управление им производится с поста управления комбайна); б) снятие напряжения со станции при помощи аварийной кнопки «Стоп» (*АКС*).

Для дистанционного управления трехфазными асинхронными электродвигателями вспомогательных механизмов с короткозамкнутыми роторами, установленными в электроприводе магистральных ленточных конвейеров 1Л-100 и 2ЛУ-120, выпускаются станции управления СУВ-1Л-100 и СУВ-2Л-120. Они предназначены для стационарной установки в капитальных выработках угольных и сланцевых шахт. Станции (рис. 19.15) состоят из

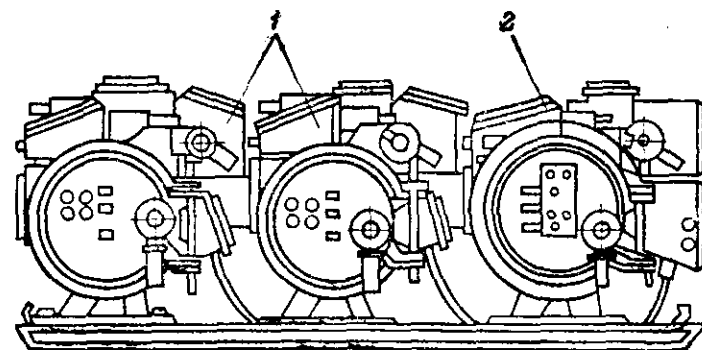


Рис. 19.15. Станция СУВ-1Л-100

Если последовательно с пускателем в сеть включены и другие защитные аппараты, разрывающие одновременно с пускателем цепь с током к. з., то

$$I_D \geq \frac{1,2 I_K^{(3)}}{n},$$

где n — число последовательно соединенных аппаратов с максимальной защитой.

19.10. Правила безопасности при монтаже и эксплуатации аппаратуры управления

Надежная и продолжительная работа аппаратуры управления обеспечивается выполнением определенных правил подготовки ее к спуску в шахту, транспортировки, монтажа и эксплуатации.

Перед спуском аппаратуры в шахту производится осмотр и проверка работоспособности ее.

При транспортировке необходимо следить, чтобы аппаратура не подвергалась ударам и сотрясениям, которые могут вызвать нарушение взрывозащищенности оборудования или механические повреждения элементов схемы.

При монтаже, прежде всего, необходимо выбрать место для установки, которое бы максимально соответствовало техническим условиям эксплуатации оборудования.

Перед подключением пускателя к сети следует: а) убедиться в отсутствии повреждений оболочки, рукояток, блокировок и т. п.; б) осмотреть элементы электрической схемы; в) подтянуть ослабевшие при транспортировке контактные и другие соединения; г) убедиться в правильности выбора пускателя по мощности и напряжению; д) произвести установку максимальных реле на выбранную уставку тока срабатывания или проверить соответствие плавких вставок предохранителей расчетным данным; е) установить переключатель режима работы в положение, соответствующее режиму управления пускателем; ж) переключить перемычки на блоке управления на соответствующее напряжение сети (если этого не было сделано на поверхности шахты).

При эксплуатации аппаратуры необходимо тщательно выполнять график планово-предупредительного ре-

монта. Работы по техническому обслуживанию электроустановок следует производить только после проверки исправности его заземления, при постоянном контроле переносными автоматическими приборами непрерывного действия концентрации метана в месте производства работ, при полном или частичном снятии напряжения, по письменному наряду энергетика шахты.

При содержании метана более 0,5% все работы по проверке, ревизии и палатке электрооборудования прекращаются.

Бригада, выполняющая работы по письменному наряду, состоит не менее чем из двух человек, имеющих соответственную квалификационную группу и сдавших экзамены на знание ПБ, ПУЭ, ПТЭ.

Глава 20

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ И СХЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ МАШИНАМИ И МЕХАНИЗМАМИ

20.1. Общие сведения

В зависимости от условий работы, технических требований и требований правил безопасности, для обеспечения производительной работы машин применяют три способа управления ими: местное, дистанционное и автоматическое.

Местное управление осуществляется в случаях, когда исполнительная машина и аппаратура управления ею находится рядом, а условия эксплуатации не требуют частых включений и отключений электропривода. При местном (непосредственном) управлении обычно применяется ручная пусковая и защитная аппаратура, иногда — магнитные пускатели, управление которыми производится с помощью встроенных кнопок.

К достоинствам местного управления относятся: простота устройства и обслуживания, невысокая стоимость аппаратуры управления; к недостаткам: необходимость постоянного присутствия обслуживающего персонала, невозможность осуществления многих необходимых видов защиты, необходимость размещения аппаратуры управления рядом с исполнительным механизмом, повышенная

опасность эксплуатации оборудования во взрывоопасных условиях.

Местное управление в подземных выработках применяют довольно редко.

Дистанционное управление — управление исполнительной машиной на расстоянии. Оно дает возможность: наиболее полно осуществлять необходимые защиты машины и обслуживающего персонала, располагать взрывоопасную аппаратуру управления и защиты в местах с наиболее благоприятными климатическими условиями, сосредоточить управление несколькими машинами в одном, наиболее удобном месте, повысить производительность труда и т. д. В связи с этим дистанционное управление нашло широкое применение в подземных условиях.

Под **автоматическим управлением** понимается такое управление, когда весь процесс выполнения работы электроприводом происходит без непосредственного участия человека.

20.2. Наиболее распространенные принципиальные схемы дистанционного управления горными машинами

В соответствии с требованиями ПБ схемы дистанционного управления горными машинами:

должны иметь:

1) минимальное количество проводов, по которым осуществляется управление;

2) следующие затраты: а) нулевую; б) минимальную; в) максимальную; г) температурную; д) от потери управления; е) от обрыва и ухудшения качества заземления передвижной машины; ж) от включения напряжения на участок электрической цепи с плохим качеством изоляции относительно земли;

3) напряжение в цепях управления не более 40 В;

4) искробезопасные цепи управления (для шахт, опасных по газу);

должны обеспечивать:

1) последовательность включения и отключения механизмов в соответствии с технологией работы их;

2) контроль за исправной работой механизмов, работающих в одной технологической линии;

3) возможность включения и отключения механизмов с необходимого количества мест;

4) автоматическое отключение напряжения в силовых линиях до размыкания силовых контактов штепсельных соединений при попытке разъединить их;

5) размыкание и замыкание силовых контактов в местах с наименьшим содержанием метана в рудничной атмосфере;

6) отсутствие рабочего напряжения в кабеле при отключении двигателя машины.

К схемам дистанционного управления специальных машин, помимо вышеперечисленных, предъявляются дополнительные требования, вытекающие из специфики их работы.

Правильный выбор аппаратуры управления обеспечивает выполнение многих требований ПБ к схемам дистанционного управления.

Выбор пускателей серий ПВИ, ПМВИ, ПВ-1140 и агрегатов АП, АБК или магнитных станций СУВ обеспечивает наличие в схемах всех необходимых защит (исключая температурную), нужного напряжения в цепях управления и искробезопасность их.

Остальные требования выполняются следующим образом:

1) температурная защита обеспечивается за счет размещения температурных реле в работающих электродвигателях и включения их размыкающих контактов в цепи управления пускателей;

2) определенная последовательность включения и отключения машин достигается за счет электрических блокировок между пускателями;

3) контроль за нормальной работой машин осуществляется путем включения в цепь управления пускателя контактов специальных реле, установленных на машине;

4) автоматическое отключение напряжения при размыкании штепсельных соединений достигается за счет конструкции контактных систем штепсельных муфт;

5) замыкание и размыкание силовых цепей в благоприятных условиях достигается за счет соответственного размещения аппаратуры;

6) остальные пункты требований выполняются за счет конструкций схем управления.

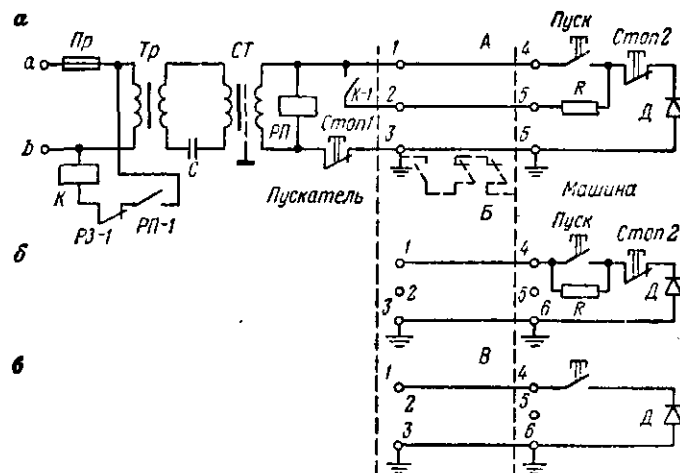


Рис. 20.1. Принципиальные схемы дистанционного управления:
а — трехпроводная; б — двухпроводная; в — двухпроводная без самофиксаций

Все схемы дистанционного управления базируются на двух принципиальных схемах управления контакторами: двухпроводной и трехпроводной.

На рис. 20.1 приведены цепи управления пускателями в рудничном исполнении.

На рис. 20.1, а приведена принципиальная схема дистанционного управления, которая требует наличия между пускателем и машиной шести токоведущих проводов: три для управления (на чертеже провода 1—4; 2—5; 3—6) и три для передачи энергии от пускателя к электродвигателю машины (на чертеже не показаны). Такая схема называется *трехпроводной*.

В схеме для управления используются искробезопасные цепи (все линии, отходящие от клемм 1, 2, 3). Контакты реле, обеспечивающие блокировку последовательности пуска машин, защиту от перегрева электродвигателя, защиту от работы машины при опасной концентрации метана в атмосфере и т. д., включаются в схему управления последовательно между контактами 3 и 6 (на рисунке показаны пунктиром). Контроль за наличием заземления осуществлен путем включения заземляющей жилы 3—6 как токоведущей в цепь управления.

Контроль за величиной сопротивления заземляющей жилы осуществляется катушкой РП, которая при большом сопротивлении цепи с диодом не сможет ни притянуть якорь, ни удержать его в притяннутом состоянии. Защита от потери управления выполняется путем размещения диода Д в конце цепи управления. Нулевая защита обеспечивается катушкой К и блок-контактом ее К-1. Минимальная защита обеспечивается применением резистора R, который ограничивает ток в катушке РП до величины, достаточной для удержания якоря в притяннутом состоянии только при напряжении на зажимах катушки $(0,6 \div 0,7) U_{ном}$ и выше.

Данная схема отвечает всем требованиям ПБ, поэтому широко используется в подземных условиях.

При подсоединении схемы А к фазам а и б первичные и вторичные обмотки трансформатора Тр, стабилизатора СТ и катушка РП будут обтекаться переменным током; все контакты останутся в положениях, изображенных на рисунке.

При нажатии кнопки «Пуск» ток от вторичной обмотки СТ в первый полупериод пройдет по цепи: СТ — «Стоп 1» — Д — «Стоп 2» — «Пуск» — СТ, во второй полупериод — по цепи: СТ — РП — СТ. Катушка РП обтечется постоянным током, замкнется контакт РП-1, катушка контактора К обтечется током по цепи: а — Пр — РП-1, РЗ-1 — К — б, включит силовые контакты (на рисунке не показаны), замкнет блок-контакт К-1. Теперь уже в первый полупериод ток от вторичной обмотки СТ будет проходить по двум параллельным цепям: СТ — «Стоп 1» — Д — «Стоп 2» — «Пуск» — СТ и СТ — «Стоп 1» — Д — «Стоп 2» — R — К-1 — СТ. Отпущенная кнопка «Пуск» размыкает первую цепь, а катушка РП продолжает получать питание по второй цепи и пускатель остается включенным. При нажатии на одну из кнопок «Стоп» разрывается цепь питания постоянным током катушки РП, контактор выключается и схема приходит в первоначальное положение.

На рис. 20.1, б показана *двухпроводная схема* дистанционного управления, где для управляющих цепей требуется только два проводника.

Эта схема отличается от предыдущей тем, что нулевая защита в ней осуществляется за счет применения резистора R, который подбирается такой величины, что

при номинальном напряжении в цепи управления $U_{ном}$ ток в цепи катушки РП недостаточен для ее срабатывания.

При замыкании контактов кнопки «Пуск» резистор R закорачивается (шунтируется), катушка РП обтекает достаточно большим током, срабатывает и замыкает свой контакт в цепи катушки K — контактор включается.

После размыкания контактов кнопки «Пуск» величина тока в катушке РП уменьшается (так как в цепь включился резистор R), но остается достаточной для удержания контакта РП-1 в замкнутом состоянии — контактор остается включенным.

Недостатком схемы является ненадежность нулевой защиты, так как при значительных колебаниях напряжения сети (свыше $1,5 U_{ном}$) возможно самовключение пускателя. Учитывая этот недостаток, двухпроводная схема дистанционного управления с самофиксацией в подземных условиях применяется реже трехпроводной.

На рис. 20.1 *а* приведена двухпроводная (без самофиксации) схема дистанционного управления, где включение контактора происходит только при нажатой кнопке «Пуск». При размыкании кнопки «Пуск» контактор выключается, так как размыкается цепь питания постоянным током катушки РП. Такая схема применяется для управления электросверлами, иногда для управления маневровыми лебедками.

20.3. Блокировка последовательности включения пускателей

При сборке схем дистанционного управления машинами иногда возникает необходимость обеспечить определенную последовательность их пуска. Для выполнения такой блокировки в пускателях предусмотрены специальные цепи, в которые последовательно включены замыкающий блок-контакт контактора, кнопка «Стоп» и диод. Эти цепи выведены на клеммы коробок пускателей, имеющих следующую заводскую маркировку: в пускателях ПМВИ-13М и ПМВИ-23М — 5, 6 в пускателе ПМВИ-61 — 8, земля; в пускателях ПВИ — 6, 7.

Блокировка достигается тем, что в цепь управления пускателя, который должен включаться вторым, включается блокирующая цепочка пускателя, который включается первым.

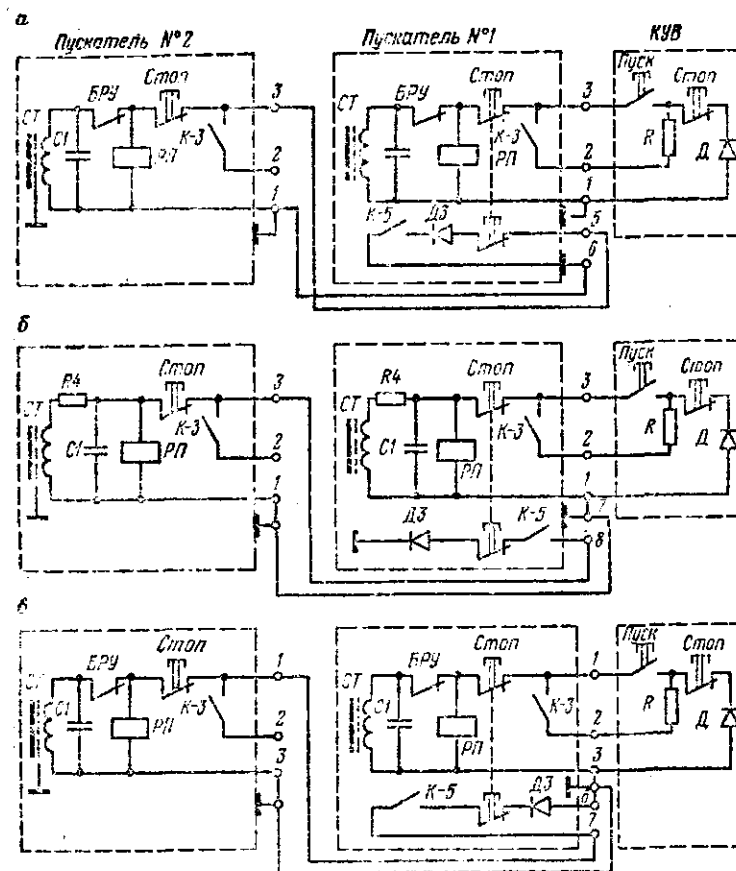


Рис. 20.2. Схемы блокировки последовательности включения двух пускателей:

а — пускателей ПМВИ-13М и ПМВИ-23М; *б* — пускателей ПМВИ-61; *в* — пускателей серии ПВИ

Схемы блокировки двух пускателей целесообразно собирать так, как показано на рис. 20.2.

Контакты $K-5$ пускателей № 1 выполняют роль кнопок «Пуск» для пускателей № 2. Недостатком таких схем является одновременный запуск двигателей, включаемых пускателями № 1 и 2.

При необходимости раздельного включения двигате-

лей в цепь управления пускателя № 2, собранную по схеме, приведенной на рис. 20.1, а, между клеммами 3 и 6 включают блокирующую цепочку пускателя № 1 без диода.

20.4. Схемы управления конвейерными установками

Конвейерная доставка угля на предприятиях угольной промышленности получает все более широкое распространение. На эксплуатационных участках шахт зачастую последовательно работают два-три конвейера. При небольшой длине конвейерных линий и небольшом количестве конвейеров для управления ими экономически выгодно применять рудничные пускатели в сочетании с необходимыми реле.

Схемы управления конвейерными линиями, помимо соответствия общим требованиям ПБ к схемам дистанционного управления, должны обеспечивать: автоматический запуск конвейеров в последовательности против движения груза; запуск последующего конвейера только после достижения номинальных режимов работы предыдущим конвейером; автоматический контроль за исправной работой конвейерной линии; подачу звукового сигнала перед пуском линии.

Для осуществления этих требований используют следующее оборудование: пускатели ПВИ или ПМВИ; реле РСА, АУМ-1А или РС-67, которые обеспечивают контроль скорости движения подвижного органа конвейера (замыкающие контакты их замыкаются только тогда, когда скорость движения ленты или скребковой цепи достигает номинального значения); сигнальная установка, комплектуемая пусковым агрегатом АП-3,5М и сиренами ВСС-3.

Управление несколькими конвейерами сосредотачивают на погрузочном пункте и осуществляют одним кнопочным постом БУВ, который подсоединяют по трехпроводной схеме к первому пускателю; в цепь управления последовательно с кнопкой «Стоп» включают замыкающий контакт УС-1 сигнальной установки. Такое включение обеспечивает пуск первого пускателя только после подачи сигнала, т. е. после замыкания контакта УС-1 (рис. 20.3).

В цепь управления следующего пускателя № 2 включается кнопка «Стоп» с фиксацией, дающая возможность

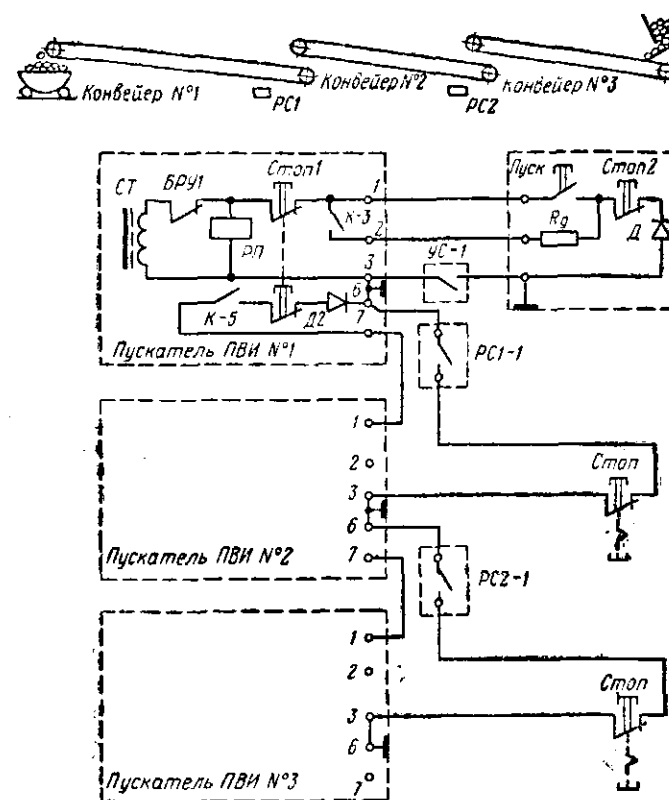


Рис. 20.3. Принципиальная схема дистанционного управления несколькими конвейерами

при необходимости остановить конвейер № 2, контакт реле скорости РС1-1 и блокирующая цепочка пускателя № 1. Аналогично подсоединяют цепи управления и последующих пускателей.

При нажатии кнопки «Пуск» (после подачи сигнала) включается двигатель первого конвейера. Блок-контакт К-5 первого пускателя замкнется и подготовит для включения цепь управления второго пускателя, но он включится только тогда, когда будет замкнута кнопка «Стоп» и реле скорости, установленное на первом конвейере, замкнет свой контакт РС1-1. Это произойдет при

достижении первым конвейером номинальной скорости движения несущего органа.

Таким же образом включатся и последующие пускатели конвейеров.

Для остановки всех конвейеров нужно выключить пускатель первого конвейера нажатием кнопки «Стоп»; для остановки конвейера № 2 или № 3 служат аварийные кнопки «Стоп».

В случае повреждения подвижных элементов предыдущего конвейера (ленты, скребковой цепи) реле скорости РС размыкает контакты цепи управления последующего конвейера, что приводит к выключению пускателя и предупреждает подачу груза на неисправный конвейер.

Эта простая схема вполне работоспособна и довольно часто применяется на практике.

20.5. Схемы дистанционного управления добычными комбайнами на шахтах, разрабатывающих пологие и крутые пласты

Для механизации добычи угля на пологих и крутых пластах применяются различные типы комбайнов в комплексе с другими забойными машинами. Поэтому электрическая схема управления добычным комбайном объединяет управление комплексом машин. На пологих пластах — это добычной комбайн, лавный конвейер, двигатель насоса оросительной установки, сигнальная установка. На крутых пластах — добычной комбайн, кабелеукладчик, лебедка, сигнальная и оросительная установка.

К схемам управления добычными машинами на пологих пластах, помимо общих требований ПБ, предъявляются дополнительные требования:

- 1) дистанционное управление магнитными пускателями комбайна и конвейера;
- 2) автоматическую подачу предупредительного сигнала продолжительностью 4—6 с перед включением комбайна и конвейера;
- 3) автоматическое включение пускателя насосной установки орошения при пуске комбайна и конвейера;
- 4) дистанционное отключение автоматического выключателя с пульта управления комбайном;

5) блокировку пускателей комбайна, конвейера, оросительной установки;

6) отключение комбайна и конвейера с помощью кнопки «Стоп» (с фиксацией положения), расположенной вблизи режущего органа комбайна;

7) отключение конвейера при повреждении или неисправности подвижной части его;

8) управление конвейером с кнопочного поста, установленного у приводной головки его.

Электрические схемы для управления добычными машинами на крутых пластах должны дополнительно к основным требованиям обеспечить:

- 1) телефонную связь машиниста с лебедчиком;
- 2) дистанционное управление пускателями электродвигателей комбайна, лебедки, насоса орошения, кабелеукладчика;
- 3) электрическую блокировку между пускателями комбайна, лебедки, кабелеукладчика и насоса орошения;
- 4) дистанционное аварийное отключение автоматического выключателя с пульта управления комбайном;
- 5) невозможность включения пускателя комбайна при зафиксированной кнопке «Стоп — аварийная» (находится на пульте управления комбайном);
- 6) возможность самостоятельного включения пускателя электродвигателя лебедки для осуществления маневровых работ;
- 7) подачу сигнала перед включением лебедки.

На крутых пластах нашли применение комбайны «Темп», «Комсомолец» и др.

Они комплектуются следующей электроаппаратурой:

- а) на вентиляционном штреке располагается распределительный пункт, куда входят: автоматический фидерный выключатель АФВД-2БК или АВ, пускатели комбайна, кабелеукладчика, насоса орошения типов ПВИ или ПМВИ, пускатель лебедки ПМВИР, АП-3, 5М;
- б) на штреке у насоса располагается электромагнитный клапан ВЭГ-3Д, который замыкает свои контакты при наличии давления в системе орошения; у лавы располагается сирена ВСС-3;
- в) у лебедки находится пульт управления лебедкой, аварийная кнопка «Стоп» для снятия напряжения со всего участка;

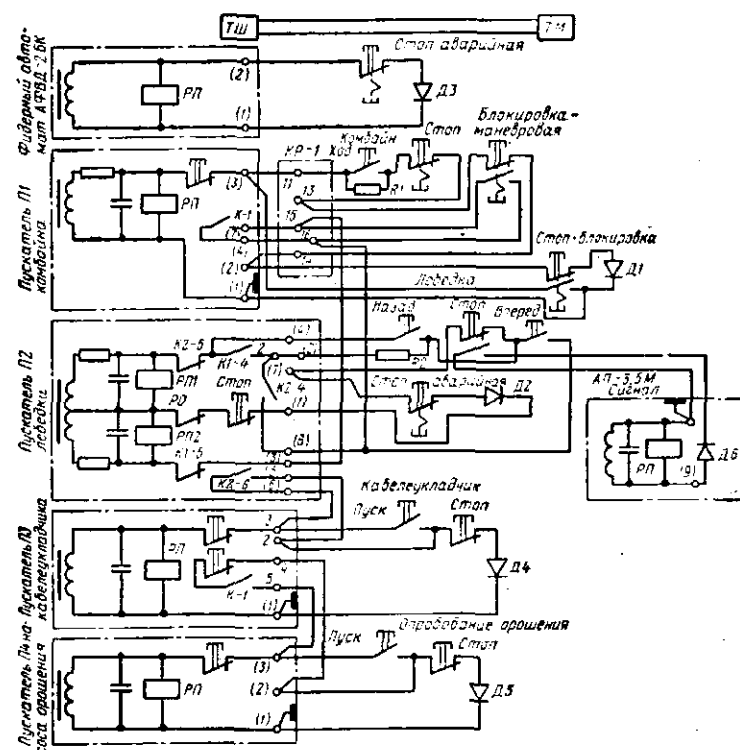


Рис. 20.4. Принципиальная электрическая схема дистанционного управления комплексом машин при выемке угля комбайном «Темп»

г) непосредственно на комбайне расположены две кнопки — «Стоп-блокировка» и «Блокировка-маневровая»;

д) управление комплексом ведется с переносного пульта ПУС1-6, на котором имеются необходимые кнопки управления комбайном и лебедкой;

е) для опробования работы насоса орошения и кабелеукладчика у каждого из них имеются индивидуальные кнопочные посты управления пускателем;

ж) для связи на комбайне и лебедке имеется телефон ТА-КП.

При чтении схемы рис. 20.4 необходимо знать, что:

а) включение лебедки «Вперед» возможно либо при

включении в работу комбайна (блокировка осуществляется блок-контактом $K-1$ пускателя $П1$), либо после нажатия кнопки «Блокировка-маневровая» (тогда $K-1$ шунтируется кнопкой);

б) включение пускателя кабелеукладчика происходит автоматически при включении пускателя $П2$ лебедки в направлении «Вперед» (цепь управления пускателем $П3$ замыкается контактом $K2-6$);

в) автоматически включается и пускатель $П4$ насоса орошения при включении пускателя $П3$ кабелеукладчика (цепь управления пускателем $П4$ замыкается контактом $K-1$ пускателя $П3$);

г) между сигналом и схемой управления отсутствует блокирующая связь, поэтому обусловлено, что перед пуском комбайна машинист нажимает на 4—6 с кнопку «Стоп» лебедки, чем включает АП-3,5М и сигнал.

Цепи управления пускателей работают следующим образом:

а) вручную включаются разъединители всех пускателей и автоматического выключателя — напряжение подано;

б) нажав на кнопку «Стоп» лебедки, через диод $Д6$ шунтируют промежуточное реле пускового агрегата АП-3,5М на один полупериод, в результате пускатель агрегата включается и подает напряжение (127 В) на сирену ВСС-3 — звучит предупредительный сигнал;

в) нажав на кнопку «Ход» комбайна, через диод $Д1$ шунтируют промежуточное реле $РП$ пускателя $П1$ на один полупериод — катушка $РП$ обтекается током и замыкает свои контакты в цепи катушки контактора K — пускатель включается;

г) нажав на кнопку «Вперед», замыкают цепь промежуточного реле $РП2$ пускателя $П2$. При этом ток пройдет по цепи: зажим 3 пускателя $П2$ — зажим 15 коробки $КР-1$ — блок-контакт $K-1$ пускателя $П1$ — зажим 16 — кнопки «Вперед», «Стоп», «Стоп-аварийная» — диод $Д2$ — зажим 1 пускателя $П2$; катушка реле $РП2$ обтечется постоянным током, сработает и включит контактор $K2$ пускателя $П2$ — лебедка начнет работать. После отпущения кнопки «Вперед» цепь останется замкнутой, так как кнопка шунтируется блок-контактом $K2-4$ и сопротивлением $R2$;

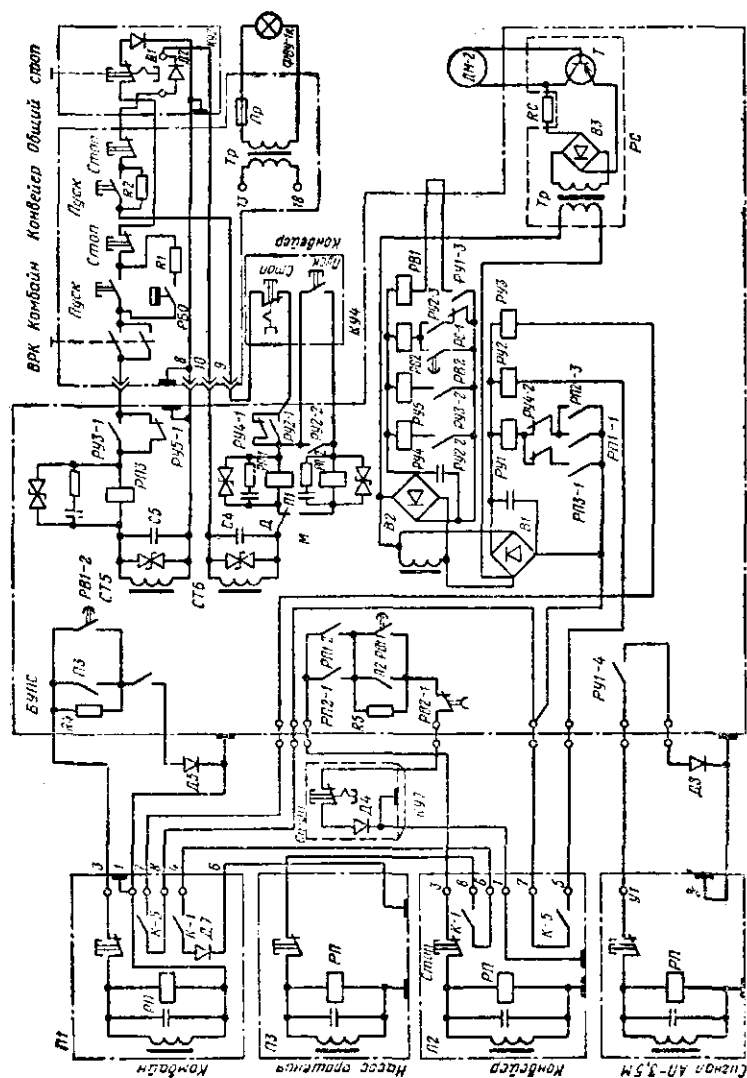


Рис. 20.5. Принципиальная электрическая схема дистанционного управления комплексом машин при выемке угля комбайном флангового типа (2К-52 и др.)

д) цепь управления пускателя *П3* (кабелеукладчик) включается замыкающим контактом *К2-6* пускателя *П2* (при включении лебедки «Вперед») — кабелеукладчик начинает работать;

е) цепь управления *П4* (насос орошения) включается замыкающим контактом *К-1* пускателя *П3* — насос начинает работать.

На пологих пластах применяются различные типы добычных комбайнов. Все шире применяется работа комбайнов с механизированными крепями. Для управления ими применяются магнитные станции СУВ-350, электрические схемы которых рассматривались в предыдущей главе.

Наряду с комплексами широко практикуется работа фланговых добычных комбайнов 2К-52, 1К-101 и других с индивидуальной крепью. В схемах управления такими комбайнами используются отдельные пускатели и дополнительные блоки аппаратуры управления, предупредительной сигнализации и громкоговорящей связи БУПС и СГС. Для примера рассмотрим принципиальную схему дистанционного управления комбайном 2К-52 (рис. 20.5).

Схема объединяет управление комбайном, конвейером, оросительной установкой и сигнальным устройством, состоящим из пускового агрегата АП-3,5М и сирен ВСС-3. Для контроля за исправной работой конвейера используется реле *РС* с датчиком *ДМ-2*.

Электрооборудование в лаге расположено в нижеперечисленных местах. Непосредственно на комбайне находится штепсельная вводная муфта, электродвигатель, пульт управления с кнопками «Пуск» и «Стоп» для электродвигателя комбайна и кнопками «Пуск» и «Стоп» для электродвигателя конвейера, кнопка «Стоп» для общего отключения, фара типа ФВУ-1к, трансформатор освещения ТБС-2-0,05, аварийный выключатель ВРК-20, реле давления *РБО* типа РКД-1.

У приводной головки конвейера смонтированы: электродвигатель конвейера, кнопочный пост (КУ-4 на рис. 20.5), датчик *ДМ-2*, вдоль става — сирены ВСС-3.

На распределительном пункте находятся пускатели *П1*, *П2*, *П3*, АП-3,5М, аппарат БУПС и станция СГС (на

рисунке не показана). На насосе орошения находится электродвигатель, электромагнитный клапан типа ВЭГ-3Д, который питается от осветительной обмотки трансформатора пускателя двигателя насоса.

Сирены ВСС-3 питаются напряжением 127 В от одного из пускателей агрегата АП-3,5М.

Особенностью электрической схемы является следующее:

а) аппарат БУПС кроме рукоятки разъединителя имеет рукоятку переключения способа управления конвейером *П1*, которая имеет два положения: *Д* — управление конвейером с пульта комбайна и *М* — управление конвейером с кнопочного поста *КУ-4* (кнопка «Стоп» этого поста в обоих случаях остается включенной в цепь управления);

б) в схеме предусмотрена: подача сигнала длительностью 4—6 с перед пуском конвейера, комбайна как при раздельном, так и при совместном пуске;

в) возможность пуска комбайна без включения конвейера и орошения, при этом комбайн будет работать до тех пор, пока нажата кнопка «Пуск»;

г) возможность остановки одного комбайна (нажатием кнопки «Стоп» комбайна или поворотом рукоятки ВРК-20), остановки всех машин лавы (нажатием кнопки «Общий стоп» (*КУ2*) или «Стоп» конвейера на пульте комбайна, на головке конвейера (*КУ7*, *КУ4*);

д) аппарат БУПС обеспечивает определенную очередность пуска машин лавы (сигнал, запуск конвейера, комбайна, насоса орошения);

е) система блокировок обеспечивает: остановку комбайна при отсутствии давления воды в оросительной установке или выключении конвейера; остановку всех машин при неисправностях в подвижной части конвейера.

Последовательность срабатывания аппаратов, с учетом вышеуказанных блокировок, в схеме следующая (табл. 20.1):

1) при включении разъединителей пускателей аппарата подготавливается к работе;

2) определяется характер управления путем установки переключателя *П1* (на рис. 20.5 *П1* установлена в положении *Д* — дистанционное управление конвейером с пульта комбайна).

Таблица 20.1

№ п/п	Положение контактов (см. рис. 20.5)	Последовательность прохождения тока по вновь образованным цепям	Результаты прохождения тока
1	Нажимается кнопка «Пуск» конвейера (на пульте комбайна)	<i>СТ6 — П1 — РП1 — РУ4-1 — «Стоп» — «Пуск» — «Стоп» — Д2 — СТ6</i>	Катушка <i>РП1</i> аппарата БУПС обтекается током
2	Замкнулся контакт <i>РП1-1</i> в цепи катушки <i>РУ1</i> аппарата БУПС	<i>В1 — РУ1 — РУ4-2 — РП1-1 — В1</i>	Катушка <i>РУ1</i> обтекается током
3	Замкнулся контакт <i>РУ1-4</i> в цепи <i>РП</i> агрегата АП-3,5М	Катушка <i>РП</i> обтекается выпрямленным током по цепи: трансформатор — <i>РП</i> — трансформатор	Включился контактор АП-3,5М, получили питание сирены ВСС-3 — подается сигнал
4	Замкнулся контакт <i>РУ1-3</i> в цепи реле <i>РВ1</i>	<i>В2 — РВ1 — РУ1-3 — В2</i>	Реле <i>РВ1</i> через 4—6 с замкнет свои контакты
5	Замкнулся контакт <i>РВ1-2</i> в цепи пускателя <i>П1</i>	—	Цепи управления пускателя <i>П1</i> подготовлены для включения
6	Замкнулся контакт <i>РВ1-1</i> в цепи пускателя <i>П2</i>	Так как контакты <i>РП1-2</i> уже замкнуты, а <i>РВ2-1</i> еще не разомкнулись, в один полупериод ток пройдет по цепи: трансформатор — «Стоп» — <i>РП1-2 — РВ1-1 — РВ2-1 — «Стоп» — Д4</i> — корпус — трансформатор; во второй полупериод — ток обтечет катушку <i>РП</i> по цепи: трансформатор — <i>РП</i> — трансформатор	Катушка <i>РП</i> пускателя <i>П2</i> обтекается током, контактор включается, конвейер начинает работать
7	Датчик <i>ДМ-2</i> , установленный на конвейере, генерирует напряжение, открывается транзистор <i>Т</i> реле скорости <i>РС</i>	<i>В3 — Т — РС — В3</i>	Реле срабатывает и размыкает контакт <i>РС-1</i> в цепи реле <i>РВ2</i>

Продолжение табл. 20.1

№ п/п	Положение контактов (см. рис. 20.5)	Последовательность прохождения тока по вновь образованным цепям	Результаты прохождения тока
8	Замкнулся контакт К-5 в пускателе П2	$B1 \rightarrow PY2 \rightarrow K-5 \rightarrow B1$	Катушка $PY2$ обтекается током, контакты ее меняют положение
9	Замкнулся контакт К-1 в пускателе П2	—	Подготовлена цепь для включения катушки $PP1$ в пускателе П3
10	Замкнулся контакт $PY2-1$ в цепи катушки $PP1$ аппарата БУПС	—	Питание катушки $PP1$ осуществляется через два параллельных контакта $PY2-1$ и $PY4-1$
11	Замкнулся контакт $PY2-2$ в цепи катушки $PY4$	$B2 \rightarrow PY4 \rightarrow PY2-2 \rightarrow B2$	По катушке $PY4$ пройдет ток, положение ее контактов изменится
12	Замкнулся контакт $PY2-3$ в цепи катушки $PB2$	—	Катушка $PB2$ не обтекается током, так как контакт $PC1$ разомкнут (см. п. 7)
13	Разомкнулся с выдержкой времени контакт $PY4-1$ в цепи $PP1$ аппарата БУПС	Ток проходит как и в цепи № 1, но вместо контакта $PY4-1$ работает контакт $PY2-1$	Катушка $PP1$ аппарата БУПС остается включенной
14	Разомкнулся контакт $PY4-2$ в цепи катушки $PY1$	—	Реле $PY1$ отключится
15	Разомкнулись контакты $PY1-3$, $PY1-4$	—	Выключился АП-3,5М; отключились sireны ВССЗ; отключается $PB1$
16	Разомкнулись контакты $PB-1$ и $PB1-2$	В пускателе П2 ток будет идти по цепочке 6, но через сопротивление $R5$	Контактор пускателя П2 остается включенным

При включении комбайна цепи управления будут работать аналогично через реле $PP3$, кроме того, при включении пускателя П1 одновременно включится пускатель П3 насоса орошения;

если в магистрали будет достаточное давление воды, контакт PBO в цепи управления комбайна замкнется и кнопка «Пуск» комбайна будет зашунтирована. Если же в магистрали орошения давление будет недостаточное, контакт PBO в цепи управления комбайна не замкнется. В данном случае пускатель П1 будет включен только тогда, когда будет нажата кнопка «Пуск» комбайна.

Реле времени $PB2$ регулируется на время полного пуска конвейера, поэтому при нормальном запуске конвейера реле скорости PC сработает и разомкнет контакт $PC-1$ до момента замыкания контакта $PB2-3$, и реле $PB2$ выключится. Если же запуск затянется по любой причине, реле $PB2$ контактом $PB2-3$ самоблокируется и выключает контакт $PB2-1$ в цепи управления пускателя П2 — конвейер выключается и заново его можно будет включить только после выключения разъединителя БУПС.

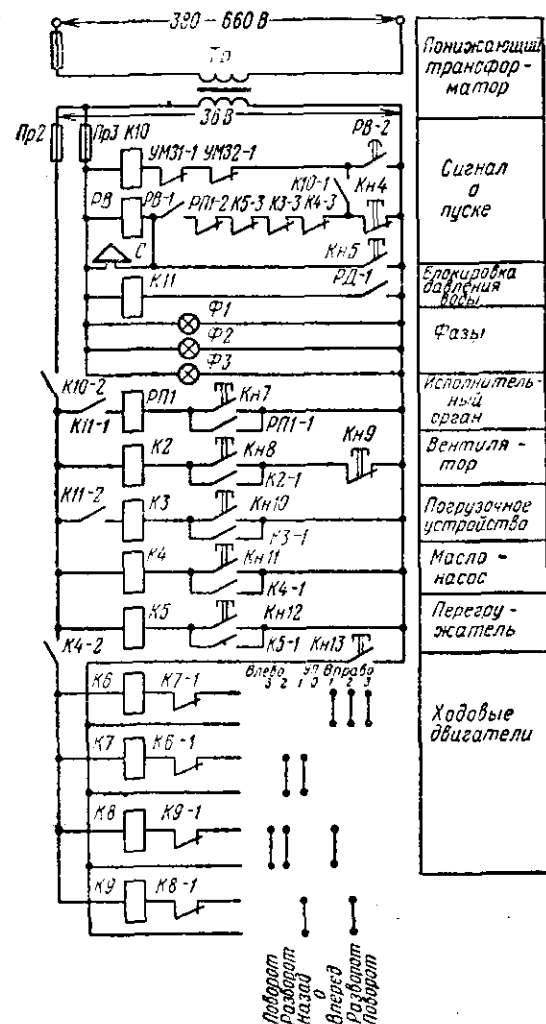
20.6. Схемы управления проходческими комбайнами

В угольной промышленности наибольшее применение нашли серийно выпускаемые комбайны избирательного действия со стреловым исполнительным органом 4ПУ, ПК-3М, ПК-9р.

Электрическая часть комбайнов комплектуется из серийно выпускаемого электрооборудования в рудничном взрывобезопасном исполнении с искробезопасными цепями управления.

Для подачи напряжения на комбайн используются пускатели ПВИ или ПМВИ, которые располагаются на распределительных щитках (лавы), а управляются с помощью кнопочного поста, монтируемого на пульте управления комбайна.

Пусковая и защитная аппаратура, предназначенная для управления отдельными электродвигателями комбайна, располагается во взрывобезопасном корпусе непосредственно на комбайне и называется станцией управления комбайном.



Схемы управления собираются таким образом, чтобы выполнить требования ПБ и ПТЭ к схемам и обеспечить пуск электродвигателей в соответствии с требованиями правил эксплуатации конкретной машины.

Наиболее типичной схемой управления является схема комбайна ПК-9р, которая и будет рассмотрена ниже.

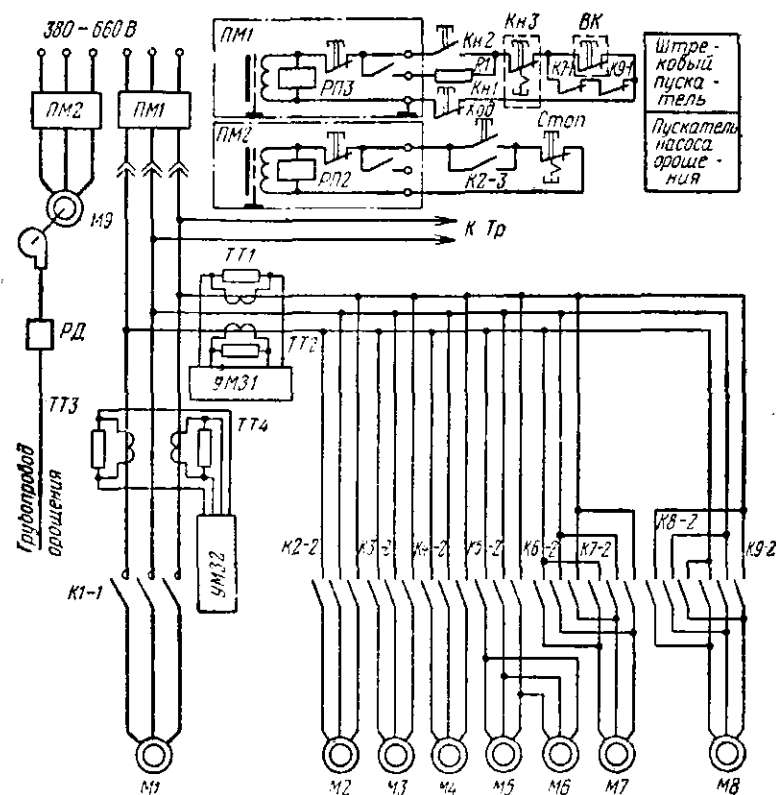


Рис. 20.6. Принципиальная электрическая схема дистанционного управления проходческим комбайном ПК-9р

Электрооборудование комбайна ПК-9р (рис. 20.6) состоит из:

1) девяти асинхронных короткозамкнутых двигателей различной мощности: М1 — для привода исполнительного органа; М2 — для привода вентилятора; М3 — для привода погрузочного устройства; М4 — для привода маслонасоса; М5, М6 — для привода перегружателей; М7, М8 — для привода гусениц передвижения; М9 — для привода насоса орошения.

Электродвигатели М6 и М9 расположены отдельно от комбайна, при этом двигатель М6 питается от того

же пускателя, что и двигатель *M5*, а двигатель *M9* имеет свой пускатель, который включается только после включения пускателя *K2* вентилятора;

2) двух отдельно стоящих пускателей типа ПВИ или ПМВИ (один *ПМ1* — для включения напряжения на машину, другой *ПМ2* — для включения двигателя насоса орошения);

3) 11 контакторов *K1* — *K11*, смонтированных внутри станции управления; контактор *K1* (*КТУ-4А*), служащий для управления электродвигателем исполнительного органа, имеет индивидуальную максимальную защиту *УМЗ2* и управляется через промежуточное реле *РП1*; остальные контакторы типа *КМ* и *ПА* служат для управления различными двигателями;

4) в цепях управления используется напряжение 36 В, которое получают от трансформатора *Тр*, смонтированного в станции управления.

Для управления комбайном, помимо рукояток управления гидросистемой и кнопочного поста включения и отключения магистрального пускателя *ПМ1*, расположено: 6 кнопок пуска отдельных двигателей (*КП5*, *КН7*, *КН8*, *КН10*, *КН11*, *КН12*), универсальный переключатель *УП* для управления двигателями гусениц, три кнопки «Стоп» (*Кн3*, *Кн4*, *Кн9*) и кнопка «Стоп штрекового пускателя» *Кн1*, которой можно выключить все двигатели комбайна.

На перегружателе расположен концевой выключатель *ВК*, который служит для ограничения хода мостового перегружателя относительно прицепного при движении комбайна назад. После срабатывания *ВК* возможно включение комбайна для движения только вперед.

Контакторы *6К*, *8К* включают двигатели гусеничного хода для движения комбайна вперед, а контакторы *7К* и *9К* — назад.

Порядок работы схемы следующий. После включения разъединителей пускателей *ПМ1* и *ПМ2* при нажатии на кнопку *Кн2* включается штрековый пускатель, получает питание трансформатор *Тр*, загораются фары освещения *Ф1*, *Ф2*, *Ф3* на комбайне, цепи управления остальных потребителей не получают питание, так как контакт *K10-2* разомкнут.

При нажатии на кнопку *Кн5* подается питание на сирену *С* (сирена гудит) и реле времени *РВ*. Реле *РВ* за-

мыкает контакты *РВ-1*, обеспечивая работу себе и сирены независимо от положения кнопки *Кн5*.

Через некоторое время (5—6 с) замыкается контакт *РВ-2* — срабатывает контактор *K10*, который, замкнув контакт *K10-1*, обеспечивает себе питание через *Кн4* независимо от положения контакта *РВ-2*.

Замкнувшийся контакт *K10-2* подает питание на все остальные контакторы. Если даже не включать пускатели двигателей *M1* — *M5*, то сирена будет работать, косвенным образом напоминая машинисту о необходимости включения в работу рабочих органов комбайна. Однако пускатели двигателей *M1*, *M3* включить невозможно, так как контактор *K11* не обтекается током потому, что контакт *РД-1* реле давления не замкнут (насос орошения еще не работает). Следовательно, надо произвести пуск вентилятора *M2*, что делается нажатием на кнопку *Кн8*. Контактор *K2* срабатывает, шунтирует кнопку *Кн8* контактом *K2-1*, включает двигатель вентилятора контактами *K2-2* и контактом *K2-3* — электродвигатель насоса орошения *M9*.

Когда в трубопроводе орошения будет достаточное давление и расход воды, реле *РД* замкнет контакт *РД-1*, контактор *K11* включится, замкнет контакты *K11-1* и *K11-2*, подготовив цепи управления контакторов *K1*, *K3* к включению.

Нажимая кнопки *КН7*, *КН10*, *КН11*, включают контакторы исполнительного органа, погрузочного устройства, маслососа. Сирена прекращает работу, так как размыкаются контакты *РП1-2*, *К5-3*, *К3-3*, *К4-3*.

Поворачивая переключатель *УП* в нужное положение, кнопкой *Кн13* замыкают цепи контакторов соответствующих двигателей и производят пуск двигателей гусеничного хода. Комбайн начинает производительную работу.

Отключается комбайн кнопками *Кн4* и *Кн1* на станции управления и кнопкой *Кн3* на конце перегружателя.

Двигатели исполнительного органа, погрузочного устройства, вентилятора, насоса орошения отключаются кнопкой *Кн9*.

Двигатели гусеничного хода отключаются переключателем *УП* (нейтральное положение).

20.7. Схемы дистанционного управления погрузочными машинами

Для погрузки пород в подземных условиях используются погрузочные машины различных моделей. Наиболее совершенной и производительной машиной является ПНБ-3Д, которая имеет загребаяющие лапы на погрузочном устройстве, конвейер и гусеничный ход.

Питание электроэнергией ПНБ-3Д осуществляется через штрековый пускатель ПВИ или ПМВИ, который монтируется на распределителе, а управление — с пульта управления погрузочной машины (ПМ на рис. 20.7).

На погрузочной машине смонтировано следующее электрооборудование:

1) семь асинхронных короткозамкнутых двигателей для привода погрузочного органа — $M1$, $M2$, привода маслососа — $M5$, привода конвейера — $M3$, $M4$, привода гусениц — $M6$, $M7$;

2) электромагнитные тормоза $T1$ и $T2$ гусениц;

3) фары $\Phi1$, $\Phi2$, $\Phi3$ для освещения;

4) сирена CC для подачи сигналов;

5) станция управления с десятью контакторами типа ПА или ПМЕ, заключенная во взрывобезопасную оболочку;

6) пульт управления, где размещается: двухкнопочный пост управления магистральным штрековым пускателем ПМ $KП1$, $KС1$; кнопки включения сигнала $KП2$, погрузочного органа $KП3$, конвейера $KП4$ и $KП5$, маслососа $KП6$; кнопки включения ходовой части $КН1$ и $КН2$ (назад) и $КВ1$, $КВ2$ (вперед). Кнопки ходовой части связаны с рычагами управления и включаются ими.

Кнопки $KС$ служат для отключения соответствующих потребителей. Двигатели гусеничного хода имеют тепловую защиту, контакты которой включены в цепи управления промежуточных реле $РП1$ и $РП2$, контакты $РП1-1$ и $РП2-1$ включены в цепи управления контакторов, $РП1-2$ и $РП2-2$ — в цепь управления электромагнитным тормозом.

Схема работает следующим образом. Перед началом работы включают разъединитель пускателя ПМ, дальнейшие операции по управлению машиной производят с ее пульта управления. Для подачи напряжения на машину нажимают кнопку «Пуск общий» ($KП1$), при этом

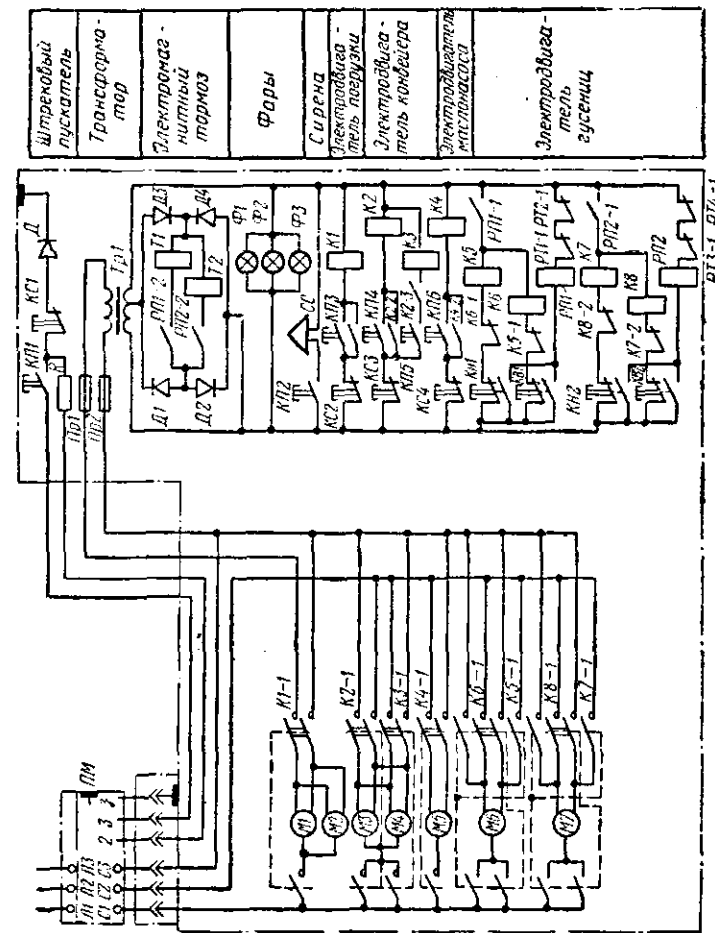


Рис. 20.7. Принципиальная электрическая схема дистанционного управления погрузочной машиной ПНБ

включается контактор штрекового пускателя по обычной трехпроводной схеме дистанционного управления пускателем; на машине появляется рабочее напряжение, о чем свидетельствует загорание фар $\Phi 1$, $\Phi 2$, $\Phi 3$.

Горение фар подтверждает наличие напряжения 36 В в цепях управления станции, так как фары питаются от вторичной обмотки трансформатора $Tr1$.

Так как в схеме управления ни одна катушка контакторов не обтекается током, электродвигатели не работают.

Нажав на 5—6 с кнопку $KП2$, подают напряжение на сирену $СС$ — звучит предупредительный сигнал. Нажимая кнопки $KП$, можно включить конвейер, погрузочный орган, маслонасос; включение гусениц для движения в любом направлении возможно только при взведенных тепловых реле.

При включении рычагов управления ходовой частью в положение «Назад» нажимаются кнопки $KB1$ и $KB2$; при взведенных тепловых реле обоих двигателей контакты PT (по два на каждый двигатель) будут замкнуты, ток от вторичной обмотки трансформатора $Tr1$ пройдет по цепям: $Tr1 — KB1 — РП1 — PT1-1$, $PT2-1 — Tr1$ и $Tr1 — KB2 — РП2 — PT3-1 — PT4-1 — Tr1$. Катушки $РП1$ и $РП2$ обтекутся током, замкнут контакты $РП1-1$ и $РП2-2$, в результате обтекутся током катушки контакторов $K5$ и $K7$, включают силовые контакты $K5-1$ и $K7-1$, двигатели начнут работать, электромагниты $T1$ и $T2$ растормозят гусеницы и комбайн двинется назад.

Аналогично образуются цепи и при включении переднего хода, а также поворотов и разворотов. Выключение гусениц происходит при постановке рычага управления гусеницами в нейтральное положение, так как при этом размыкаются цепи реле $РП1$, $РП2$, а они размыкают цепи управления катушек контакторов.

В других погрузочных машинах схемы управления строятся аналогичным образом с выполнением требований ПБ и ПТЭ.

20.8. Схемы управления маневровыми лебедками и ручными электросверлами

На угольных шахтах получили широкое распространение лебедки ЛВД для механизации подкатки вагонов под погрузочные люки.

Для дистанционного управления ими используют реверсивные пускатели ПМВИР или ПВИР, управление которыми собирается по двухпроводной схеме без самоблокировки.

Для питания ручных электросверл электроэнергией напряжением 127 В используют пусковые агрегаты АП-3,5М, АП-4, АБК-4, АБК-2,5. Цепи управления ими собираются по двухпроводной схеме, без самоблокировки.

20.9. Схемы управления вентиляторами местного проветривания

Учитывая особую роль вентиляторов местного проветривания в создании благоприятной рудничной атмосферы в глухих выработках, наряду с выполнением общих требований, к схемам дистанционного управления электроприводом вентиляторов местного проветривания предъявляются дополнительные требования:

1) для обеспечения непрерывной работы вентилятора местного проветривания магнитный пускатель ВМП должен подключаться к вводу общего автоматического выключателя распределительного пункта участка с помощью отдельного автоматического выключателя;

2) в схеме электроснабжения тупиковой выработки должно предусматриваться дистанционное управление групповым аппаратом с помощью кнопочного поста, расположенного у забоя или у распределительного пункта тупиковой выработки; групповой пускатель, предназначенный для включения напряжения на распределительный пункт тупиковой выработки, должен включаться только при условии полноценной, производительной работы ВМП.

Для выполнения этих требований в качестве пускателя ВМП необходимо применять пускатели ПВИ или ПМВИ с управлением встроенными или выносными кнопками, а в конце трубопровода, на расстоянии 10—15 м от забоя, устанавливать датчик расхода воздуха АКВ-2П с включением его контактов в цепь управления группового аппарата. Замыкающий контакт аппарата АКВ-2П включается в цепь управления группового пускателя последовательно с кнопкой «Стоп».

**РУДНИЧНАЯ АППАРАТУРА УПРАВЛЕНИЯ И ЗАЩИТЫ
НА НАПРЯЖЕНИЕ 6 кВ**

21.1. Общие сведения

Для распределения электрической энергии напряжением 6 кВ, защиты сетей от ненормальных режимов работы и управления подземными электроприемниками угольных шахт предназначены комплектные распределительные устройства (КРУ). Они изготавливаются с ручным и дистанционным управлением, с уровнем взрывозащиты РП и РВ.

На угольных шахтах довольно широко распространены ранее выпускавшиеся КРУ с ручным управлением типа УРВМ-6/3 и с дистанционным управлением типа РВД-6, которые имеют исполнение РП. Они постепенно заменяются более совершенными КРУ в рудничном взрывобезопасном исполнении с дистанционным управлением типа ЯВ-6400 и КРУВ-6.

В связи с тем, что в распределительных устройствах КРУ выполняют различные функции, они выпускаются в трех вариантах: *вводные КРУ* — предназначены для подключения кабеля ввода к распределительному устройству и защиты его от токов к. з.; *секционные КРУ* — предназначены для секционирования распределительного устройства, состоящего из нескольких КРУ; *КРУ отходящих присоединений* — предназначены для оперативных переключений и защиты от токов к. з. отдельного электроприемника.

Вводные и секционные КРУ изготавливаются на номинальные токи от 100 до 630 А, КРУ отходящих присоединений — на номинальные токи от 20 до 400 А.

Все КРУ состоят из двух частей: подвижной и неподвижной.

На неподвижной части размещаются следующие основные узлы: вводные и выводные кабельные муфты; шины; штепсельные шинные и линейные разъединители.

На подвижной части находятся: трансформаторы тока и напряжения; выключатель; привод выключателя; измерительные приборы; вспомогательные устройства, служащие для осуществления требуемых защит, блокировок, сигнализации, управления.

Для того чтобы можно было по марке установить тип КРУ, в его наименовании после цифры, обозначающей величину напряжения, ставят начальную букву наименования варианта: В, С, ОП.

Типы КРУ одной и той же марки отличаются друг от друга различным набором вспомогательных устройств.

КРУ отходящих присоединений комплектуется наиболее полно и, в отличие от секционной и вводной, имеют короткозамыкатель, БРУ, устройство для шунтирования максимальной защиты, АПВ.

**21.2. Комплектные распределительные устройства
РВД-6 и УРВМ-6/3**

КРУ (ячейки) РВД-6 и УРВМ-6/3 имеют унифицированные основные части и отличаются друг от друга тем, что ранее выпускавшаяся ячейка УРВМ-6/3 имеет только ручное управление, а ячейка РВД-6, которую в настоящее время выпускает Торезский электротехнический завод, имеет моторно-пружинный привод и ей можно управлять как вручную, так и дистанционно.

Ячейка РВД-6 (рис. 21.1) имеет масляный выключатель нагрузки, поэтому может устанавливаться в шахте только в камерах, выполненных в соответствии с требованиями противопожарной защиты.

Исполнение ячейки РП, поэтому она применяется на шахтах I, II и III категорий и сверхкатегорных по газу и опасных по пыли (исключая шахты, опасные по внезапным выбросам угля и газа) на свежей струе воздуха.

На подвижной части КРУ смонтированы: масляный выключатель типа ВМ-10 /, устройство для опускания и подъема бака масляного выключателя 2, привод 3, выносной пост дистанционного управления 4, камера, в которой размещаются трансформаторы тока и трансформатор напряжения, 5, вилки штепсельных разъединителей. На неподвижной раме 8 находятся шинная камера 6, внутри которой расположены гнезда штепсельных разъединителей, и кабельные муфты 7.

Ячейки изготавливаются на напряжение 6 кВ трехфазного тока частотой 50 Гц на номинальный ток от 20 до 300 А.

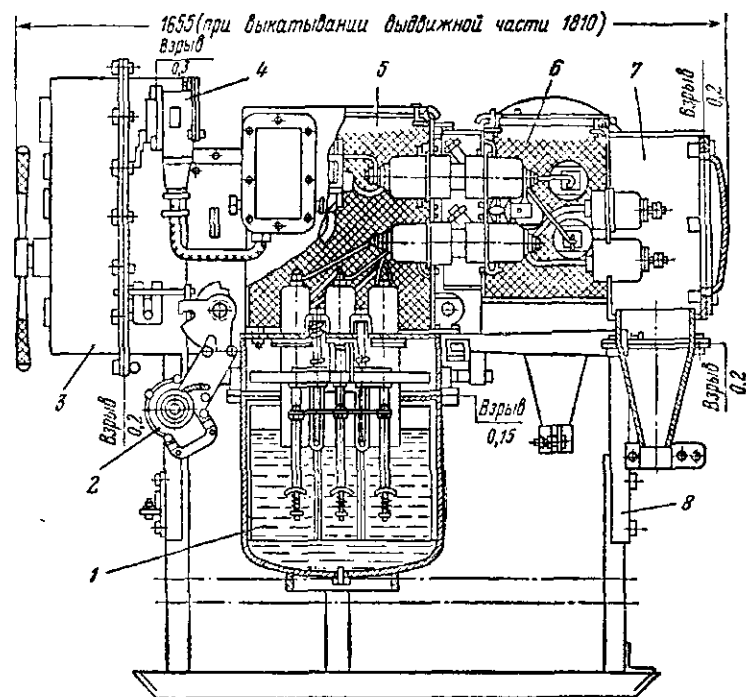


Рис. 21.1. КРУ РВД-6

Рукоятки и кнопки управления ячейкой РВД-6 располагаются: рукоятка ручного включения привода масляного выключателя (при дистанционном управлении ее не ставят) — на передней крышке привода; кнопка местного отключения и кнопка для опробования БРУ — внутри камеры привода, рычаг для нажатия их выведен на правую боковую поверхность корпуса привода; двухкнопочный пост (кнопки «Пуск» и «Стоп») дистанционного управления с сигнальной лампой о включении масляного выключателя, при размещении его на самом РВД-6, крепится к подвижной раме с правой стороны коробки привода; кнопки и сигнальная лампа — внутри взрывобезопасного корпуса со смотровым окном; наружу выведен рычаг, поворотом которого влево нажимается кнопка «Пуск», вправо — кнопка «Стоп».

Электрическая схема фидерной ячейки обеспечивает: максимальную защиту отходящего кабеля с помощью вторичных электромагнитных максимальных реле; отстройку уставок максимальных реле от пусковых токов путем шунтирования максимальных реле и амперметра на период пуска электродвигателя; защиту от затянувшегося пуска электродвигателя путем определенной выдержки времени (6—10 с) шунтирования максимальных реле; нулевую и минимальную защиту; защиту от потери управления и обрыва цепей управления — посредством размещения диода в конце цепи управления; защиту от включения ячейки на отходящую сеть, имеющую сопротивление изоляции силовых фаз относительно земли, равное или ниже 80 кОм (такую защиту обеспечивает реле БРУ); отключение ячейки с помощью встроенной и выносной кнопок «Стоп»; включение ячейки вручную и выносной кнопкой «Пуск».

21.3. Комплексные распределительные устройства ЯВ-6400

Для устранения некоторых недостатков УРВМ и РВД (наличие масла, исполнение РП и др.) научно-исследовательским институтом ВНИИВЭ разработана взрывобезопасная высоковольтная ячейка ЯВ-6400 на напряжение 6 кВ, номинальный ток от 20 до 400 А и предельную отключаемую мощность 75 000 кВ·А.

Основными достоинствами ячейки ЯВ-6400 являются: отсутствие масла в выключателе и соответственно повышенная безопасность в пожарном отношении — гашение электрической дуги происходит в воздухе с применением дугогасительных камер, деионных решеток и электромагнитного дутья; повышение разрывной мощности до 75 000 кВ·А; изготовление ячейки во взрывобезопасном исполнении с искробезопасными цепями управления; возможность ручного, местного, дистанционного и автоматического управления; возможность установки в ячейках устройств АПВ или АВР; соответствие конструкции требованиям ПБ и КРУ для газовых шахт, разрабатывающих пологие и крутые пласты, опасные по выбросам.

На рис. 21.2 представлен общий вид ячейки ЯВ-6400. Оболочка ячейки, выполненная в соответствии с нормами для оболочек РВ-4В, состоит из: камеры выключателя 2,

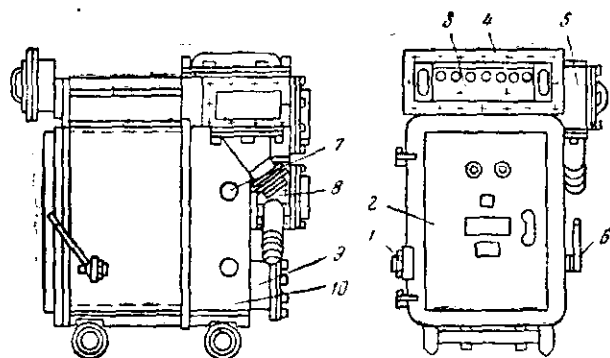


Рис. 21.2. КРУ ЯВ-6400

дверка которой заблокирована с рукояткой разъединителя 1 и рукояткой ручного включения и отключения 6 воздушного выключателя; камеры блока управления 4, внутри которой размещается большинство реле электрической схемы, а на ее крышке размещены кнопки 3 для управления схемой и окошки для сигнальных ламп; шинной камеры 10, где размещаются шинные и линейные разъединители (для возможности зрительного контроля за положением разъединителей с обеих сторон камеры имеется по два смотровых окна 7); камер вводов кабеля 5 и выводов 8; камеры для коммутации цепей управления 9.

Электрическая схема ячейки обеспечивает: местное и дистанционное управление; автоматическое повторное включение; защиту от сверхтоков; защиту от затянувшегося пуска короткозамкнутого асинхронного двигателя; минимальную защиту; защиту от подачи напряжения на кабель с неудовлетворительным качеством изоляции; защиту от потери управляемости; электрическую блокировку против включения цепи после срабатывания максимальной защиты; искробезопасные параметры цепей управления и цепей БРУ; сигнализацию о включении, выключении ячейки, о срабатывании блокировочного реле, о срабатывании максимальной защиты.

Управление ячейкой производится с помощью рукояток и кнопок (рис. 21.3). Рукоятка разъединителя 1 имеет два положения «Включено» и «Выключено» и заблокирована с рукояткой выключателя (включение ру-

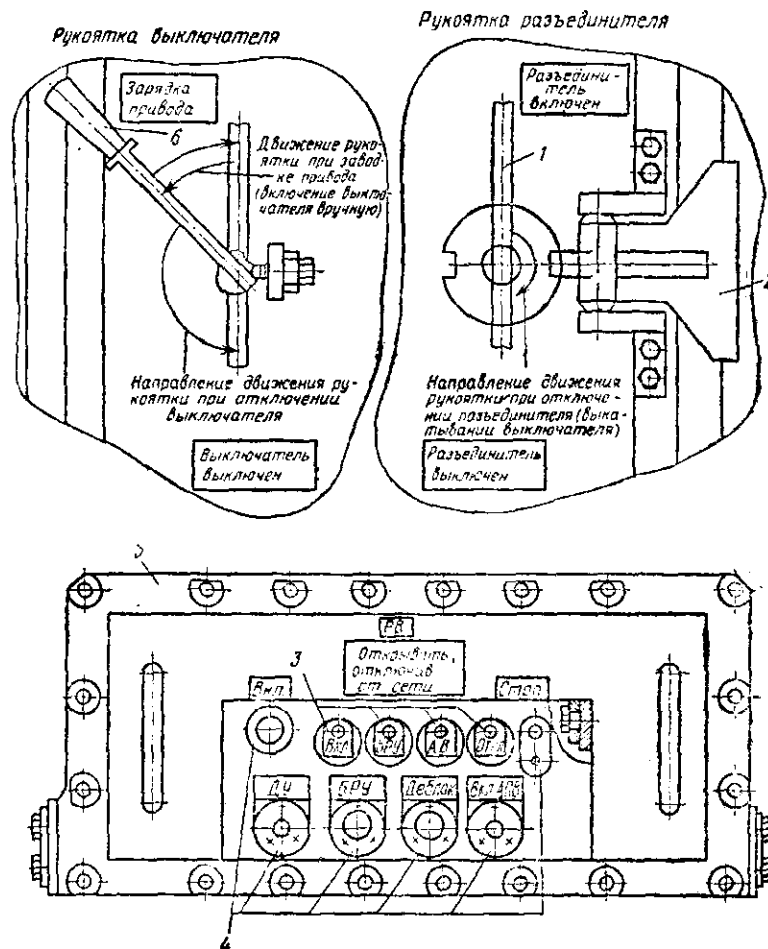


Рис. 21.3. Рукоятки и кнопки управления КРУ ЯВ-6400

коялки разъединителя возможно только при выключенном положении рукоятки выключателя). Помимо этого, рукоятка разъединителя блокирует дверь камеры выключателя и ее можно открыть, только повернув блокирующее устройство 2, что возможно при положении рукоятки 1 — «Выключено». Рукоятка выключателя 6 имеет два положения: «Зарядка привода» и «Выключено». Для

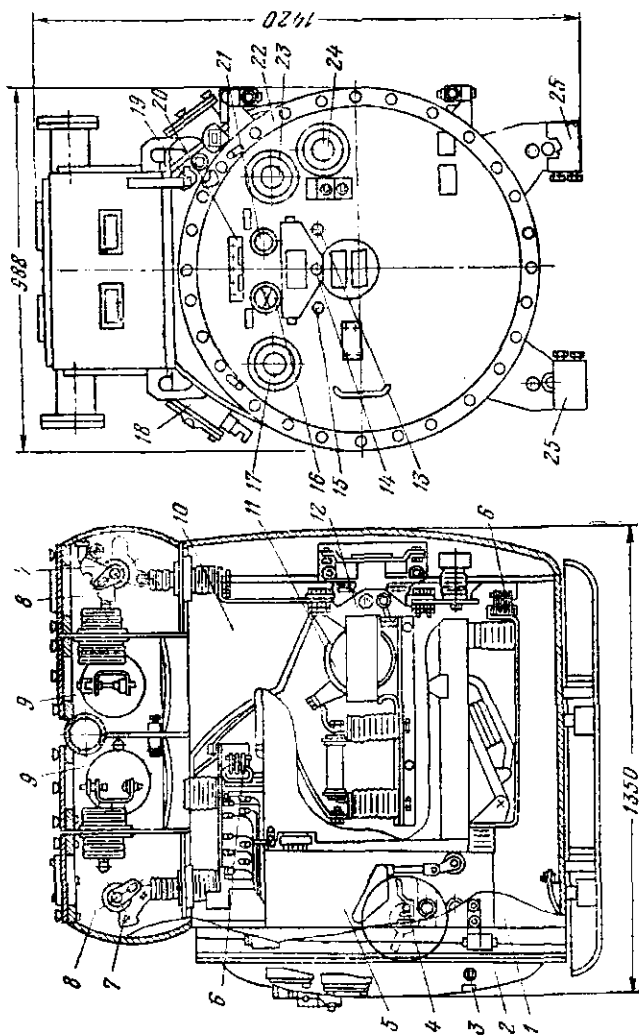


Рис. 21.4. КРУ КРУВ-6.

1 — взрывобезопасный корпус; 2 — крышка корпуса; 3 — рукоятка ручного включения выключателя; 4 — фиксатор положения выкатной части; 5 — выключатель; 6 — штепсельные разъемы; 7 — разъединитель; 8 — камера разъединителя; 9 — камера вывода и ввода кабелей; 10 — камера выключателя; 11 — трансформатор напряжения; 12 — трансформатор тока; 13 — кнопка проверки БРУ; 14 — переключатель местного и дистанционного управления; 15 — кнопка деблокировки; 16 — кнопка отключения; 17 — смотровое окно амперметра; 18 — камеры вторичных цепей; 19 — рукоятка разъединителя; 20 — сигнальные лампочки; 21 — кнопка включения; 22 — блокирующее кольцо крышки; 23 — смотровое окно вольтметра; 24 — смотровое окно механического указателя положения выключателя; 25 — салазки

включения воздушного выключателя необходимо произвести рукояткой несколько колебательных движений в ее верхнем положении; ее нельзя поставить в положение «Зарядка привода» при положении рукоятки разъединителя «Выключено». На щите управления 5 размещены кнопки 4: местного выключения «Стоп» и включения «Вкл.»; включение дистанционного управления ДУ (при нажатии на кнопку ДУ отключается кнопка «Вкл.» местного включения); опробования БРУ (если реле исправно, при нажатой кнопке загорается сигнальная лампочка); включения АПВ; деблокировки, которую нажимают при необходимости вторично включить ячейку после срабатывания максимальной защиты.

На этом же щите расположены сигнальные лампочки 3, которые загораются при включении, отключении ячейки, срабатывании максимальной защиты и при опробовании реле БРУ.

21.4. Комплексные распределительные устройства КРУВ-6

В настоящее время на угольных шахтах внедряется КРУ во взрывобезопасном исполнении с воздушным выключателем типа ВЭВ-6 на номинальное напряжение 6 кВ, номинальный ток от 20 до 630 А и предельную отключаемую мощность 100 мВ · А.

При создании нового КРУ КРУВ-6 был учтен опыт эксплуатации ЯВ-6400.

Основные части КРУВ-6 и их расположение даны на рис. 21.4. Электрическая схема КРУВ-6 аналогична схеме ЯВ-6400, поэтому устройство обеспечивает защиты, блокировки и сигнализацию, перечисленные в 21.3.

Раздел шестой

ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ЭЛЕКТРОПРИЕМНИКОВ В ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТКАХ

Глава 22

ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ И СХЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

22.1. Величины напряжений для питания подземного электрооборудования

Схемы подземного электроснабжения должны обеспечивать: максимальное приближение источников питания к центрам нагрузки; наибольшую безопасность обслуживающего персонала в отношении поражения током, пожаров, взрывов; надежное электроснабжение потребителей в соответствии с категорией их по бесперебойности электроснабжения; соответствующее качество и требуемое количество энергии для высокопроизводительной работы машин при минимальных капитальных и эксплуатационных затратах.

Способ электроснабжения подземных потребителей зависит от следующих факторов: глубины шахты, системы разработки пластов, удаленности рабочих участков от околоствольного двора; мощности приводов машин и их расположения в подземных выработках; способа вскрытия и количества работающих горизонтов; величины применяемого напряжения и т. д.

В соответствии с ПБ для электроснабжения подземных приемников разрешается использовать следующие величины напряжений: для ручных электрических машин, призабойного освещения и освещения отдельных приемников — не выше 127 В; для стационарного освещения — не выше 220 В; для передвижных рабочих машин — не выше 1140 В; для стационарных приемников электрической энергии, передвижных подстанций и при проходке стволов — не выше 6000 В.

22.2. Схемы электроснабжения подземных потребителей на шахтах с пологими, наклонными и крутыми пластами

В настоящее время получили распространение два способа питания электроэнергией приемников добычных и подготовительных участков от ГПП шахты: при глубоком залегании пластов — кабелями, проложенными по стволу, и при неглубоком залегании (до 200 м) — кабелями, проложенными в специально пробуренных скважинах или шурфах.

Преобладающим способом является первый.

Для выполнения требований ПБ по применению определенных значений напряжений, в шахте устраивают подстанции и распределительные пункты.

Энергия в шахту подается от главной поверхностной подстанции (ГПП) на центральную подземную подстанцию (ЦПП), которая обычно располагается в околоствольных выработках, а с ЦПП — на участки.

Так как участков на шахте бывает много, то кроме распределительного пункта в ЦПП иногда устраиваются дополнительные распределительные пункты напряжением 6 кВ (РП-6), от которых энергию получают участки понижительные подстанции (УПП). На УПП она трансформируется до величины, необходимой для питания основных машин, и передается по кабелю на распределительный пункт участка (РПУ). От РПУ через пусковую аппаратуру электроэнергия передается к потребителям. Помимо этого на РПУ устанавливаются небольшой мощности трансформаторы, которые понижают напряжение до 127 В.

Такой принцип распределения энергии выдерживается на всех шахтах, однако, в зависимости от горно-геологических условий и принятого способа подачи энергии, количество подстанций и их расположение бывает разное.

При электроснабжении через скважины и шурфы электроэнергия от ГПП по воздушным линиям передается прямо на УПП, которая располагается либо на поверхности, либо под землей непосредственно у скважины. Такой способ довольно широко применяется в Подмосковном бассейне.

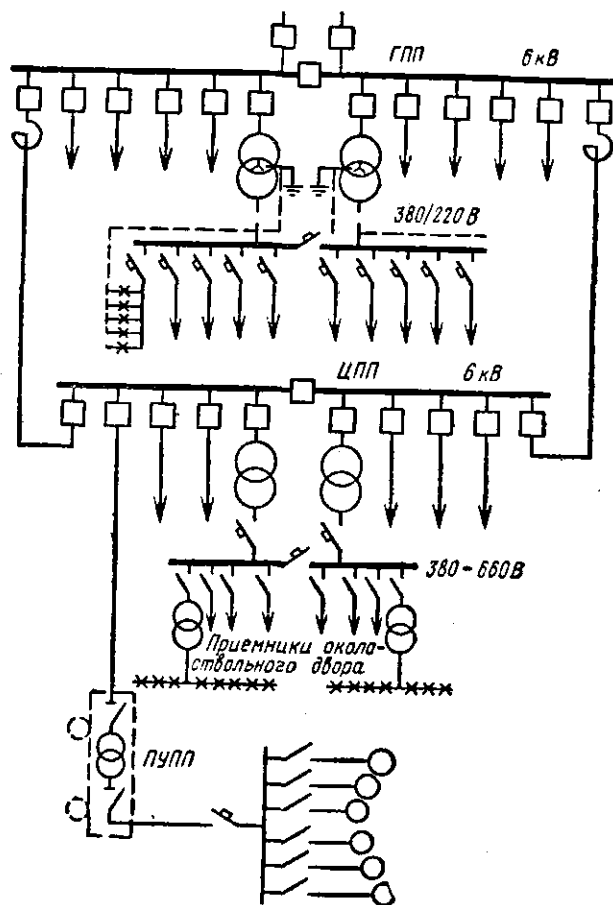


Рис. 22.1. Принципиальная схема электроснабжения шахты, разрабатывающей пологие пласты

На шахтах с крутыми пластами ЦПП располагаются на каждом горизонте. Как правило, каждая ЦПП получает энергию непосредственно от ГПП хотя бы по одному кабелю.

На рис. 22.1 приведена принципиальная схема электроснабжения, которая широко распространена в Донецком бассейне на шахтах с пологими пластами.

На схеме распределительное устройство ЦПП собрано из взрывобезопасных КРУ и разделено секционным КРУ на две секции. Электроэнергия от ГПП подается минимум по двум кабелям, что необходимо для обеспечения бесперебойности электроснабжения приемников первой и второй категории. Для ограничения величины токов к. з. в подземных электросетях в поверхностной подстанции на выводах к ЦПП поставлены реакторы. Количество распределительных устройств высшего и низшего напряжения выбирается равным количеству вводов и выводов плюс необходимый резерв. В качестве участковой понизительной подстанции применены передвижные участковые понизительные подстанции (ПУПП).

Если на пологих, наклонных и крутых пластах, опасных по внезапным выбросам угля и газа, ПУПП располагается на исходящей струе воздуха, электроснабжение участка должно быть обособленным, с защитой от утечек тока на высокой стороне напряжения.

Обособленным питанием называют такое питание, при котором отсутствует электрическая связь подземной сети с электрической сетью на поверхности шахты. Оно осуществляется от отдельных двухобмоточных распределительных трансформаторов, устанавливаемых на поверхности или в шахте в выработках со свежей струей воздуха.

Обособленное питание обеспечивает снижение величины емкостной составляющей тока утечки в подземных сетях 6 кВ, что повышает безопасность обслуживающего персонала, а также снижает мощность к. з. в кабельной сети подземных выработок.

В перспективе все шахты угольной промышленности планируется перевести на обособленное питание электроэнергией.

Помимо обособленного питания и наличия контроля за утечками с высокой стороны к схемам электроснабжения потребителей на пластах, опасных по выбросам угля и газа, предъявляются следующие дополнительные требования: в электрическую схему РП участков должны включаться приборы по автоматическому контролю содержания метана (при срабатывании их напряжение на РП должно автоматически отключаться); для включения ПУПП должны применяться КРУ с блокировочным

реле утечки, короткозамыкателем и дистанционным управлением по искробезопасным цепям с защитой их от повреждения; в схемах электроснабжения забойных машин и комплексов должно предусматриваться аварийное отключение всех электроприемников лавы с пульта управления машиной или комплексом; емкость кабельных линий напряжением 0,4—0,66 кВ, присоединенных к одному трансформатору, не должна превышать 0,5 мкФ на фазу (длина кабеля не более 1,5 км); помимо местного заземления корпус ПУПП должен через заземляющую жилу кабеля присоединяться к заземляющему контуру в ближайшем РП-6; для питания ПУПП, РП и передвижных приемников должны применяться экранированные кабели повышенной прочности с заземляющей и вспомогательными жилами, с изоляцией и наружным покровом, не распространяющим горение.

22.3. Электроснабжение очистных и подготовительных выработок шахты

В очистных и подготовительных выработках концентрируется большое количество мощных горных машин, которые работают в сложных горно-геологических условиях и постоянно перемещаются.

Для обеспечения высокопроизводительной работы этих машин необходимо, чтобы схемы электроснабжения отвечали следующим требованиям: участковые трансформаторные подстанции располагались по возможности ближе к потребителям энергии и периодически перемещались вслед за продвижением забоев; потери напряжения в кабельной сети от участковой подстанции до потребителя не выходили за пределы допустимых величин; сети с напряжением до 1000 В имели защиту от утечек тока на землю; все забойные машины присоединялись к сети через пускатели или магнитные станции, управление которыми должно быть дистанционное; пускатели машин комплектовались в распрединки по технологическому принципу с установкой на каждом распрединке общего выключателя; питание вентиляторов местного проветривания не зависело от наличия напряжения на отдельных технологических распрединках; распрединки напряжением до 1000 В периодически перемещались вслед за продвижением забоя; схемы соответствовали требованиям ПБ для данных горно-геологи-

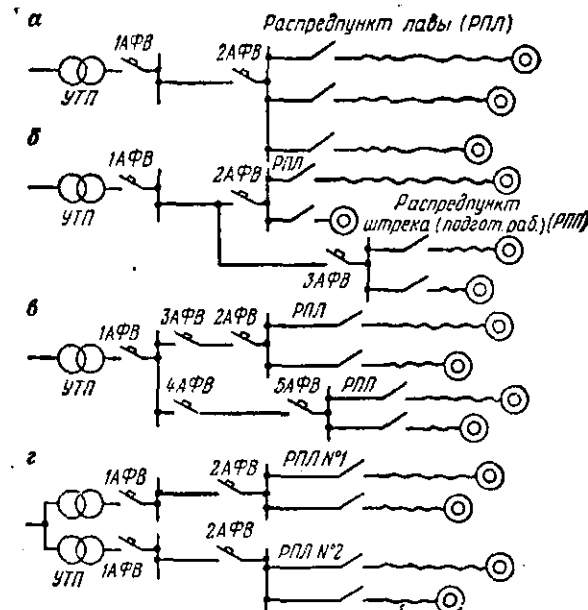


Рис. 22.2. Варианты принципиальных схем электро-снабжения участков

ческих условий; при установке двух трансформаторов на участковой подстанции каждый трансформатор имел самостоятельную нагрузку.

Варианты наиболее часто применяемых принципиальных схем электроснабжения участков приведены на рисунке 22.2.

Во всех схемах на УТП предусматривают установку на нижней стороне автоматического фидерного выключателя (1АФВ), который служит для включения и отключения магистрального кабеля и РП-0,66 (РПЛ и РПП), для защиты от тока к. з. и отключения магистрального кабеля при срабатывании реле утечки.

В случае, если передача электроэнергии от УТП к РПЛ осуществляется по двум кабелям (рис. 22.2, в), на участковой подстанции устанавливается три автомата: 1АФВ — для включения, отключения и защиты от тока к. з. обоих магистральных кабелей и для отключения

их в случае срабатывания реле утечки, которое ставится в этом случае только одно; *ЗАФВ* и *4АФВ* — для включения, отключения и защиты от тока к. з. отдельных магистральных кабелей.

Если между *УТП* и распределительным устройством низшего напряжения расстояние более 100 м, на распределительном устройстве устанавливают общий выключатель — фидерный автомат *2АФВ* для более оперативного обслуживания распределительного пункта.

При установке на *УТП* двух трансформаторов (рис. 22.2, *г*), каждый трансформатор оборудуется как самостоятельный фидер.

Схема на рис. 22.2, *а* используется для электроснабжения очистных работ. Такая схема требует наименьших затрат на сооружение, но применение ее ограничивается длиной выемочного столба и лавы, а также мощностью электроприемников.

На рис. 22.2, *б* приведена та же схема, но с одновременным питанием потребителей очистных и подготовительных работ. Такая схема применяется для электроснабжения участка при сплошной системе разработки.

При значительных мощностях потребителей и стремлении уменьшить число переносок *УТП* за счет увеличения длины магистрального кабеля применяют схему, приведенную на рис. 22.2, *в*, где потребители очистного и подготовительного забоев питаются от *УТП* по самостоятельным кабелям.

Для электроснабжения участков со значительными нагрузками, когда установка одного трансформатора недостаточна (нагрузки более 400 кВт·А), применяют схему, приведенную на рис. 22.2, *г*.

Глава 23

ПОДЗЕМНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРНЫЕ ПОДСТАНЦИИ И ИХ ОБОРУДОВАНИЕ

23.1. Общие сведения

Сооружаемые и применяемые в подземных выработках угольных шахт трансформаторные подстанции делятся на две основные группы: стационарные и передвижные.

К стационарным трансформаторным подстанциям относятся:

а) центральные подземные подстанции (ЦПП), сооружаемые обычно в околостольном дворе;

б) участковые трансформаторные подстанции, располагаемые в специальных огнестойких камерах;

в) бремсберговые (уклонные) трансформаторные подстанции, сооружаемые для питания потребителей бремсбергов (уклонов).

Для монтажа стационарных трансформаторных подстанций требуются специальные камеры.

Передвижные подстанции являются комплектами, т. е. включают в себя все необходимые элементы электрооборудования. Для установки их не требуется специальной камеры.

Основным оборудованием подстанций являются: силовые трансформаторы, КРУ на напряжение выше 1000 В, пусковая и защитная аппаратура на напряжение до 1000 В.

В ЦПП количество КРУ равно количеству вводов, секционных выключателей и отходящих присоединений. Как правило, в камере ЦПП монтируется некоторое количество резервных КРУ и распределительный пункт на напряжение до 1000 В для питания машин, находящихся в околостольных выработках.

23.2. Шахтные трансформаторы

Тяжелые условия эксплуатации трансформаторов в подземных выработках предъявляют к ним требования большой механической прочности, безопасности в отношении взрыва и пожара, небольших размеров, достаточной устойчивости и удобства транспортирования.

В соответствии с этими требованиями применяемые в шахтах трансформаторы имеют значительные конструктивные отличия от трансформаторов в общепромышленном исполнении.

В шахтных трансформаторах подвод и отвод напряжения осуществляются посредством глухих кабельных муфт, которые заливаются кабельной мастикой и располагаются на торцевых или боковых поверхностях кожуха трансформатора; токоведущие части, обмотки и сердечник размещаются в прочном металлическом

корпусе, который изготавливается в соответствии с нормами принятого уровня взрывозащиты.

На предприятиях угольной промышленности в подземных условиях в настоящее время эксплуатируют три типа силовых трансформаторов: трансформаторы с масляным заполнением типа ТМШ (трансформатор масляный шахтный); трансформаторы с заполнением бака гидрофобизированным кварцевым песком типа ТКШВ (трансформатор кварцевый шахтный взрывобезопасный); трансформаторы сухие шахтные во взрывобезопасной оболочке типа ТСШВ.

Мощность указанных выше трансформаторов колеблется от 50 до 630 кВ · А.

Для небольших нагрузок (освещение, ручной электрифицированный инструмент, сверла и т. д.) применяют сухие трансформаторы типа ТСШ или агрегаты АП, АБК и др.

В связи с тем, что ПБ запрещают применение трансформаторов с масляным заполнением для участковых подстанций независимо от категории шахт и для любых выработок газовых шахт, трансформаторы ТМШ постепенно заменяются сухими трансформаторами.

Трансформаторы ТКШВ по сравнению с ТСШВ имеют худшие технические данные, поэтому их выпуск прекращен.

23.3. Передвижные участковые понижительные подстанции

Передвижная участковая понижительная подстанция (ПУПП) представляет собой трансформатор, оснащенный необходимой аппаратурой управления и защиты на напряжение до 1000 В и выше.

ПУПП предназначена для электроснабжения токоприемников очистных и подготовительных забоев угольных шахт, опасных по газу или угольной пыли.

На шахтах в эксплуатации находятся два типа передвижных подстанций: ТКШВП — подстанция, в которой установлен трансформатор с кварцевым заполнением и ТСШВП — подстанция с сухим трансформатором.

ПУПП состоят из следующих частей (рис. 23.1): трансформатора силового, распределительного устройства высшего напряжения (РУВН), распределительно-

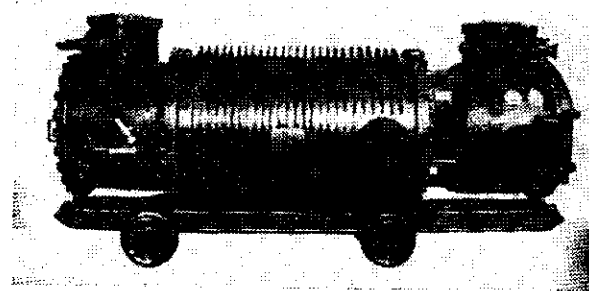


Рис. 23.1. Передвижная участковая понижительная подстанция

го устройства низшего напряжения (РУНН), ходовой части.

Устройство РУВН и РУНН рассмотрим подробнее в подстанции ТСШВП 630/6 (рис. 23.2).

РУВН представляет собой взрывобезопасную стальную оболочку со встроенным в нее трехполюсным разъединителем — выключателем нагрузки *Р*, способным в аварийных случаях отключить ток нагруженного трансформатора. В кабельную муфту вводятся кабели на напряжение 6 кВ и кабель управления.

Для визуального наблюдения за положением пожей разъединителя в корпусе предусмотрены смотровые окна.

Разъединитель нагрузки *Р* имеет ручное управление. Рукоятка его *РР* заблокирована с вспомогательной блокирующей рукояткой *РБ*, при повороте которой замыкаются и размыкаются контакты в цепях управления КРУ на высшей стороне — *Кн-1* и автоматического выключателя в РУНН — *Кн-2*. Блокировки выполнены таким образом, что для поворота рукоятки разъединителя в положение «Выключено» необходимо вначале выключить блок-рукоятку. При повороте блок-рукоятки происходит выключение КРУ и автомата в РУНН. Порядок включения рукояток обратный, поэтому включение разъединителя будет происходить без нагрузки.

РУНН представляет собой оболочку во взрывобезопасном исполнении, внутри которой смонтированы следующие аппараты и оборудование: автоматический выключатель АВ типа А-3700 соответственной величины по

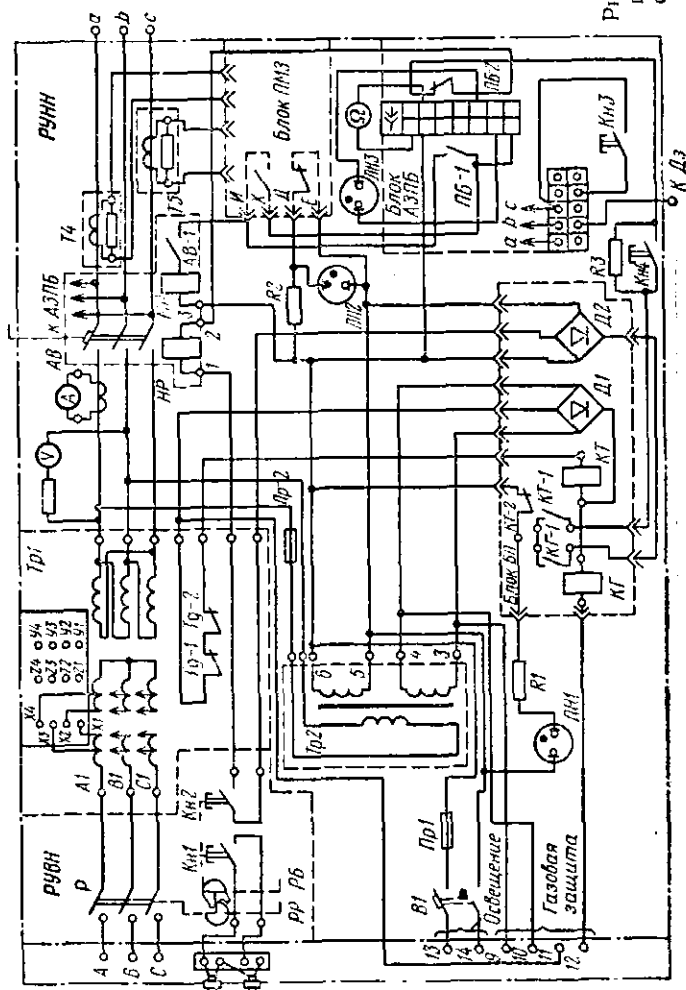


Рис. 23.2. Принципиальная электрическая схема ПУПП ТЩВН

току ($I_{ном} = 250 \div 630$ А) с встроенным максимальным реле, отрегулированным на разрывной ток автомата, независимым *МР* и нулевым *НР* расцепителями; устройство для осуществления максимальной защиты линии низшего напряжения (блок *ПМЗ*); аппарат защиты подстанции (блок *АЗПБ*), обеспечивающий контроль качества изоляции в цепях низшего напряжения до подачи напряжения и защиту от токов утечки; тепловое реле типа *ДТР* (контакты *Тд-1*, *Тд-2*) для контроля за температурой нагрева трансформатора; блок питания (блок *БП*) нулевого реле *НР* и промежуточных реле газовой защиты *КГ* и тепловой защиты *КТ*; трансформатор собственных нужд *Тр2*, обеспечивающий питание защитных устройств и наружного освещения ПУПП; измерительные приборы: вольтметр *V*, амперметр *A*, омметр Ω ; сигнальные лампы: *ЛН1* — о срабатывании тепловой защиты; *ЛН2* — о срабатывании реле утечки.

На корпусе *РУНН* находятся следующие рукоятки и кнопки управления: рукоятка ручного включения автомата *АВ*; рукоятка включения освещения (выключателя *В*); кнопка опробования исправности блока *АЗПБ* (*Кн3*).

Включая *КРУ*, подаем напряжение на силовой трансформатор *Тр1* и трансформатор собственных нужд *Тр2*.

Блок *АЗПБ* получает питание и контролирует качество изоляции сети напряжением до 1000 В. Если качество изоляции соответствует норме, контакты *ПБ-1* остаются в положении, указанном на рис. 23.2.

При нормальном нагреве трансформатора контакты реле типа *ДТР Тд-1* и *Тд-2* будут замкнуты и промежуточное реле *КТ* будет обтекаться током от выпрямительного моста *Д1*. Его контакт *КТ-1* замкнется.

В случае благоприятной газовой обстановки цепь промежуточного реле *КГ* через замкнутые контакты датчиков газовой защиты, которые подключаются к зажимам 11 и 12, также будет замкнута и контакты *КГ-1* замкнутся.

Нулевое реле *НР* получит питание от трансформатора *Тр2* через выпрямительный мост *Д2* по цепи: зажим 5 трансформатора *Тр2* — *Д2* — *КГ-1* — *КТ-1* — *Р3* — *ПБ-2* — *НР* — *Кн-2* — *Д2* — зажим 6 трансформатора *Тр2*.

При включении автомата АВ контактом АВ-1 включится цепь независимого расцепителя МР на питание от блока ПМЗ, однако контакт Х разомкнут и катушка расцепителя не обтекается током.

В случае срабатывания тепловой, газовой защиты или реле утечки (блок АЗПБ) нулевое реле теряет питание и выключает автомат АВ.

При срабатывании максимальной защиты ПМЗ катушка МР получает питание, срабатывая воздействует на механизм свободного расцепления автомата и автомат АВ отключается.

В быстрооткрываемой крышке РУНН имеются смотровые окна для визуального наблюдения за показаниями амперметра, вольтметра, омметра и за сигнальными лампами, которые загораются при срабатывании тепловой, максимальной защиты и защиты от утечек тока.

Для работы на пологих пластах изготавливаются подстанции ТСШВП-100/6, ТСШВП-160/6, ТСШВП-250/6, ТСШВП-400/6, ТСШВП-630/6 мощностью соответственно 100, 160, 250, 400, 630 кВ·А, для работы на крутых пластах — ТСШВП-160/6-КП, ТСШВП-630/6-КП мощностью 160 и 630 кВ·А.

В подстанциях с индексом КП в РУНН дополнительно установлены: блок дистанционного отключения с искробезопасными цепями для дистанционного отключения автомата; короткозамыкатель на отходящей линии для закорачивания линии при отключении ее автоматом.

Для электроснабжения участков, где потребители питаются напряжением 1140 В, выпускается передвижная подстанция на базе трансформатора ТСШВ, которая имеет в РУНН те же элементы, что и подстанция, применяемая на крутых пластах. Дополнительно смонтирован отдельный трансформатор 1,2/0,133 кВ для питания газовой защиты и местного освещения, а в цепи 127 В установлено реле утечки, которое воздействует на автоматический выключатель, установленный в сети 127 В.

Действующие правила безопасности разрешают бескамерную установку сухих трансформаторов и ПУПП в любых выработках шахт, опасных по газу или пыли, при условии соблюдения остальных требований к пылегазовому режиму выработок, в которых располагается электрооборудование.

Чаще всего установку ПУПП производят непосредственно в штреке. В однопутевом штреке ее устанавливают на тупиковом заезде, являющемся продолжением разминовки, в двухпутевом штреке — на отрезке порожняковой вставки, расположенном между рельсовыми съездами.

Для защиты ПУПП от механических повреждений ее ограждают со стороны рельсовых съездов устройствами, которые бы предотвращали движение вагонеток в сторону подстанции.

В месте установки ПУПП, со стороны свежей струи воздуха, на небольшом расстоянии (не более 3 м) располагают средства пожаротушения: два пенных, четыре углекислотных огнетушителя, ящик с песком или инертной пылью вместимостью 0,2 м³ и лопату.

Для обслуживания ПУПП со стороны РУВН монтируют полки на опорных изоляторах.

Так как применение ПУПП не требует затраты средств на содержание камер, улучшает режим напряжения на зажимах электроприемников, снижает потери электроэнергии, экономит кабельную продукцию, они получили широкое распространение на угольных шахтах.

23.4. Расчет мощности участковой трансформаторной подстанции

Так как на участковых подстанциях устанавливается один трансформатор, то расчет мощности подстанции для участка сводится к расчету необходимой мощности трансформатора.

Для достаточно точного определения мощности трансформатора необходимо иметь следующие данные: перечень потребителей электроэнергии, которые будут питаться от трансформатора; номинальные характеристики всех потребителей; суточный график работы потребителей.

Для шахтных машин и механизмов чрезвычайно трудно установить с достаточной точностью фактические нагрузки и изменения их в течение суток. Поэтому расчет мощности трансформаторов ведут по установленной или присоединенной мощности машин с учетом коэффициента спроса.

Установленной мощностью $P_{уст}$ называют номинальную мощность всех приемников, питаемых от данного трансформатора, исключая резервные и работающие в ремонтную смену.

Установленная мощность для электродвигателей соответствует их номинальной мощности на валу, указанной на щитке.

Общая установленная мощность находится как сумма номинальных мощностей электродвигателей. Потребители электроэнергии на участке не всегда работают с номинальной нагрузкой и не все включаются одновременно. Это учитывается коэффициентом спроса k_c , который определяется как отношение устойчивой (не менее 30 мин) максимальной нагрузки приемников к их суммарной присоединенной мощности.

Центргипрошахт рекомендует находить k_c для участков, механизированных комплексами, по формуле

$$k_c = 0,4 + 0,6 \frac{P_{max}}{\Sigma P_{уст}},$$

а для участков, механизированных отдельными машинами, по формуле

$$k_c = 0,3 + 0,7 \frac{P_{max}}{\Sigma P_{уст}},$$

где P_{max} — установленная мощность наиболее крупного электродвигателя; $\Sigma P_{уст}$ — сумма установленных мощностей всех потребителей.

При расчетах мощности трансформаторов для вспомогательных цехов можно пользоваться k_c , вычисленными Центргипрошахтом, которые приводятся в справочной литературе.

Мощность участкового трансформатора вычисляют по формуле

$$P_{расч} = P_{уст} k_c.$$

Для вычисления кажущейся мощности трансформатора $S_{тр}$ необходимо учесть коэффициент мощности всех потребителей. Для этого подсчитывается средневзвешенное значение коэффициента мощности $\cos \varphi$ потребителей участка

$$\cos \varphi_{ср} = \frac{P_1 \cos \varphi_1 + P_2 \cos \varphi_2 + \dots + P_n \cos \varphi_n}{P_1 + P_2 + \dots + P_n},$$

где $\cos \varphi_1$, $\cos \varphi_2$ и т. д. — коэффициенты мощности потребителей, соответствующие фактической нагрузке.

Тогда $S_{тр}$ (кВ·А) будет равно

$$S_{тр} = \frac{k_c P_{уст}}{\cos \varphi_{ср}}.$$

По кажущейся мощности $S_{тр}$ и условиям работы по каталогам подбирают трансформатор или передвижную участковую понизительную подстанцию.

23.5. Устройство камер стационарных подстанций и распределительных пунктов

Камеры центральных подземных подстанций, как правило, размещаются в околоствольном дворе вблизи ствола, по которому прокладываются питающие кабели.

Размеры камер ЦПП определяются количеством и габаритами устанавливаемого оборудования с учетом монтажных и транспортных проходов, размеры которых регламентируются ПБ.

В соответствии с ПБ монтажные проходы должны быть не менее 500 мм, ширина коридоров для транспортировки оборудования — не менее 800 мм, ширина прохода между распреедустройствами 6 кВ и 0,4 (0,69) кВ — не менее 1,2 м.

При строительстве камеры необходимо руководствоваться следующим (рис. 23.3): крепление камеры выполняется огнестойким; уровень пола камеры устраивается на 0,5 м выше уровня головки рельсов главных выра-

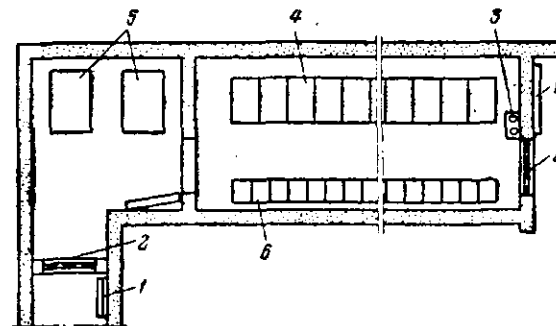


Рис. 23.3. Устройство ЦПП

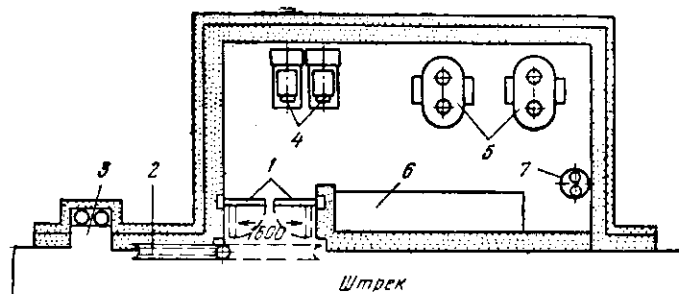


Рис. 23.4. Устройство УТП:

1 — внутренняя дверь; 2 — противопожарная дверь; 3 — ниша с противопожарным инвентарем; 4 — РП высокого напряжения; 5 — трансформатор; 6 — РП низкого напряжения; 7 — осветительный трансформатор

боток; в ЦПП и в одном из ходков прокладывается рельсовый путь нормальной колеи для транспортировки оборудования; камера делится на два отделения несгораемой перегородкой с металлическими дверями: отделение трансформаторов 5 и отделение распредпунктов 4, 6; вентиляция камеры осуществляется обособленной струей воздуха за счет общешахтной депрессии; при длине камеры более 10 м она оборудуется двумя входами, расположенными в дальних концах; входы оборудуются двумя дверями: решетчатыми 2, которые постоянно закрыты, и противопожарными 1, которые закрываются только при пожарах; распредпункты высокого 4 и низкого напряжения 6 располагаются друг против друга; кабели, прокладываемые в камере, должны быть с негорючей оболочкой; в почве выработки никаких ям и каналов для кабелей не устраивают; кабели прокладываются по стенам на кронштейнах, вводятся в камеру через трубы, отверстия которых герметизируются глиной; в камере располагают средства для тушения пожара 3 (не менее двух сухих огнетушителей, ящик с песком).

Для питания стационарных конвейерных установок, размещения КРУ-6, в некоторых случаях для электрооборудования участков оборудуются стационарные участковые подстанции УТП, располагаемые в специальных камерах.

Камеры участковых подстанций (рис. 23.4) размещаются либо на штреках, либо в местах пересечения штреков с наклонными выработками.

Они комплектуются оборудованием так же, как и камеры ЦПП, но, в отличие от них: силовые трансформаторы от распредпунктов не отделяются перегородкой; средства тушения пожара размещаются вне камеры в специальной нише, располагаемой со стороны свежей струи воздуха на расстоянии 3—4 м от входа в камеру; превышение уровня пола камеры над уровнем почвы в примыкающей выработке составляет 100—200 мм; при длине камеры до 6 м вентиляция ее осуществляется за счет диффузии; в распределительном устройстве напряжением 0,4 (0,69) В устанавливают только фидерные автоматы, после утечки и осветительные трансформаторы.

Для устройства распределительных пунктов, где размещаются КРУ 6кВ устраивают камеры, подобные камерам УТП.

Распределительные устройства (РП) напряжением 0,4—0,69 кВ и участковые РП напряжением 1,2 кВ устраивают в штреке на расстоянии более 10 м от забоя, в сухих местах выработки.

С целью сокращения трудоемкости при монтаже и переносках РП для комплектования (соединения) отдельных пускателей используют гибкие кабели; всю пусковую аппаратуру устанавливают на передвижные стеллажи в порядке убывающей мощности.

На каждом пускателе, автомате и КРУ на крышке делается надпись (или помещается бирка с надписью), в которой указываются потребитель и величина токовой уставки.

К каждому кабелю, отходящему от РП, крепится бирка с указанием потребителя, типа, сечения и длины кабеля.

Если РП заземлен, на нем крепится металлическая пластина с надписью «Заземлено».

Пусковая аппаратура на РП участка пломбируется.

Глава 24

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕТИ В ПОДЗЕМНЫХ ВЫРАБОТКАХ УГОЛЬНЫХ И СЛАНЦЕВЫХ ШАХТ

24.1. Общие сведения

Подземные электрические сети угольных и сланцевых шахт можно разделить на группы по следующим признакам:

накам:

а) по величине напряжения — сети для напряжения до 1000 В и свыше 1000 В;

б) по назначению — силовые, осветительные, управления, связи и сигнализации;

в) по характеру работы потребителей — стационарные и передвижные.

Учитывая повышенную опасность повреждения электрических сетей в подземных условиях, ограниченность пространства, для сооружения сетей применяются только кабельные линии.

Для прокладки в подземных условиях применяются бронированные, полугибкие и гибкие кабели с оболочками или защитными покровами, не распространяющими горение, с токоведущими медными жилами.

В качестве герметизирующей оболочки в шахтных кабелях применяются оболочки из свинца или поливинилхлоридного пластиката.

Для стационарной прокладки в вертикальных и наклонных выработках, проведенных под углом свыше 45° , используют бронированные кабели с проволоочной броней, с поливинилхлоридной, резиновой или бумажной изоляцией, пропитанной обеснженными смесями.

В горизонтальных и наклонных выработках, проведенных под углом до 45° , допускается применение бронированных кабелей с ленточной броней, с бумажной изоляцией.

Передвижные участковые подстанции присоединяются к КРУ-6 с помощью бронированных кабелей повышенной гибкости (полугибких кабелей) на напряжение 6 кВ; распределительные пункты низкого напряжения соединяются с ПУП полугибкими кабелями на напряжение до 1 кВ.

Питание передвижных машин и механизмов, работающих при напряжении 380—1140 В, осуществляется через гибкие экранированные кабели.

Если по технологии работы предусмотрена работа кабелеподборщика (например, на крутых пластах), гибкие экранированные кабели должны иметь специальную конструкцию, повышающую их прочность.

Ручные электросверла должны получать электроэнергию по особо гибким экранированным кабелям.

Для стационарного освещения рекомендуется применять бронированные кабели с ленточной броней, но допускается применение и гибких кабелей.

Для устройства сетей сигнализации, управления, связи рекомендуется применять бронированные и гибкие кабели в зависимости от условий, в которых они прокладываются.

24.2. Шахтные бронированные и полугибкие кабели

Шахтные бронированные кабели отличаются от кабелей общего назначения, рассмотренных в 10.3, тем, что токоведущие и вспомогательные жилы их изготавливаются из меди, герметизирующая оболочка из свинца, а антикоррозийное покрытие — из негорючих материалов.

В табл. 24.1 приведены марки наиболее распространенных шахтных бронированных, полугибких и гибких кабелей и области их применения.

Внешний вид и сечение кабелей СПн, СБн, СБн-В показаны на рис. 24.1.

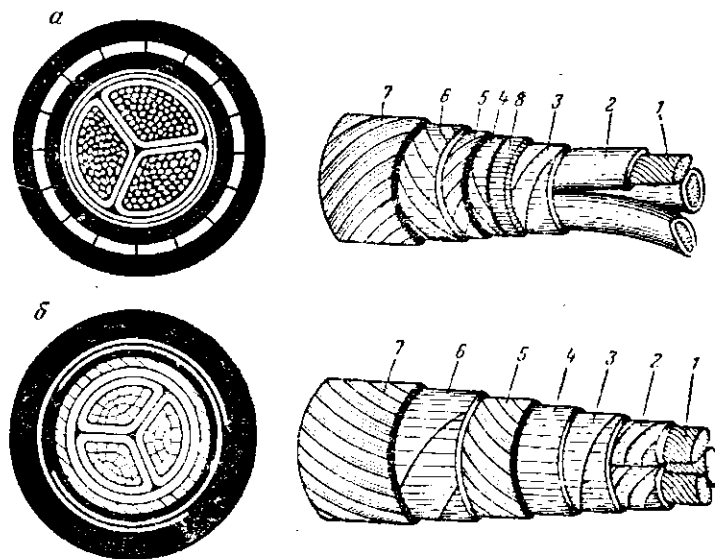


Рис. 24.1. Общий вид и разрез кабелей СПн (а) и СБн, СБн-В (б): 1 — токоведущие жилы; 2 — жилая изоляция; 3 — поясная изоляция; 4 — свинцовая оболочка; 5 — праж; 6 — броня; 7 — антикоррозийное покрытие из праж.

Таблица 24.1

Марка кабеля	Напряже- ние, кВ	Количество и сечение жил, мм ²	Характеристика	Область преимуще- ственного применения
СБн (СПн)	6, 10 1	Трехжиль- ные: 10—240; 6—240	С бумажной изоляцией, пропитанной нормальным составом, в свинцовой оболочке, бронированный стальными лентами (провода плоская) покрытие брони — негорючее	Горизон- тальные и наклонные выработки с разностью уровней до 15—25 м
СБн-В (СКн-В)	6 1	Трехжиль- ные: 16—120, 6—120	С бумажной изоляцией, пропитанной обедненной смесью, в свинцовой оболочке, бронированный стальными лентами (круглая проволока, покрытие брони — негорючее)	Наклонные выработки с разностью уровней до 100 м
СВВш	6— 10 1	Четырех- жильные (основные жилы): 10—185, 10—240	То же, что и СБн, но в поливинилхлоридной оболочке, не распространяющей горение	То же, что и СБн, по для шахт с агрессивны- ми средами
СПВш	1	Четырех- жильные и трех- жильные (основные жилы): 16—240	С бумажной изоляцией, пропитанной нормальным составом, в свинцовой оболочке, бронированный стальными плоскими проволоками, в поливинилхлоридной оболочке, не распространяющей горение	То же, что и СБн-В, но для шахт с агрессив- ными сре- дами
ЦСКн (ЦСПн)	6, 10	Трехжиль- ные; 25—185	С бумажной изоляцией, пропитанной нестекающей массой в свинцовой оболочке, бронированный круглой (плоской) проволокой, покрытие брони — негорючее	Вертикаль- ные выра- ботки без ограничений
ЦСКВш (ЦСПВш)	6	Трехжиль- ные; 25—185	То же, что и ЦСКг, но с поливинилхлоридным покрытием, не распространяющим горение	Вертикаль- ные выра- ботки с агрессивны- ми средами

Продолжение табл. 24.1

Марка кабеля	Напряже- ние, кВ	Количество и сечение жил, мм ²	Характеристика	Область преимуще- ственного применения
ЭВТ	0,66 6	Четырех- и восьмижиль- ные: основные жилы: 10—95 16—35, се- чение вспо- могатель- ных — 4, заземляю- щей — 1	Экранированный, в поли- хлорвиниловой оболочке, бронированный много- проволочными стальными канатиками, с негорючим покрытием, изоляция жил из поливинилхлоридного пластиката	Для питания передвиж- ных и ста- ционарных участковых подстанций
ГРШЭ	1	Четырех- и семижиль- ные; 4—95	Шахтный гибкий, экра- нированный, с резиновой изоляцией, в резиновой оболочке, не распростра- няющей горения	Питание передвиж- ных машин на участках
ГВШЭ	1	Четырех-, семи- и восьми- жильные; 4—70	Шахтный гибкий, экра- нированный, с изоляцией и оболочкой из негорю- чего поливинилхлорид- ного пластиката	То же
ГРШЭП	1	Десяти- жильные; 16—50	Шахтный гибкий, экра- нированный, с резиновой изоляцией и оболочкой, не распространяющей горения, с упрочняющими элементами из синтетиче- ского материала	Питание передвиж- ных машин с кабелепод- борщиком на крутых пластах
ШРБЭ	1	Пятижиль- ные; 1,5—6	Шахтный особо гибкий, экранированный, с рези- новой изоляцией и обо- лочкой, не распространя- ющей горения	Питание ручных и колонковых сверл и другого руч- ного ин- струмента
ШВБЭ	1	Пятижиль- ные; 1—6	То же, что и ШРБЭ, но с изоляцией и оболочкой из поливинилхлоридного пластиката	То же, что и ШРБЭ
КГШ	0,25	12—38- жильные; 1,5—2,5	Гибкий кабель с изоля- цией и оболочкой из по- ливинилхлоридного пла- стиката	Питание контроль- ных цепей передвиж- ных забой- ных машин

Прокладка кабеля в горизонтальных и наклонных выработках ведется с барабана, на котором кабель поставляется с завода. Вращая барабан, кабель вручную растягивается на необходимую длину и крепится к креплению выработки.

В капитальных выработках крепление кабеля осуществляется на металлических скобах, которые располагаются вдоль выработки на расстоянии не более 3 м друг от друга. При параллельной прокладке нескольких кабелей расстояния между ними должны быть не менее 5 см.

Место крепления кабелей должно выбираться таким образом, чтобы исключалась опасность повреждения кабелей движущимися составами вагонеток.

В выработках с деревянным и металлическим креплением применяется податливый способ крепления кабеля с помощью деревянных колышков, кронштейнов, петель из брезента или холста.

ПБ запрещает прокладку кабеля и вентиляционных труб из сгораемого материала на одной стороне выработки.

Прокладка кабеля в вертикальных выработках производится сверху вниз. На поверхности или на горизонте устанавливают барабан с кабелем на специальном устройстве, которое дает возможность свободно проворачиваться барабану, но при необходимости может затормозить его вращение до полной остановки. Для спуска кабеля в ствол применяют лебедку грузоподъемностью, достаточной для удержания полного веса прокладываемого кабеля, и стальной канат.

Кабель надежно крепят к стальному канату через каждые 2,5 м бандажами из шпагата или мягкой проволоки и через блок спускают в выработку на полную длину. Затем снизу отвязывают кабель от каната и крепят его к стенке выработки или к специальным конструкциям.

Крепление осуществляется либо с помощью специальных разъемных хомутов, либо с помощью клиновых зажимов, заранее смонтированных в стволе.

На рис. 24.2 приведен чертеж кронштейна с несколькими клиновыми зажимами. Скоба 1 крепится к креплению ствола, в ней монтируется необходимое количество конических гнезд 2. Кабель захватывается гнездом

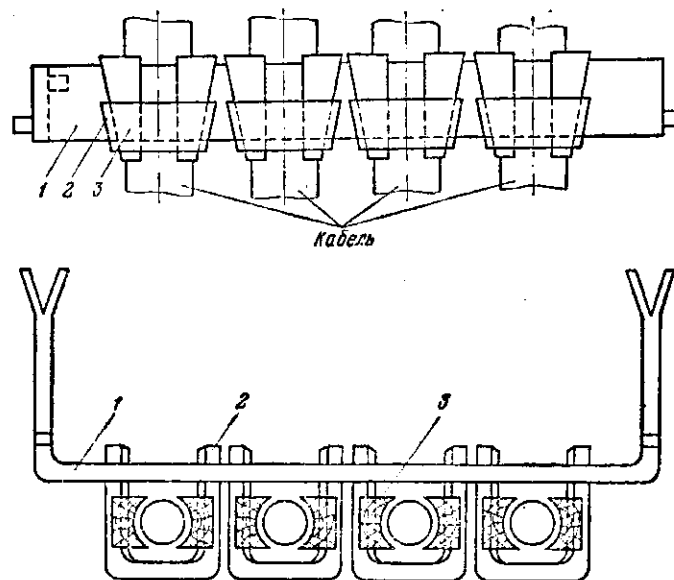


Рис. 24.2. Кронштейн для крепления кабелей в стволе

при монтаже и зажимается между стенками пластмассовыми клиньями 3. Расстояние между скобами или кронштейнами для крепления кабеля в вертикальных выработках не должно превышать 6 м.

Если строительная длина кабеля недостаточна, то прокладывают необходимое количество кусков кабеля и соединяют их между собой с помощью соединительных муфт.

Для соединения бронированных кабелей напряжением до 1 кВ применяются соединительные чугунные муфты типа СЧ и СЧм, для кабелей напряжением 6—10 кВ — свинцовые муфты типа СС с защитными стальными или чугунными кожухами типа КзС и КзЧ.

Конструкция муфт и их монтаж должны обеспечить непрерывность всех элементов бронированного кабеля.

Для создания герметичности муфты, обеспечения качества изоляции перечисленные муфты заливаются в горячем состоянии специальной кабельной массой, нагретой до температуры 473 К.

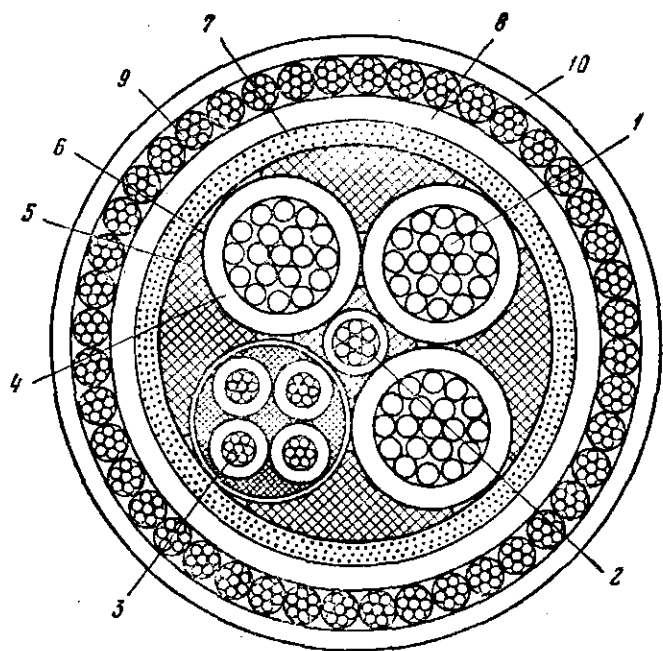


Рис. 24.3. Конструкция полугибкого кабеля ЭВТ:

1 — силовая жила; 2 — заземляющая жила; 3 — вспомогательные жилы; 4 — изоляция из полупроводникового пластика; 5 — общий экран; 6 — индивидуальные экраны из медной фольги; 7 — поясная изоляция; 8 — общий экран из медной фольги; 9 — броня из стальных канатиков; 10 — штанговая оболочка

Помимо перечисленных муфт в подземных условиях широко применяются эпоксидные муфты марки СЭс, СЭп, которые заливаются эпоксидным компаундом, не требующим подогрева.

Основными недостатками бронированных кабелей в условиях подземной эксплуатации являются: а) чрезмерная жесткость; б) отсутствие жилы заземления и вспомогательных жил.

В настоящее время эти недостатки устранены в полугибких кабелях марки ЭВТ, предназначенных для участков сетей.

Кабели марки ЭВТ выпускаются для напряжений в 1 и 6 кВ, имеют изоляцию и наружную оболочку из негорючего полихлорвинилового пластиката, каждая токоведущая жила поверх изоляции имеет экран из токопро-

водящего пластиката и медной фольги, бронированы стальными канатиками. Поперечное сечение кабеля ЭВТ представлено на рис. 24.3, а характеристика — в табл. 24.1.

24.3. Шахтные гибкие кабели

Шахтные гибкие кабели служат для питания электроэнергией передвижных участков машин и механизмов.

Гибкие кабели работают в сложных условиях, поэтому к ним предъявляются следующие требования: высокая прочность на разрыв и стирание; большая гибкость, повышенная эластичность; высокая электрическая прочность изоляции; наличие помимо силовых жил достаточного количества вспомогательных жил для дистанционного управления, сигнализации и заземления передвижных машин; наличие устройств, обеспечивающих быстрое (в течение 0,2 с) срабатывание защитных аппаратов при повреждении кабеля; негорючесть кабеля.

Выполнение всех требований в одинаковой степени затрудняется тем, что часть требований (например «а» и «б») противоречивы. Поэтому электротехническая промышленность создавала и создает довольно большое количество марок гибких кабелей.

В качестве изоляции и защитной оболочки кабеля применяются резина и специальные виды пластмасс. Применение того или иного изоляционного материала в кабеле находит отражение в его наименовании (при применении резины в наименовании стоит буква Р, при применении пластмасс — буква В).

Минимальным количеством жил для гибкого кабеля является четыре жилы: три жилы для передачи электроэнергии к потребителю и одна жила для осуществления заземления его.

Для машин с дистанционным управлением кабель имеет 5—10 жил (3 — силовые, 1 — заземляющая и 1—5 — вспомогательные).

Для передачи электроэнергии машинам различной мощности используются кабели с различным сечением силовых, заземляющих и вспомогательных жил.

Силовые жилы изготавливаются сечением от 2,5 до 95 мм².

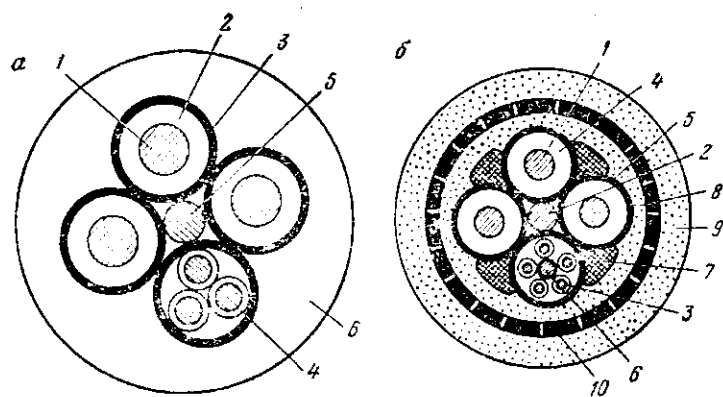


Рис. 24.4. Конструкция гибких кабелей:

а — ГРШЭ: 1 — силовая жила; 2 — резиновая изоляция жил; 3 — экран из полупроводящей резины; 4 — вспомогательная жила; 5 — заземляющая жила; 6 — шланговая резина; *б* — ГРШЭП: 1 — силовая жила; 2 — заземляющая жила; 3 — вспомогательная жила; 4 — изоляция жилы; 5 — экран; 6 — сердечник лавсановый; 7 — лавсановая пряжа; 8 — поясная изоляция; 9 — внешняя шланговая оболочка; 10 — разделительный, упрочняющий слой из лавсана

Сечение заземляющей жилы у всех кабелей, начиная с сечения силовой жилы 16 мм^2 и выше, равно 10 мм^2 ; при сечении силовых жил меньше 16 мм^2 — на одну ступеньку ниже сечения силовой жилы, но не менее $1,5 \text{ мм}^2$.

Вспомогательные жилы при сечении силовых жил от 6 до 10 мм^2 выполняются сечением $2,5 \text{ мм}^2$, при сечении больше 10 мм^2 — сечением 4 мм^2 .

В кабелях для бурильных установок (ШРБЭ, ШВБЭ) все жилы выполняются одного сечения, равного сечению силовых жил.

Для обеспечения надежной работы защиты от утечек тока каждая токоведущая жила поверх нормальной изоляции имеет токопроводящий экран, который соединяется с заземляющей жилой.

Реле утечки включается таким образом, что оно контролирует ток утечки между фазами и заземленными экранами.

Так как при механическом повреждении экранированного кабеля всякой опасной утечке тока на землю или другую фазу предшествует утечка тока на экран, то реле утечки сработает и автоматически выключит

питание в кабеле до момента появления искрения. Поэтому ПБ предусматривают для электроснабжения передвижных машин в шахтах, опасных по газу или пыли всех категорий, применение только экранированных кабелей.

Кабели ГРШЭ и ГВШЭП имеют одинаковую конструкцию, показанную на рис. 24.4, *а*, и отличаются друг от друга только материалом, из которого изготовлена изоляция жил и защитная оболочка.

Кабели ГРШЭП (рис. 24.4, *б*) отличаются от ГРШЭ следующим: увеличена механическая прочность за счет применения лавсановых прядей 6, 7 и прокладок 10; увеличено количество вспомогательных жил.

Кабели ШРБЭ и ШВБЭ имеют аналогичную конструкцию, но более эластичны и прочны, что достигнуто за счет применения более эластичных изолирующих и защитных материалов и малого шага скрутки токоведущих жил.

ПБ запрещается содержание гибкого кабеля в бухтах и «восьмерках» под напряжением; для подвески разрешается использовать только податливый способ крепления.

В очистных забоях при мощности пласта до 1 м разрешается кабель не подвешивать, но обязательно укладывать его в местах, где опасность повреждения будет наименьшая.

Неблагоприятные условия работы гибких кабелей в забое приводят к быстрому их износу и частым повреждениям, что связано с серьезной опасностью электрического удара и пожара, а также с нарушением безопасности работы питаемых ими приемников. Поэтому совершенно необходимо, во-первых, своевременно ремонтировать поврежденные места кабеля, а во-вторых, принимать меры к тому, чтобы избежать этих повреждений.

Повреждения кабелей по их характеру можно разделить на две основные группы: повреждения наружного слоя изоляции; повреждения внутреннего слоя изоляции или токоведущих жил.

В первом случае кабель ремонтируют на месте работы с помощью самовулканизирующейся пасты, во втором случае ремонт производится только в мастерских спосо-

бом вулканизации места повреждения.

ПБ запрещают: эксплуатацию гибкого кабеля с холодными счалками (счалка двух концов кабеля методом скрутки поврежденных жил и последующей изоляции их изоляционной лентой); эксплуатацию гибкого кабеля, у которого на 100 м длины имеется более четырех вулканизированных счалок.

24.4. Расчет кабельной сети для напряжения до 1000 В

Нормальная, продолжительная работа потребителя и его кабельной сети возможна при условии допустимого колебания величины напряжения на его зажимах и допустимого нагрева кабелей. Поэтому расчет кабельной сети сводится к выбору сечения и длины кабеля по условиям нагрева и допустимой потере напряжения в нем.

Прежде чем приступить к определению сечения кабелей, необходимо: определить фактические нагрузки всех приемников электроэнергии на участке; принять схему электроснабжения; рассчитать мощность и принять определенный тип трансформатора, знать его полную техническую характеристику; принять для каждого участка сети определенный тип кабеля; решить вопрос о необходимой максимальной длине кабелей на всех участках сети; вычертить принципиальную схему электроснабжения потребителей участка от УТП.

Расчет сечения кабеля по допустимому нагреву базируется на том, что при прохождении тока по проводнику в нем выделяется тепло, количество которого пропорционально квадрату тока, сопротивлению проводника и длительности протекания тока. Выделяемое тепло частично отдается в окружающую среду, частично идет на нагрев кабеля и его изоляцию.

Во избежание перегрева изоляции и выхода ее из строя, сечение кабелей необходимо выбирать так, чтобы при определенной температуре окружающей среды и определенной токовой нагрузке температура изоляции не превышала допустимую.

Институтами произведены необходимые тепловые расчеты и в справочниках приведены допустимые токовые нагрузки для всех типов кабелей при температуре окружающей среды 298 К. Там же приводятся и поправочные коэффициенты для величин температур, отличающихся от принятых.

Таким образом, определив фактическую токовую нагрузку рассчитываемого кабеля, учтя температуру окружающей среды, по справочнику выбирают сечение принятого типа кабеля.

Расчет сечения кабеля по допустимому падению напряжения базируется на двух положениях:

первое — при прохождении тока по проводнику теряется часть напряжения, а так как в нашем случае ток проходит через обмотку трансформатора, магистральный кабель, кабель потребителя, величина фактических потерь напряжения ΔU_{ϕ} в некоторых случаях может быть значительной;

второе — промышленность гарантирует нормальную работу электропотребителей при условии, что на зажимы будет подаваться номинальное напряжение или напряжение, отличающееся от номинального на определенную величину; ГОСТ 13109-67 установлены допустимые потери напряжения $\Delta U_{\text{доп}}$.

Таким образом, для нормальной работы потребителей необходимо, чтобы фактические потери напряжения в кабельной сети ΔU_{ϕ} не превышали допустимых потерь. В связи с тем, что на участке работают в основном двигатели и аппараты, $\Delta U_{\text{доп}}$ вычисляют по формуле

$$\Delta U_{\text{доп}} = U_{\text{тр}} - 0,95 U_{\text{ном}},$$

где $U_{\text{тр}}$ — напряжение холостого хода вторичной обмотки трансформатора; $U_{\text{ном}}$ — номинальное напряжение потребителей.

Фактические потери ΔU_{ϕ} (рис. 24.5) складываются из потерь в трансформаторе $\Delta U_{\text{тр}}$, в магистральном кабеле $\Delta U_{\text{бр}}$, в кабеле потребителя $\Delta U_{\text{г}}$, т. е.

$$\Delta U_{\phi} = \Delta U_{\text{тр}} + \Delta U_{\text{бр}} + \Delta U_{\text{г}}.$$

Для проверки сечения кабеля на потерю напряжения выбирается самый мощный и удаленный от трансформатора потребитель. Если его сеть будет удовлетворять требованиям, то кабельную сеть остальных потребителей можно не проверять, так как они находятся в более благоприятных условиях.

Проверка производится в двух режимах работы проверяемого потребителя: при нормальной работе потребителей и при пуске проверяемого потребителя.

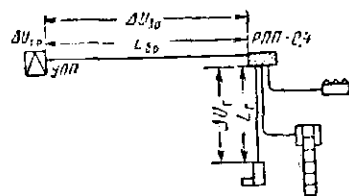


Рис. 24.5. Расчетная схема электроснабжения участка

При нормальном режиме работы потребителей в магистральном кабеле находят суммарный кажущийся ток $I_{бп}$ по формуле

$$I_{бп} = \sqrt{(I_1 \cos \varphi_1 + I_2 \cos \varphi_2 + I_3 \cos \varphi_3)^2 + (I_1 \sin \varphi_1 + I_2 \sin \varphi_2 + I_3 \sin \varphi_3)^2},$$

где I_1, I_2, I_3 — фактические кажущиеся рабочие токи потребителей; $\cos \varphi_1, \cos \varphi_2, \cos \varphi_3$ — фактические коэффициенты мощности; $\sin \varphi_1, \sin \varphi_2, \sin \varphi_3$ — фактические синусы фи.

Потери в трансформаторе определяются по формуле

$$\Delta U_{тр} = \beta (U_a \cos \varphi_{ср} + U_p \sin \varphi_{ср}),$$

где β — коэффициент загрузки трансформатора, представляющий собой отношение расчетной нагрузки трансформатора к его номинальной мощности; U_a — относительная величина активной составляющей напряжения короткого замыкания трансформатора, %; U_p — относительная величина реактивной составляющей напряжения короткого замыкания трансформатора, %; $\cos \varphi_{ср}$ — фактический коэффициент мощности сети. Эти величины определяются по формулам:

$$U_a = \frac{P_k}{S_{тр}} 100; \quad U_p = \sqrt{U_k^2 - U_a^2},$$

где P_k — потери короткого замыкания трансформатора (берутся из паспорта); U_k — напряжение короткого замыкания трансформатора, % (берется из паспорта); $\cos \varphi_{ср}$ — средневзвешенный коэффициент мощности (вычислен при расчете мощности трансформатора).

Потери в магистральном кабеле $\Delta U_{бп}$ определяются по формуле

$$\Delta U_{бп} = \frac{\sqrt{3} I_{бп} L_{бп} \cos \varphi_{ср}}{\gamma S_{бп}},$$

где $I_{бп}$ — ток в магистральном кабеле, А; $L_{бп}$ — длина магистрального кабеля, м; γ — удельная проводимость меди (принимается 50—53 м/(Ом · мм²)); $S_{бп}$ — сечение кабеля, мм².

Потери в кабеле приемника определяются по формуле

$$\Delta U_2 = \frac{\sqrt{3} I_r L_r \cos \varphi_r}{\gamma S_r},$$

где L_r — длина кабеля приемника, м; I_r — ток в кабеле, А; S_r — сечение кабеля, мм².

В случае, если фактические потери $\Delta U_{ф}$ будут больше допустимых $\Delta U_{доп}$, необходимо принять большее сечение кабелей (как правило, магистрального) и снова произвести проверочный расчет с учетом нового сечения кабеля. Иногда для уменьшения потерь прибегают к уменьшению длины магистрального кабеля.

Проверку кабельной сети на потери напряжения при пуске наиболее мощного и наиболее удаленного потребителя производят аналогичным методом, но допустимые потери $\Delta U_{доп}$ определяют как разность между напряжением холостого хода трансформатора $U_{тр}$ и напряжением $U_{п.ф.}$, необходимым для создания нужного пускового момента. Величина $U_{п.ф.}$ определяется по формуле

$$U_{п.ф.} = 1,1 U_{ном} \sqrt{\frac{k}{a}},$$

где $U_{ном}$ — номинальное напряжение двигателя; k — коэффициент, показывающий, во сколько раз пусковой момент должен быть больше номинального для успешного пуска данного двигателя (для машин добычных участков $k = 1 \div 1,5$); a — кратность пускового момента (берется из технической характеристики двигателя).

Фактические потери в сети определяются как разность между $U_{тр}$ и предполагаемым пусковым фактическим

напряжением на зажимах запускаемого двигателя U_{ϕ} , которое определяется по формуле

$$U_{\phi} = \frac{U_{\text{рп}}}{1 + \sqrt{3} \frac{I_{\text{дв.п.н}}}{U_{\text{ном}}} (R \cos \varphi_{\text{н}} + X \sin \varphi_{\text{н}})},$$

где $U_{\text{рп}}$ — напряжение на зажимах распределителя, откуда питается пускаемый двигатель. Оно определяется как разность между напряжением холостого хода трансформатора $U_{\text{тр}}$ и потерей напряжения в сети до распределителя при нормальной работе всех приемников за исключением пускаемого, т. е.

$$U_{\text{рп}} = U_{\text{тр}} - (\Delta U_{\text{тр}} + \Delta U_{\text{бр}});$$

$I_{\text{дв.п.н}}$ — пусковой ток двигателя при номинальном напряжении на его зажимах; R, X — суммарное активное и реактивное сопротивление цепи от трансформатора до зажимов запускаемого двигателя; $\cos \varphi_{\text{н}}, \sin \varphi_{\text{н}}$ — коэффициенты, соответствующие пусковому режиму двигателя ($\cos \varphi_{\text{н}} = 0,4$).

Сравнивая допустимые потери с фактическими, определяют возможность запуска двигателя. Если фактические потери окажутся больше допустимых, двигатель не запустится и надо увеличивать сечение кабеля.

Окончательное сечение кабеля принимается по наибольшему результату, полученному в вышеприведенных расчетах.

Раздел седьмой

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ НА ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Глава 25

КОЭФФИЦИЕНТ МОЩНОСТИ И ЕГО НАРОДНОХОЗЯЙСТВЕННОЕ ЗНАЧЕНИЕ

25. 1. Коэффициент мощности, способы вычисления и измерения его

Основными потребителями электрической мощности на горных предприятиях являются асинхронные двигатели. Они потребляют из сети активную и реактивную мощность. При этом активная мощность расходуется на выполнение полезной работы, преодоление сил трения, нагрев проводников электродвигателя и т. д. Реактивная мощность необходима для поддержания электромагнитных полей трансформаторов, двигателей и практически не зависит от нагрузки двигателя или трансформатора.

Активная и реактивная мощности передаются по линиям электропередач к потребителям.

Величина, которая показывает, какую долю потребляемой мощности составляет активная мощность, называется *коэффициентом мощности*.

Известно, что кажущаяся мощность S вычисляется по формуле

$$S = \sqrt{P_a^2 + Q_p^2},$$

где P_a — активная мощность; Q_p — реактивная мощность.

Тогда $\cos \varphi$ можно определить по формуле

$$\cos \varphi = \frac{P_a}{\sqrt{P_a^2 + Q_p^2}}.$$

Так как мощность пропорциональна величине тока, то

$$\cos \varphi = \frac{I_a}{\sqrt{I_a^2 + I_p^2}},$$

где I_a — активная составляющая тока; I_p — реактивная составляющая тока.

Для учета израсходованной электроэнергии на подстанциях предприятий устанавливаются счетчики активной и реактивной энергии. Используя показания счетчиков, можно определить средний коэффициент мощности $\cos \varphi_{\text{ср}}$ за определенное время работы предприятия по формуле

$$\cos \varphi_{\text{ср}} = \frac{W_a}{\sqrt{W_a^2 + W_p^2}},$$

где W_a — количество израсходованной активной энергии; W_p — то же, реактивной энергии.

Так как $\cos \varphi_{\text{ср}}$ — величина средняя, ее нельзя использовать для оценки потребностей предприятия в реактивной мощности в данное время.

Для измерения $\cos \varphi$ служит прибор — фазометр.

При проектировании электроснабжения коэффициент мощности определяют путем расчетов.

25.2. Причины и последствия снижения коэффициента мощности

Все установки, использующие электрическую энергию переменного тока, проектируются и изготавливаются так, чтобы они имели максимальный коэффициент мощности при номинальной нагрузке. Однако в процессе работы многие потребители по разным причинам работают с коэффициентом мощности ниже номинального.

Основные причины снижения $\cos \varphi$ предприятия следующие: работа асинхронных двигателей и трансформаторов с неполной нагрузкой; работа двигателей и трансформаторов вхолостую; увеличение воздушного зазора в результате некачественного ремонта электродвигателя; работа электродвигателей при напряжении выше номинального; работа большого количества асинхронных двигателей с фазным ротором.

Ухудшение коэффициента мощности электроустановок вызывает:

увеличение мощности трансформаторов, генераторов для обеспечения работы потребителей с той же активной мощностью, так как

$$P = \frac{P_a}{\cos \varphi},$$

где P — полная потребляемая мощность потребителя; увеличение сечения линий электропередач для передачи того же активного тока

$$I = \frac{I_a}{\cos \varphi};$$

значительное увеличение потерь электроэнергии в линиях электропередач;

увеличение потерь напряжения в сети.

25.3. Способы улучшения коэффициента мощности

Повышение коэффициента мощности на предприятиях возможно двумя путями: естественным и искусственным.

Естественный путь повышения $\cos \varphi$ предусматривает: упорядочение технологических процессов таким образом, чтобы приводные двигатели были постоянно загружены и не работали продолжительное время на холостом ходу; замену незагруженных двигателей менее мощными; замену асинхронных двигателей с фазным ротором на асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором; замену тихоходных двигателей на быстроходные; применение синхронных двигателей вместо асинхронных.

Для осуществления вышеперечисленных мероприятий не требуются капитальные затраты, поэтому естественный путь улучшения коэффициента мощности является наиболее доступным и выгодным.

Для искусственного повышения коэффициента мощности применяют компенсирующие устройства на напряжение до 1000 В и выше.

На шахтах чаще всего применяются централизованная компенсация путем установки конденсаторов на шинах 6 кВ. При этом повышается общий коэффициент мощности, но от передачи реактивной мощности разгру-

жаются только трансформаторы районных подстанций и линии, питающие ГПП.

Для разгрузки сетей участков от реактивной мощности необходимо конденсаторы устанавливать непосредственно на участках. В угольных шахтах такие установки конденсаторов не применяют из-за отсутствия их в нужном исполнении.

В связи с тем, что для установки конденсаторов необходимы определенные капитальные затраты, вопрос о применении искусственного способа повышения $\cos \varphi$ решается технико-экономическими расчетами при проектировании предприятия, а в период эксплуатации — технико-экономическими расчетами, которые производит электроснабжающая организация.

Средневзвешенный $\cos \varphi_{\text{ср}}$ нельзя использовать для оценки состояния сети предприятия по реактивной мощности, особенно в часы максимальных нагрузок электроснабжающей системы. Зачастую при высоком средневзвешенном $\cos \varphi_{\text{ср}}$ предприятие в часы максимума энергосистемы потребляет значительную часть реактивной мощности в системе.

На основании технико-экономических расчетов предприятиям устанавливается экономически целесообразная величина реактивной мощности $Q_{\text{р}}$, разрешенной к использованию с энергосистемы в часы максимальной нагрузки ее. Действительно потребляемую предприятием реактивную мощность $Q_{\text{м}}$ определяют замерами в часы максимума нагрузок энергосистемы.

Сравнивая величину разрешенной к использованию реактивной мощности $Q_{\text{р}}$ с величиной действительно потребляемой из сети реактивной мощности $Q_{\text{м}}$, можно определить эффективность мероприятий по компенсации реактивной мощности.

Глава 26

УЧЕТ РАСХОДА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

26.1. Оплата за электроэнергию

Учет израсходованной потребителем электроэнергии производится по показаниям счетчиков активной энергии и измерениям потребляемой из сети реактивной мощности $Q_{\text{м}}$ в часы максимума нагрузок.

Так как счетчики зачастую подсоединяются к сетям через трансформаторы, то действительный расход электроэнергии вычисляется по формуле

$$W_{\text{а}} = W_{\text{а.сч}} k_{\text{т}} k_{\text{тн}},$$

где $W_{\text{а}}$ — действительный расход активной энергии, $W_{\text{а.сч}}$ — показания счетчиков активной энергии, $k_{\text{т}}$, $k_{\text{тн}}$ — коэффициенты трансформации трансформаторов тока и напряжения, через которые включены счетчики.

В народном хозяйстве Советского Союза существует две системы оплаты за электроэнергию: оплата по одноставочному тарифу и оплата по двухставочному тарифу.

Оплата по одноставочному тарифу баззируется только на показаниях счетчика активной энергии.

Сумма оплаты C вычисляется как произведение количества потребляемой активной энергии $W_{\text{а}}$ (кВт·ч) на стоимость 1 кВт·ч энергии b , — т. е.

$$C = W_{\text{а}} b.$$

По этому тарифу производят оплату предприятий, у которых присоединенная мощность менее 100 кВ·А а также электрифицированный железнодорожный транспорт Министерства путей сообщения и городской транспорт, производственные сельскохозяйственные потребители, государственные учреждения, население за пользование электроэнергией для бытовых нужд и некоторые другие непроизводственные потребители.

Тарифы установлены для шести групп потребителей от 2 до 25 коп. за 1 кВт·ч.

Оплата по двухставочному тарифу состоит из основной оплаты за заявленную или присоединенную мощность потребителей на напряжение свыше 1000 В, дополнительной оплаты за потребленную активную энергию и надбавки или скидки за компенсацию реактивной мощности.

По этой системе рассчитываются промышленные предприятия, у которых присоединенная оплачиваемая мощность выше 100 кВ·А.

Для потребителей с годовым максимумом 500 кВт и больше основная плата взимается за каждый киловатт заявленной мощности. Под заявленной мощностью подразумевают наибольшую получасовую мощность, отпускаемую потребителю в часы максимума системы.

Для потребителей с годовым максимумом нагрузки менее 500 кВт, но с присоединенной оплачиваемой мощностью не менее 100 кВт · А основная плата взимается за каждый киловольт-ампер присоединенной оплачиваемой мощности. За оплачиваемую присоединенную мощность принимается мощность трансформаторов, преобразующих энергию на рабочее напряжение, и электродвигателей, потребляющих электроэнергию напряжением выше 1000 В (резервные трансформаторы и двигатели, включаемые взамен работающих автоматически или путем пересоединений, а также устройства для улучшения cos φ в оплачиваемую мощность не включаются).

Дополнительная плата двухставочного тарифа взимается с потребителей обеих групп за энергию, учитываемую счетчиком активной электроэнергии. При установке счетчика на стороне первичного напряжения оплата производится по пониженной ставке; при установке счетчика на стороне вторичного напряжения — по повышенной ставке.

Государственный комитет цен при Госплане СССР установил тарифы для всех энергоснабжающих организаций СССР, некоторые из них приведены в табл. 26.1.

Таблица 26.1

Энергосистема	Двухставочные тарифы для промышленности и приравненных к ним потребителей с оплачиваемой мощностью 100 кВт и выше			
	Основная плата за год, руб.		Дополнительная плата за 10 кВт · ч, коп.	
	С годовым максимумом		счетчик на стороне первич- ного на- пряже- ния	счетчик на стороне вторич- ного на- пряжения
	500 кВт и больше	меньше 500 кВт		
1. Донбассэнерго, Днепро- энерго	25,10	12,80	6,8	7,0
2. Киевэнерго, Львовэнерго, Мосэнерго	43,10	22,00	7,7	8,0
3. Курскэнерго, Липецк- энерго, Ростовэнерго	43,10	22,00	7,7	8,0
4. Дальэнерго, Эстонэнерго	64,90	33,70	9,2	9,5
5. Кузбассэнерго, Новоси- бирскэнерго, Алтай- энерго	36,90	18,60	4,0	4,2
6. Туркменэнерго	95,20	52,20	16,7	17,2

С целью стимулирования экономически выгодных мероприятий по компенсации реактивной мощности, с 1 января 1975 г. введена «Шкала скидок и надбавок к тарифам на электроэнергию за компенсацию реактивной мощности».

Шкала применяется для промышленных потребителей, которые производят оплату за электроэнергию по двухставочному тарифу. Скидки и надбавки исчисляются как с основной, так и с дополнительной платы за электроэнергию.

Скидки и надбавки определяются по специальной таблице в зависимости от степени компенсации реактивной мощности, определяемой коэффициентами: заданным $\text{tg} \varphi_0$, который задается энергоснабжающей организацией и вычисляется по формуле

$$\text{tg} \varphi_0 = \frac{Q_0}{P_M},$$

и фактическим $\text{tg} \varphi_M$, который определяется по формуле

$$\text{tg} \varphi_M = \frac{Q_M}{P_M},$$

где Q_0 — экономически целесообразная величина реактивной мощности, разрешенная к использованию с энергосистемы в часы максимума, квар; Q_M — величина фактически потребляемой с энергосистемы реактивной мощности в часы максимума, квар; P_M — заявленная потребителем мощность, участвующая в максимуме энергосистемы и зафиксированная в договоре на пользование электроэнергией, кВт.

Таким образом, стоимость электроэнергии C (руб.) по двухставочному тарифу определяется по формуле

$$C = \left(a P_{\max} + \frac{b W_a}{100} \right) \left(1 \pm \frac{k}{100} \right),$$

где a — годовая оплата за 1 кВт заявленной мощности или годовая оплата за 1 кВт · А присоединенной оплачиваемой мощности; $P_{\max}$ — заявленная потребителем мощность (кВт) или оплачиваемая присоединенная мощность (кВт · А); b — стоимость 1 кВт · ч активной энергии, коп.; W_a — количество потребленной активной энергии, кВт · ч; k — коэффициент скидки или надбавки за компенсацию реактивной мощности.

При двухставочных тарифах действительная стоимость 1 кВт·ч энергии C_y (она еще называется удельной стоимостью 1 кВт·ч энергии) определяется как частное от деления C на W_a , т. е.

$$C_y = \frac{C}{W_a}.$$

По величине C_y , при прочих равных условиях, можно судить, какая из шахт лучше эксплуатирует свое энергохозяйство. Себестоимость единицы продукции по электроэнергии вычисляется по формуле

$$d = \frac{C}{Q}.$$

где Q — количество продукции, выпущенной предприятием за год; C — общая стоимость электроэнергии за год.

26.2. Удельный расход электроэнергии и электровооруженность труда

Удельным расходом электроэнергии называется расход электроэнергии на единицу продукции предприятия. Это один из основных показателей, по которому судят о рациональном использовании электроэнергии. Однако показатели электропотребления зачастую не могут дать ясную картину об использовании электроэнергии на шахте, если не учитывать горно-геологические условия (глубина шахты, газоносность, водообильность и т. д.).

Анализируя потребление электрической энергии на шахте можно выделить целый ряд машин и объектов, которые потребляют электрическую энергию независимо от фактической производительности шахты. К таким машинам относятся: вентиляционные установки, насосные установки, вспомогательные подъемы, освещение и др.

Расход этими установками электроэнергии, отнесенный к единице продукции, будет характеризовать горно-геологические условия шахты и будет величиной постоянной для данного месторождения или района. Его называют постоянной составляющей удельного расхода — $a_{\text{пост.}}$

Другие потребители (комбайны для очистных забоев, комбайны для подготовительных забоев, различного забойного оборудования, транспортные установки и т. д.) расходуют электрическую энергию в зависимости от производительности шахты.

Расход электроэнергии этими машинами, отнесенный к единице продукции шахты будет характеризовать уровень механизации того или иного технологического процесса. Это будет переменная составляющая удельного расхода — $a_{\text{пер.}}$

Общешахтный удельный расход a , равен сумме составляющих, т. е.

$$a = a_{\text{пост.}} + a_{\text{пер.}} = \frac{W_a}{Q},$$

где W_a — количество активной электроэнергии, потребленной предприятием за определенный промежуток времени; Q — количество единиц продукции, выпущенной предприятием за этот же промежуток времени.

Для угольных предприятий удельное потребление электроэнергии колеблется в больших пределах в зависимости от водообильности месторождения, газоносности его, глубины залегания и т. д.

В непосредственной связи с удельным электропотреблением находится электровооруженность труда — количество электроэнергии за расчетное время, приходящееся на одного производственного рабочего.

С ростом механизации и автоматизации производственных процессов электровооруженность труда в промышленности постоянно растет.

Иногда рост удельного расхода электроэнергии и электровооруженности труда происходит за счет нерационального расхода электрической энергии. Чтобы этого не происходило, на шахте необходимо систематически проводить работы по экономии электроэнергии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абзалов Р. Ф., Заслов А. Я., Лисовик Л. К. Электрооборудование и электроснабжение горных предприятий. М., Недра, 1977.
2. Арнополин А. Г., Гнилицкий Б. С. Взрывобезопасное и взрывозащитное электрооборудование. М., Недра, 1973.
3. Базер Я. Н., Крутилин В. И., Соколов Ю. Л. Проходческие комбайны. М., Недра, 1974.
4. Взрывозащищенное электрооборудование для высокопроизводительных комплексов угольной промышленности. Под ред. Дикого Ю. А. Донецк, ВНИИВЭ, 1977.
5. Взрывобезопасные асинхронные электродвигатели новой серии ВР для угольной промышленности /А. И. Быков, Б. С. Гнилицкий, Н. Ф. Шевченко. М., Недра, 1977.
6. Грейсх М. В., Кутовой Л. Н. Электроснабжение угольных и рудных шахт. М., Недра, 1965.
7. Жданов Л. С. Учебник по физике для средних специальных учебных заведений. М., Наука, 1975.
8. Кальницкая Я. Б., Филимонов А. Г. Самоходное и доставочное оборудование на подземных рудниках. М., Недра, 1974.
9. Князевский Б. А. Охрана труда в электроустановках. М., Энергия, 1977.
10. Лейбов Р. М., Озерной М. И. Электрификация угольных подземных горных работ. М., Недра, 1972.
11. Липкин Б. Ю. Электроснабжение промышленных предприятий и установок. М., Высшая школа, 1975.
12. Медведев Г. Д. Электрооборудование и электроснабжение горных предприятий. М., Недра, 1970.
13. Озерной М. И. Электрооборудование и электроснабжение подземных разработок угольных шахт. М., Недра, 1975.
14. Полянский Н. А., Рябенко И. С., Соловей А. И. Справочное пособие электрика шахты. Киев, Техника, 1973.
15. Правила безопасности в угольных и сланцевых шахтах. М., Недра, 1973.
16. Правила технической эксплуатации угольных и сланцевых шахт. М., Недра, 1976.
17. Правила устройства электроустановок. М., Атомиздат, 1977.
18. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей и правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей. Днепропетровск, Промінь, 1974.
19. Римап Я. С. Защита подземных электрических установок угольных шахт. М., Недра, 1977.
20. Рудничное взрывобезопасное электрооборудование. Под ред. А. И. Арнополина. М., Недра, 1972.
21. Руководство по ревизии, наладке и испытанию подземных электроустановок шахт. Под ред. В. В. Дегтярева, Л. В. Седакова, Р. Г. Беккера. М., Недра, 1977.
22. Самохин Ф. И., Левиков А. М., Маврицын А. М. Горная электротехника. М., Недра, 1972.
23. Светличный П. Л., Стариков Ю. Я., Харченко А. М. Пускатели магнитные рудничные. М., Недра, 1974.
24. Справочник по электроснабжению угольных шахт /В. П. Морозов, А. Е. Яковлев, П. П. Камсский и др. М., Недра, 1975.
25. Струговая установка УСБ-67 /А. Т. Рыбалкин, А. Н. Катрич, В. В. Кичкин и др. М., Недра, 1970.
26. Сычов Л. И., Реут Л. З. Шахтные гибкие кабели. М., Недра, 1971.
27. Фотиев М. М. Электропривод рудничных машин. М., Недра, 1971.
28. Хейфиц С. Я., Балтайтис В. Я. Охрана труда и горно-спасательное дело. М., Недра, 1971.
29. Электротехнический справочник. Под ред. П. Г. Грушницкого, Г. Н. Петрова, М. М. Соколова, А. М. Федосеева, М. Г. Чиликина и И. В. Антика. М., Энергия, 1975.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Раздел первый. Защита людей от поражения электрическим током.	
Глава 1. Общие вопросы защиты.	5
1.1. Факторы, определяющие действие электрического тока на организм человека.	5
1.2. Опасность поражения электрическим током в различных сетях электроснабжения	7
1.3. Общие меры и индивидуальные средства защиты от поражения электрическим током	9
Глава 2. Специальные меры защиты человека от поражения электрическим током	10
2.1. Защита при прикосновении к корпусу электрооборудования, оказавшемуся под напряжением	10
2.2. Устройство защитных заземлений на поверхности	12
2.3. Устройство защитных заземлений в подземных выработках	14
2.4. Осмотр и измерение сопротивления защитных заземлений	18
2.5. Контроль качества изоляции и защита от утечек тока	19
2.6. Устройство и работа реле утечки	20
2.7. Первая помощь пострадавшим от электрического тока	23
Раздел второй. Потребители электроэнергии на поверхности и в шахте.	
Глава 3. Особенности эксплуатации и конструкторского исполнения рудничного электрооборудования	25
3.1. Условия эксплуатации электрооборудования на поверхности шахт.	25
3.2. Особенности эксплуатации и конструктивного исполнения рудничного электрооборудования	27
3.3. Виды исполнения электрооборудования	27
3.4. Электрооборудование в рудничном нормальном исполнении (РН)	29
3.5. Электрооборудование в рудничном исполнении повышенной надежности против взрыва (РП)	30
3.6. Рудничное электрооборудование во взрывобезопасном исполнении (РВ) и во взрывобезопасном исполнении при любых повреждениях (РО)	31
3.7. Испытание электрооборудования для определения его уровня взрывозащиты	34
Глава 4. Электродвигатели для угольных шахт	36
4.1. Классификация электродвигателей	36
4.2. Серии электродвигателей	38

Глава 5. Расчет мощности электродвигателей	41
5.1. Общие положения по выбору электропривода	41
5.2. Расчет мощности электродвигателя по величине механической нагрузки	44
5.3. Нагревание и охлаждение электродвигателя	46
5.4. Режимы работы электродвигателей и выбор их мощности из условий нагрева	48
Глава 6. Механические характеристики электродвигателей постоянного тока	53
6.1. Механическая характеристика электродвигателя постоянного тока параллельного и независимого возбуждения	53
6.2. Механическая характеристика электродвигателя постоянного тока последовательного и смешанного возбуждения	58
Глава 7. Механические характеристики электродвигателей переменного тока	60
7.1. Механическая характеристика трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором	60
7.2. Механическая характеристика трехфазного асинхронного двигателя с фазным ротором	63
7.3. Механическая характеристика синхронного двигателя	65
Глава 8. Управление электродвигателями	67
8.1. Режимы работы электродвигателей	67
8.2. Пуск, торможение и регулирование частоты вращения двигателей постоянного тока	69
8.3. Правила техники безопасности при эксплуатации электродвигателей	72
Глава 9. Правила изображения и техника чтения схем электроустановок	74
9.1. Виды и типы схем, условные графические обозначения для электрических схем	74
9.2. Некоторые рекомендации по чтению электрических схем	75
Раздел третий. Подстанции и сети на поверхности шахт	
Глава 10. Принципиальные схемы электроснабжения шахт и линии электропередач	80
10.1. Категории электроприемников по надежности электроснабжения.	80
10.2. Принципиальные схемы электроснабжения шахт	81
10.3. Воздушные и кабельные линии электропередач	85
10.4. Токи короткого замыкания в сетях напряжением выше 1000 В	91
Глава 11. Электрооборудование поверхностных подстанций	93
11.1. Общие сведения	93
11.2. Коммутационная и защитная аппаратура подстанций	94
11.3. Измерительные трансформаторы	105
11.4. Силовые трансформаторы. Расчет мощности и выбор трансформаторов	109

Глава 12. Релейная защита на подстанциях и электроустановках	110
12.1. Общие сведения о релейной защите и классификация реле	110
12.2. Устройство различных типов реле	111
12.3. Основные схемы релейной защиты ЛЭП и потребителей электроэнергии напряжением 6—10 кВ	117
Глава 13. Устройство различных типов подстанций на поверхности горных предприятий	119
13.1. Устройство главных понизительных подстанций	119
13.2. Контроль за состоянием изоляции в сетях напряжением выше 1000 В	121
13.3. Комплектные трансформаторные подстанции	122
13.4. Автоматизация в системах электроснабжения горного предприятия	123
13.5. Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок напряжением выше 1000 В	124
Раздел четвертый. Освещение подземных выработок	
Глава 14. Основные светотехнические величины и электрические источники света	126
14.1. Значение освещения, основные светотехнические величины	126
14.2. Электрические источники света	129
Глава 15. Рудничные светильники и оборудование электроосветительных установок	135
15.1. Общие сведения	135
15.2. Рудничные сетевые светильники в исполнении РН, РП, РВ	136
15.3. Рудничные аккумуляторные светильники	140
15.4. Электрооборудование осветительных установок	141
15.5. Расчет освещения в подземных выработках	142
15.6. Правила безопасности при эксплуатации электроосветительных установок в шахте	146
Раздел пятый. Рудничная аппаратура управления и защиты	
Глава 16. Элементы рудничной аппаратуры управления	147
16.1. Общие сведения и классификация аппаратуры управления	147
16.2. Элементы аппаратуры управления	148
✓ 16.3. Контактторы	155
Глава 17. Виды защит, используемых в рудничной аппаратуре	159
17.1. Общие сведения	159
✓ 17.2. Максимальная защита	(161)
17.3. Защита от неполнофазного режима работы электродвигателя	167
17.4. Тепловая защита	167
17.5. Минимальная и нулевая защита	169
17.6. Устройства для опережающего контроля качества изоляции, контроля наличия и качества заземления передвижных машин	171
17.7. Защита от частых включений контактора	175
17.8. Защита от замыканий в цепи управления контактором	176

Глава 18. Рудничная аппаратура ручного управления на напряжение до 1000 В	177
18.1. Общие сведения	177
18.2. Разъединители	178
18.3. Контроллеры	178
18.4. Ручные взрывобезопасные пускатели	180
18.5. Автоматические фидерные выключатели	181
Глава 19. Магнитные пускатели в рудничном исполнении	188
19.1. Общие сведения	188
19.2. Невосвратимые магнитные пускатели серии ПВИ	189
19.3. Невосвратимые магнитные пускатели серии ПМВИ	197
19.4. Восвратимые магнитные пускатели в рудничном исполнении	203
19.5. Магнитные пускатели на напряжение 1140 В	205
19.6. Некоторые направления совершенствования шахтных магнитных пускателей	208
19.7. Пусковые агрегаты	210
19.8. Станции управления в рудничном взрывобезопасном исполнении	215
19.9. Выбор пускателей	219
19.10. Правила безопасности при монтаже и эксплуатации аппаратуры управления	220
Глава 20. Основные принципы и схемы дистанционного управления машинами и механизмами	221
20.1. Общие сведения	221
20.2. Наиболее распространенные принципиальные схемы дистанционного управления горными машинами	222
20.3. Блокировка последовательности включения пускателей	226
20.4. Схемы управления конвейерными установками	228
20.5. Схемы дистанционного управления добычными комбайнами на шахтах, разрабатывающих пологие и крутые пласты	230
20.6. Схемы управления проходческими комбайнами	239
20.7. Схемы дистанционного управления погрузочными машинами	244
20.8. Схемы управления маневровыми лебедками и ручными электросверлами	246
20.9. Схемы управления вентиляторами местного проветривания	247
Глава 21. Рудничная аппаратура управления и защиты на напряжение 6 кВ	248
21.1. Общие сведения	248
21.2. Комплектные распределительные устройства РВД-6 и УРВМ-6/3	249
21.3. Комплектные распределительные устройства ЯВ-6400	251
21.4. Комплектные распределительные устройства КРУВ-6	255
Раздел шестой. Электроснабжение электроприемников в подземных горных выработках	
Глава 22. Общие принципы и схемы электроснабжения	256
22.1. Величины напряжений для питания подземного электрооборудования	256

22.2. Схемы электроснабжения подземных потребителей на шахтах с пологими, наклонными и крутыми пластами	257
22.3. Электроснабжение очистных и подготовительных работ шахты	260
Глава 23. Подземные трансформаторные подстанции и их оборудование	262
23.1. Общие сведения	262
23.2. Шахтные трансформаторы	263
23.3. Передвижные участковые понизительные подстанции	264
23.4. Расчет мощности участковой трансформаторной подстанции	269
23.5. Устройство камер стационарных подстанций и распределительных пунктов	271
Глава 24. Электрические сети в подземных выработках угольных и сланцевых шахт	273
24.1. Общие сведения	273
24.2. Шахтные бронированные и полугибкие кабели	275
24.3. Шахтные гибкие кабели	281
24.4. Расчет кабельной сети для напряжения до 1000 В	284
Раздел седьмой. Технико-экономические показатели электропотребления на горных предприятиях	
Глава 25. Коэффициент мощности и его народнохозяйственное значение	289
25.1. Коэффициент мощности, способы вычисления и измерения его	289
25.2. Причины и последствия снижения коэффициента мощности	290
25.3. Способы улучшения коэффициента мощности	291
Глава 26. Учет расхода электроэнергии	292
26.1. Оплата за электроэнергию	292
26.2. Удельный расход электроэнергии и электровооруженность труда	296
Список литературы	298

Леонид Степанович Бородино

ГОРНАЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

Редактор издательства *Е. И. Фролова*

Переплет художника *А. Е. Григорьева*

Художественный редактор *О. Н. Зайцева*

Технический редактор *Л. Н. Шиманова*

Корректор *Т. Ю. Шульц*

ИБ № 2352

Сдано в набор 14.01. 81. Подписано в печать 07.08.81. Т-21375
 Формат 84×108¹/₁₆. Бумага типографская № 2. Гарнитура «Литературная».
 Печать высокая. Усл. печ. л. 15,96. Уч.-изд. л. 15,58.
 Тираж 27 000. Заказ 1-34/6991—12. Цена 60 коп.

Издательство «Недра», 103683, Москва, К-14, Третьяковский проезд, 1/19.
 Харьковская книжная фабрика «Коммунист», 310012, Харьков-12, Энгельса, 11.