

ЛЕКЦИЯ 2

ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТЬ ПРИ ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ ШАХТ

2.1 Общие сведения

В шахтах на электрооборудование воздействует ряд факторов, совокупность которых определяет условия его эксплуатации. Эти факторы делятся на четыре группы:

- определяемые горно-геологическими условиями: особенности добычи полезного ископаемого; ограниченность рабочего пространства и затрудненный доступ при осмотрах и ремонтах; наличие выделяющихся газов, образующих с воздухом взрывоопасную смесь, и др. Эта группа факторов определяет вид исполнения электрооборудования и требования по его безопасной эксплуатации;

- электрического характера: токи нагрузки, изменения рабочего напряжения, число коммутационных переключений, токи короткого замыкания (КЗ), характер перегрузок, их длительность и т. д. Эта группа факторов определяет энергетический режим работы электроустановок;

- механического характера: вибрации и удары, возникающие при транспортировке и перемещении электрооборудования по горным выработкам. Эта группа факторов определяет требования к механической прочности и массе электрооборудования;

- окружающей среды: температура, влажность, запыленность рудничной атмосферы, изменения этих факторов в зависимости от скорости движения рудничного воздуха по выработкам. Эта группа факторов определяет срок службы электрооборудования.

Для шахт характерно наличие взрывоопасной атмосферы – метан в смеси с воздухом и взвешенная пыль. Подземные выработки шахт относятся к особо сырým помещениям, в которых относительная влажность атмосферы достигает 100%, с наличием агрессивных (кислотных и щелочных) вод; токопроводящей угольной пыли, различных горючих материалов. Основная масса подземных электроустановок вследствие непрерывного или периодического подвигания фронта очистных и подготовительных работ относится к категории передвижных, для которых требования электробезопасности должны быть повышены. При этом следует учитывать, что эксплуатация подземных электроустановок осуществляется в условиях ограниченных рабочих пространств горных выработок, возможности обрушения породы, недостаточной освещенности рабочих мест и т.д.

Требования безопасного электроснабжения в основном сводятся к исключению опасности возникновения взрывов пылевоздушной, газовоздушной или пылегазовоздушной среды; возникновения пожаров; поражения персонала электрическим током.

Условиями взрыва пыле- или газовоздушной атмосферы служат два совпадающих во времени фактора: наличие взрывоопасных газов или пыли в опасной концентрации и источника зажигания достаточной мощности.

Условие возникновения пожаров – одновременное наличие горючих материалов и достаточно мощного источника зажигания. Источником пожара могут быть электрические дуги, искры, а также нагретые до высокой температуры токоведущие части.

Относительно поражения обслуживающего персонала электрическим током, то несмотря на меры предосторожности и защиты, случаи электротравматизма на шахтах все еще продолжают иметь место.

Поэтому шахты имеют специфические условия и являются объектами особой электроопасности, в которых эксплуатация электрооборудования должна производиться в строгом соответствии с ПБ и правилами технической эксплуатации (ПТЭ).

2.2 Действие электрического тока на организм человека

Действие электрического тока на организм человека представляет собой сложное явление. Электричество может непосредственно влиять на ткани, вызывая непроизвольное сокращение мышц, а также блокирует действие биотоков на всем пути их прохождения, что может повлечь опасную для жизни человека реакцию организма.

Поражение электрическим током может быть выражено в форме электрического знака, электрометаллизации кожи, электрического ожога или электрического удара и электроофтальмии.

Наиболее опасный электрический удар – это такой, который может повлечь смерть человека из-за спазмов мышц легких или фибрилляцию мышц сердца. Опасность усугубляется еще и тем, что отсутствуют любые внешние признаки, предупреждающие человека об угрозе поражения током.

Последствия воздействия электрического тока зависят, в основном, от величины тока и длительности его действия. По этим признакам различают: ощутимый ток – наименьшее значение тока, влияние которого чувствуется человеком (средние значения ощутимого переменного тока частотой 50 Гц оцениваются границей 0,8–1,8 мА, для постоянного тока приблизительно в 3,5–4 раза больше); отпускающий ток – наибольшее значение тока, при котором человек сможет без посторонней помощи освободиться от контакта с частями, которые находятся под напряжением (средние значения переменного отпускающего тока частотой 50 Гц приблизительно в 4 раза превышают средние значения ощутимого тока и оцениваются диапазоном в 4–8 мА, для постоянного – в 3–4 раза больше); неотпускающий ток – наименьшее значение тока, при котором человек не в состоянии самостоятельно освободиться от действия тока и поддается смертельной опасности (среднее значение переменного неотпускающего тока частотой 50 Гц составляет 8–16 мА).

Переменный ток частотой 50 Гц на уровне 100 мА и выше оценивается как смертельный. Однако его значение может быть снижено в 3–4 раза, т.к. опасность поражения электрическим током зависит не только от величины и длительности действия тока, но и от пути его прохождения через тело человека, рода и частоты тока, параметров окружающей среды (температуры, влажности, давления), состояния организма человека и его физиологических особенностей.

Наиболее опасный ток – это тот, который проходит через сердце, органы дыхания и мозг. Электрический ток промышленной частоты 50–60 Гц и частотой 200 Гц являются наиболее опасными для человека. Увеличение частоты тока до 2000 – 2500 Гц мало снижает опасность поражения. Однако при последующем увеличении частоты степень опасности тока заметно уменьшается.

В Украине для угольных шахт Правила изготовления взрывозащищенного рудничного электрооборудования (ПИБРЭ) предлагают как предельно безопасную величину длительного тока 30 мА, а при автоматической компенсации емкостной составляющей тока утечки – 25 мА.

Основными факторами, которые определяют значение тока, который проходит через тело человека, являются его сопротивление и прикладываемое к телу напряжение (напряжение прикосновения). Сопротивление тела человека зависит от места и формы контакта, размеров поверхности столкновения, состояния кожи и др. Его величина составляет: при напряжении до 1000 В – 0,8–1,0 кОм, выше 1000 В – 0,5 кОм.

При известных значениях длительного безопасного тока $I_{0,6}$ и минимального сопротивления тела человека R_q можно определить допустимое безопасное напряжение

прикосновения как $U_{пр.доп} = I_{д.б} R_q$. Его значения нормируются в зависимости от режима нейтрали и уровня рабочего напряжения [2].

В специфических условиях шахт при оценке условий электробезопасности необходимо учитывать микроклимат подземных выработок, особенно температуру и влажность. При повышении температуры окружающей среды электрическое сопротивление тела человека снижается, воздействующий ток возрастает, что обуславливает рост опасности электропоражения. Аналогичная картина наблюдается при повышенной влажности окружающей среды, особенно при увлажнении кожи.

Степень поражения человека электрическим током в значительной мере зависит от режима нейтрали электрической сети.

2.3 Режимы нейтрали электрической сети

2.3.1 Сеть с изолированной нейтралью

Степень опасности поражения человека током при прикосновении одной из фаз в сетях с изолированной нейтралью в значительной мере зависит от емкости сети. Соответственно этому различают сети с малой и большой емкостью. К сетям с малой емкостью относятся сети напряжением до 1200 В и небольшой длины (200 – 300 м). В таких сетях емкостными токами утечки через изоляцию сети можно пренебречь. Таким образом можно считать, что изоляция сети имеет только активное сопротивление (рис.9).

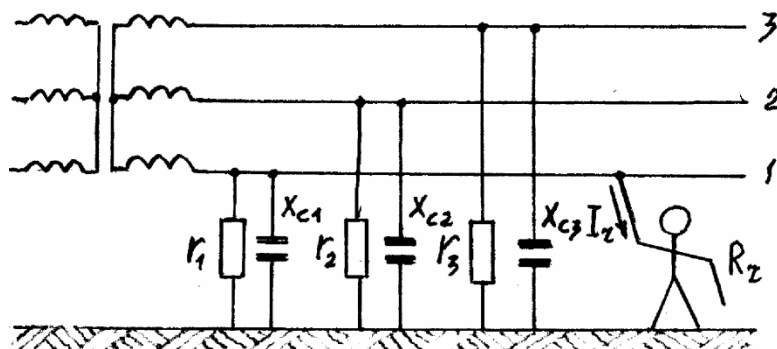


Рис.9. Схема электрической сети с изолированной нейтралью

При прикосновении человека к фазе 1 и равенстве сопротивлений изоляции фаз относительно земли ($r_1 = r_2 = r_3 = r$) сопротивление изоляции фазы 1 уменьшится и составит $r_1' = \frac{r_1 R_q}{r_1 + R_q}$, симметрия системы нарушится. При этом нейтраль сместится и получит напряжение нулевой последовательности, а ток, проходящий через тело человека:

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

Если сопротивления изоляции фаз относительно земли неодинаковы ($r_1 \neq r_2 \neq r_3$), а человек прикоснулся к фазе 1, то ток, проходящий через тело человека, составит:

$$I_q = \frac{\sqrt{3}U_\phi r_1 \sqrt{r_2^2 + r_2 r_3 + r_3^2}}{R_q (r_1 r_2 + r_2 r_3 + r_1 r_3) + r_1 r_2 r_3}.$$

Напряжение прикосновения определяется:

$$U_{np} = \frac{3U_{\phi}R_u}{3R_u + r}.$$

Если одна из фаз замкнута на землю (например, фаза 3), а человек прикасается к другой фазе, то он попадает под линейное напряжение сети и ток:

$$I_u = \frac{\sqrt{3}U_{\phi}}{R_u} = \frac{U_{л}}{R_u}.$$

Следовательно, в сети с изолированной нейтралью при малой емкости опасность поражения электрическим током при прикосновении человека к одной из фаз появится в двух случаях: при недостаточном сопротивлении изоляции сети или при замыкании другой фазы на землю.

В сетях со значительной емкостью (сети высокого напряжения) емкостное сопротивление изоляции $X_c = \frac{1}{2\pi f c}$ во много раз меньше активного сопротивления r . В этом случае токами утечки через активное сопротивление изоляции можно пренебречь. Тогда

$$I_u = \frac{3U_{\phi}}{\sqrt{(3R_u)^2 + X_c^2}}.$$

Поэтому опасность поражения электрическим током в сетях со значительной емкостью мало зависит от активного сопротивления изоляции, а определяется только емкостью сети.

2.3.2 Сеть с заземленной нейтралью

В сетях с заземленной нейтралью при нормальном ее состоянии напряжение каждой фазы относительно земли практически равняется фазному (рис.10).

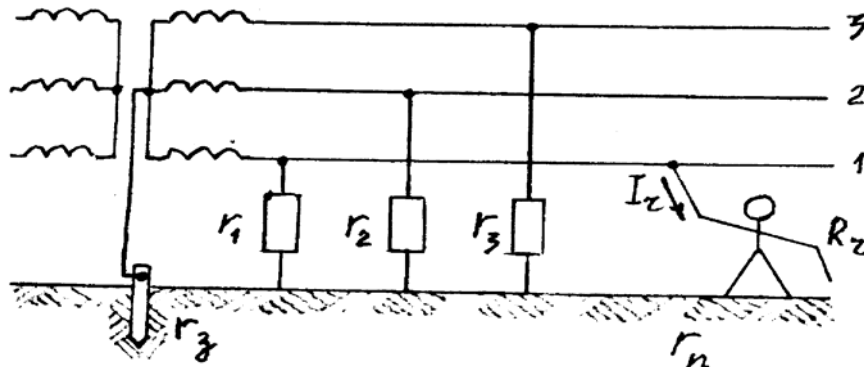


Рис.10. Схема электрической сети с заземленной нейтралью

Прикоснувшись к любой фазе, человек окажется под фазным напряжением. Величина тока, проходящего через его тело, если пренебречь малыми значениями сопротивления почвы r_n и заземления r_z по сравнению с сопротивлением человека R_u , составит:

$$I_u = \frac{U_{\phi}}{R_u + r_n + r_z} \approx \frac{U_{\phi}}{R_u}.$$

Как видим, ток, проходящий через тело человека, зависит только от напряжения сети и его сопротивления. Уже при напряжении сети 127 В этот ток будет безусловно опасным. Основным преимуществом сетей с глухозаземленной нейтралью является то, что любое замыкание на землю будет однофазным коротким, и отключится максимальной токовой защитой.

2.3.3 Сравнение режимов нейтрали по условиям электро- и пожаробезопасности

При прикосновении к токоведущим частям одной из фаз сети с изолированной нейтралью человек оказывается под напряжением, величина которого изменяется в зависимости от уровня сопротивлений изоляции двух других фаз в пределах $0 - U_{\text{л}}$. Для сети с заземленной нейтралью человек оказывается под напряжением $U_{\text{ф}}$.

При изолированной нейтрали замыкание одной из фаз сети на землю не обнаруживается (без специальных измерений) до появления опасного замыкания любой другой фазы. При заземленной нейтрали замыкание одной из фаз сети на землю является практически коротким замыканием, что способствует автоматическому отключению электроустановки от сети (преимущество этого режима).

В сети с изолированной нейтралью прикосновение к одной из фаз может быть как безопасным, так и опасным, причем более опасным, чем при заземленной нейтрали (при $U_{\text{нр}} = U_{\text{л}}$). В сети с заземленной нейтралью прикосновение к одной из фаз при рабочем напряжении 127 В и выше всегда опасно.

При прикосновении к одной из фаз сети с изолированной нейтралью ток, протекающий через человека, всегда меньше, чем в случае заземленной нейтрали.

Поэтому ПБ и ПТЭ требуют в подземных электрических сетях напряжением до 1000 В обязательного применения автоматического защитного отключения, осуществляемого с помощью реле утечки – аппарата защиты, дающего команду на отключение поврежденной сети при одно- и двухфазных замыканиях на землю, а также при недопустимом снижении уровня сопротивления изоляции сети относительно земли. Обязательное применение этих средств автоматического непрерывного контроля за состоянием изоляции сети делает бесспорным преимущество системы с изолированной нейтралью.

Что касается опасности взрывов и пожаров, то очевидно, что система с заземленной нейтралью в этом отношении более опасна, т.к. в этом случае однофазные замыкания на землю являются короткими замыканиями, что почти всегда сопровождается появлениями искр или электрической дуги. Поэтому ПБ и ПТЭ запрещено применение в подземных выработках системы с заземленной нейтралью. Она применяется для электрообеспечения электроустановок поверхности шахт из-за возможности одновременного питания силовых и осветительных установок от сетей напряжением 380/220 или 220/127 В.

2.4 Мероприятия по повышению электробезопасности

Основные мероприятия по повышению электробезопасности на шахтах:

1. Обеспечение недоступности прикосновения к токоведущим частям (монтаж открытых токоведущих частей электроустановок на недоступной для случайного прикосновения высоте, ограждение электрооборудования сетками и т.п.);

2. Защита от случайного прикосновения к токоведущим частям (закрытое исполнение рудничного электрооборудования, применением блокировок, препятствующих доступу к токоведущим частям до снятия с них напряжения и предотвращающих ошибочные действия обслуживающего персонала);

3. Применение пониженного напряжения (для переносных электроустановок – ручные электросверла, осветительные и сигнальные установки, а также источников питания цепей защиты и дистанционного управления);

4. Изоляция нетокковедущих частей для предотвращения появления на них напряжения при повреждении изоляции токоведущих частей (рукоятки рубильников, ручных электросверл и т.д.);

5. Защитное заземление;
6. Контроль и профилактика повреждений изоляции электроустановок для своевременного выявления снижения уровня сопротивления изоляции и устранения соответствующих повреждений и неисправностей;
7. Компенсация емкостных токов утечки на землю (емкость фаз сети относительно земли определяется геометрическими размерами ЛЭП, поэтому уменьшить емкость сети практически невозможно, но возможно компенсировать емкостный ток утечки на землю за счет подключения между нейтралью и землей компенсирующей катушки (дресселя), индуктивность которой может регулироваться вручную или автоматически);
8. Электрическое разделение сетей (длинная разветвленная сеть имеет значительную емкость, невысокий уровень сопротивления изоляции и, как следствие, большие токи утечки на землю. Если такую сеть разделить на ряд сетей меньшей длины и разветвленности, то они будут обладать значительно меньшей емкостью и более высоким сопротивлением изоляции и опасность электропоражения резко снизится);
9. Защитное отключение с помощью реле утечки (быстродействующая защита, обеспечивающая автоматическое отключение электроустановки при возникновении в ней опасности электропоражения);
10. Общие меры безопасности (применение изолирующих подставок и ковриков, резиновых бот и перчаток, средств сигнализации; профессиональная подготовка персонала в части техники безопасности при эксплуатации электроустановок).

2.5 Защитное заземление

В сетях с изолированной нейтралью при повреждении изоляции токоведущих частей электроустановки металлический корпус окажется под напряжением относительно земли. Если к нему прикоснется человек, то через его тело потечет ток, вызванный напряжением прикосновения, то есть разницей потенциалов на корпусе электроустановки и поверхности земли. Если корпус электроустановки изолирован от земли, то величина тока будет определяться как для случая прикосновения к одной из фаз в трехфазной сети с изолированной нейтралью.

Если корпус электроустановки с поврежденной изоляцией соединен с землей (рис.11), то ток однофазного замыкания на землю, протекающего через результирующее сопротивление $R_{рез}$, образованное телом человека и защитным заземлением, равен:

$$I_{рез} = \frac{3U_{\phi}}{3R_{рез} + r} = \frac{3U_{\phi}(R_u + r_3)}{3R_u r_3 + r(R_u + r_3)},$$

где $R_{рез} = \frac{r_3 R_u}{R_u + r_3}$.

При параллельном соединении сопротивлений ток распределяется обратно пропорционально их значениям. Поэтому ток, протекающий через тело человека, равен:

$$I_u = \frac{3U_{\phi}}{3R_u + \frac{r(R_u + r_3)}{r_3}}.$$

Как видим, ток, протекающий через тело человека, зависит в основном от значения сопротивления защитного заземления r_3 . Поэтому в сетях с изолированной нейтралью защитное заземление является эффективным средством снижения опасности поражения электрическим током при прикосновении человека к корпусу электрооборудования с поврежденной изоляцией. Согласно ПБ заземлению подлежат все металлические части

электроустановок, нормально не находящихся под напряжением, но способных оказаться под напряжением в случае повреждения изоляции. Заземляются корпуса электродвигателей, аппаратов, трансформаторов, каркасы распределительных устройств, измерительных приборов, металлические оболочки кабелей, кабельные муфты, трубопроводы, сигнальные тросы, светильники и др. Не заземляются оболочки отсасывающих кабелей, контактной электровозной откатки, нетоковедущие рельсы и металлическая крепь.

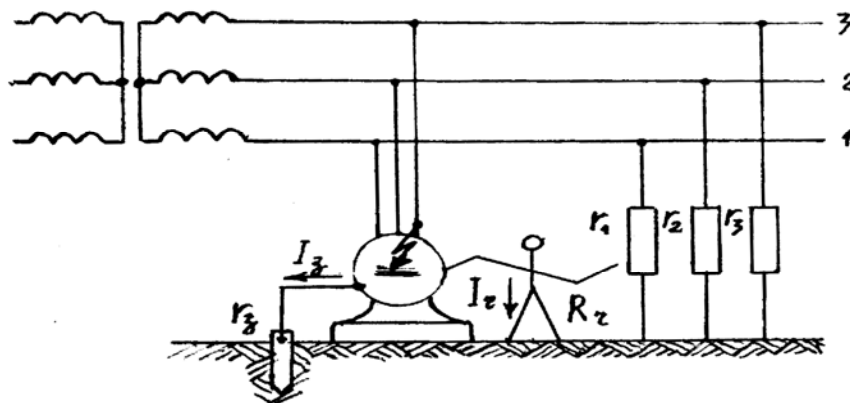


Рис.11. Схема, поясняющая защитное действие заземления в сети с изолированной нейтралью

Защитное заземление осуществляется путем электрического соединения нетоковедущих металлических частей электроустановок с местными заземлителями, которые выполнены в виде металлических полос, специально обработанных секций металлической крепи, труб, которые имеют хороший контакт с почвой. Однако только за счет местных заземлителей тяжело достичь малого сопротивления заземления возле любого электроприемника. Поэтому строится общешахтная заземляющая сеть путем электрического соединения между собой бронированных и свинцовых оболочек и заземляющих жил кабелей и присоединения их к заземляющему контуру ЦПП шахты. Заземляющий контур ЦПП присоединяется к центральным заземлителям, один из которых находится в водосборнике, а другой – в зумпфе. При питании подземных потребителей через скважины, главные заземлители размещаются на поверхности или в водосборниках шахты. При этом одним из главных заземлителей могут быть обсадные трубы скважин (рис.12).

Резервирование главных заземлителей создается для того, чтобы обеспечить возможность поочередного их осмотра и очистки от окислителей. В общешахтный заземляющий контур параллельно присоединяются все местные заземлители, что способствует значительному снижению сопротивления самой сети.

Передвижные ЭП заземляются посредством заземляющей жилы питающего гибкого кабеля, один конец которой присоединяется к корпусу машины, а второй – к корпусу коммутационного аппарата, установленного в подземном распределительном пункте (РПП) участка. Все корпуса аппаратов, установленных в РПП, присоединяются к заземляющей полосе РПП, которая соединена с заземлением с помощью стального проводника сечением не менее 50 мм^2 . Далее посредством стальной брони и свинцовой оболочки магистрального кабеля или заземляющей жилы полугибкого или гибкого кабеля осуществляется электрическая связь заземления РПП с заземлением участковой подстанции и с оболочкой бронированного или заземляющей жилой полугибкого кабеля 6 кВ, питающего подстанцию. Оболочка или заземляющая жила кабеля 6 кВ в околоствольном дворе соединяется с заземляющим контуром ЦПП, к которому присоединены не только корпуса электрооборудования ЦПП, но и главные заземлители.

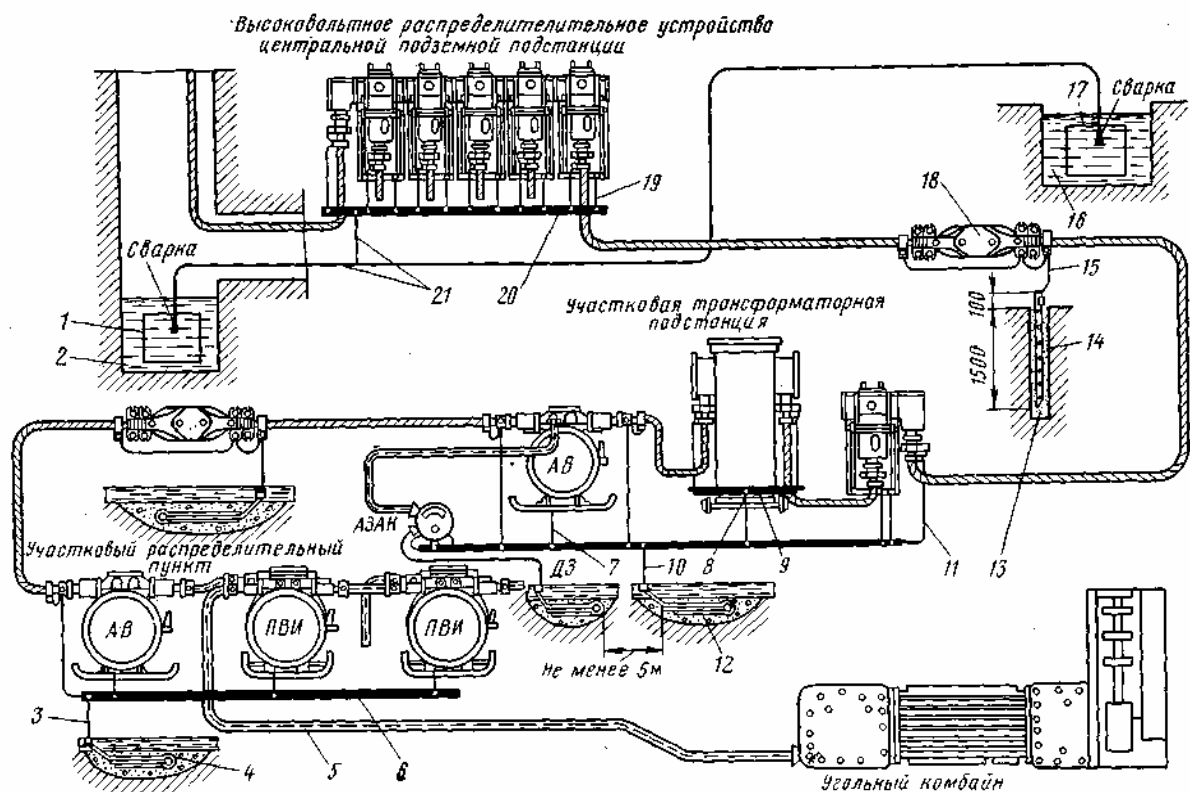


Рис.12. Схема общешахтной заземляющей сети:

1, 17 – главные заземлители, 2 – зумпф, 3, 10 – отвод, 4 – местный заземлитель, 5 – заземляющая жила гибкого кабеля, 6, 11 – заземляющая полоса, 7, 15, 19 – проводник, 8 – заземляющий болт, 9 – перемычка между броней кабеля и корпусом, 12 – местный заземлитель в сточной канаве, 13 – песок, 14 – местный заземлитель в сухом месте, 16 – водосборник, 18 – соединительная муфта, 20 – заземляющая шина, 21 – отвод, ДЗ – дополнительный заземлитель, АЗАК – аппарат защиты.

Главными заземлителями согласно ПБ являются стальные полосы площадью не менее $0,75 \text{ м}^2$, толщиной не менее 5 мм и длиной не менее 2,5 м. Для местных заземлителей, которые размещаются в штрековых стоковых канавах, должны применяться стальные полосы площадью не менее $0,6 \text{ м}^2$, толщиной не менее 3 мм и длиной не менее 2,5 м.

Общее переходное сопротивление общешахтной заземляющей сети в наиболее отдаленной от главного заземлителя точке не должно превышать 2 Ом, а при питании участков через скважины и шурфы – 4 Ом.

Поскольку защитное действие заземления зависит от его сопротивления, то необходимо следить за его состоянием. В начале каждой смены обслуживающий персонал выполняет внешний осмотр сети, проверяет состояние контактных соединений и оперативно устраняет их неисправность. Не менее одного раза в три месяца одновременно с внешним осмотром измеряется значение сопротивления заземления возле каждого заземлителя с помощью приборов М416/1 или М1103, а в негазовых шахтах – измерителями МС-08. Результаты осмотра и измерений заносятся в специальную книгу. Не реже одного раза в шесть месяцев главные заземлители в зумпфе и водосборнике в порядке очереди вытягиваются и тщательным образом очищаются от ржавчины.

2.6 Опережающее отключение электрооборудования

Суть опережающего отключения заключается в том, чтобы при возникновении аварийной ситуации отключить электроустановку от источника питания и разрядить запа-

сенную в выключенном участке сети энергию путем закорачивания всех фаз между собой как со стороны источника питания, так и со стороны потребителя, способного после его отключения генерировать электрическую энергию в сеть раньше, чем может возникнуть электрическая дуга или опасное искрение.

Упрощенная схема опережающего отключения (рис.13) содержит быстродействующие коммутационное и защитное устройства (К и ЗУ), металлические 1 и полупроводниковые 2, 4 короткозамыкатели, сопротивления которых близки к нулю, специальный гибкий кабель марки КГВЭУШ (ГВШОП) со сниженным сопротивлением экранов. При повреждении оболочки кабеля заземленный экран замыкается на силовые жилы. В результате замыкания или обрыва жил дистанционного управления срабатывает быстродействующее защитное устройство ЗУ, которое подает сигнал на срабатывание быстродействующего аппарата К и короткозамыкателей 1 и 2. Тем самым энергетически изолируется место повреждения от источника питания. Одновременно с этим приводится в действие короткозамыкатель 4, который снимает генерируемую вращающимся двигателем электродвижущую силу (ЭДС), подпитывающую место повреждения кабеля.

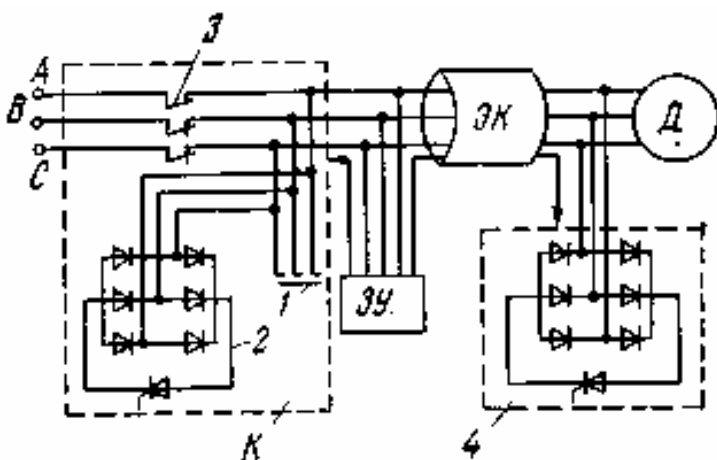


Рис.13. Упрощенная схема системы опережающего отключения

Благодаря реагированию на скорость нарастания тока в поврежденном участке, быстродействующая защита от замыканий на землю обеспечивает выключение напряжения за время до 2,5 мс при сопротивлениях замыкания 0 – 100 Ом. Однако при больших сопротивлениях ее срабатывание не гарантировано. Поэтому должно применяться реле утечки для общей защиты от однофазных и трехфазных утечек токов на землю.

2.7 Предупреждение пожаров при эксплуатации электрооборудования

Пожары от электрического тока в шахтах могут быть вызваны:

- высокой температурой токоведущих частей из-за перегрузки или КЗ;
- большим сопротивлением в местах соединений токоведущих элементов;
- неисправностью электрического оборудования;
- нарушением правил эксплуатации;
- открытым разрывом проводника (кабеля) под нагрузкой, сопровождающимся возникновением электрической дуги.

Основными мероприятиями предупреждения пожаров от электрического тока являются правильный выбор электрооборудования и электрических сетей, их монтаж и эксплуатация. Все электроустановки в шахте должны быть обеспечены защитами, автоматически отключающими установку при появлении перегрузки, которая вызывает недопустимый перегрев.

Все контактные соединения должны быть надежно выполнены и регулярно проверяться. Соединение и ремонт бронированных кабелей нужно выполнять с помощью соединительных муфт, а гибких кабелей – методом горячей вулканизации. Для уменьшения вероятности открытого искрения и образования электрической дуги при обрыве проводников в шахтах применяют кабели с негорючим внешним покрытием и броней. Важным средством повышения пожаробезопасности при применении гибких кабелей является наличие у них экранов. При разных повреждениях кабеля (проколы, порезы, раздавливание и др.) происходит прикосновение токоведущими жилами экранов, что приводит к автоматическому отсоединению кабеля от сети.

Серьезную опасность относительно возникновения пожаров в шахтах вызывает применение маслonaполненного электрооборудования, которое еще устанавливается в камерах (например, ячейки РВД-6). Камеры должны быть укреплены огнеупорными материалами и хорошо проветриваться. Большое значение имеет полный отказ от применения маслonaполненного электрооборудования.

Для предупреждения взрывов при применении электрооборудования в шахтах, опасных по газу или пыли, проводится две группы мероприятий. К первой группе относятся мероприятия, которые не допускают образования взрывоопасной смеси, а именно:

- интенсивное проветривание горных выработок;
- автоматический контроль концентрации метана и состояния вентиляции с автоматическим выключением электроустановок при достижении опасной концентрации или недостаточном количестве подаваемого в горные выработки воздуха;
- орошение мест интенсивного образования угольной пыли;
- периодическая очистка электрооборудования и крепи горных выработок от пыли.

Ко второй группе относятся мероприятия, которые исключают или препятствуют возникновению опасного искрения, электрических дуг или нагревания проводников до температуры, которая может повлечь взрыв опасной смеси. Это мероприятия, которые обеспечивают строгое соблюдение требований ПБ и ПТЭ: применение электрооборудования с искробезопасными цепями, использование реле утечки и системы защитного опережающего отключения.

2.8 Аппаратура защиты

Аппараты защиты от токов утечки – это устройства, которые выполняют быстрое автоматическое снятие напряжения при прикосновении человека к частям электроустановки, которые находятся под напряжением, при достижении током, проходящим через тело человека, выше безопасного значения. Кроме того, такие аппараты непрерывно контролируют сопротивление изоляции сети относительно земли и в случае его снижения ниже установленной границы отключают сеть. Это исключает эксплуатацию сети с поврежденной изоляцией. Аппараты защитного отключения (АЗО) в электрических сетях с изолированной нейтралью функционируют по принципу наложения на сеть оперативного выпрямленного тока.

В настоящее время в горной промышленности используются такие АЗО:

- устройства автоматического контроля сопротивления изоляции типа УАКИ для сетей напряжением 127, 220, 380 и 660 В;
- аппараты АЗАК с автоматической компенсацией емкостных токов утечки на землю для сетей напряжением 380 и 660 В;
- реле утечки типа РУ с самоконтролем исправности элементов схемы для сетей напряжением 127, 220, 380, 660 В;

- аппараты защиты от токов утечки типа АЗПБ и АЗШ на напряжение 380 и 660 В, которые встраиваются в распределительные устройства низкого напряжения (РУНН) передвижных участковых трансформаторных подстанций (ПУТП);
- унифицированные аппараты АЗУР на напряжение 380, 660 и 1140 В;
- аппараты защиты БЗО и БКЗ в электрических сетях напряжением 1140 В.

На рис.14 приведены схемы устройств автоматического контроля изоляции сети УАКИ. Аппараты предназначены для сетей напряжением 127, 380 и 660 В с емкостью до 1 мкФ на фазу. В УАКИ используется одно двухобмоточное реле К постоянного тока, обмотки которого соединены так, что их магнитные потоки направлены встречно. Обмотка I является вспомогательной (тормозной), в которой протекает ток, практически не зависящий от сопротивления изоляции сети. Обмотка II – рабочая, по ней протекает ток, значение которого зависит от сопротивления изоляции сети.

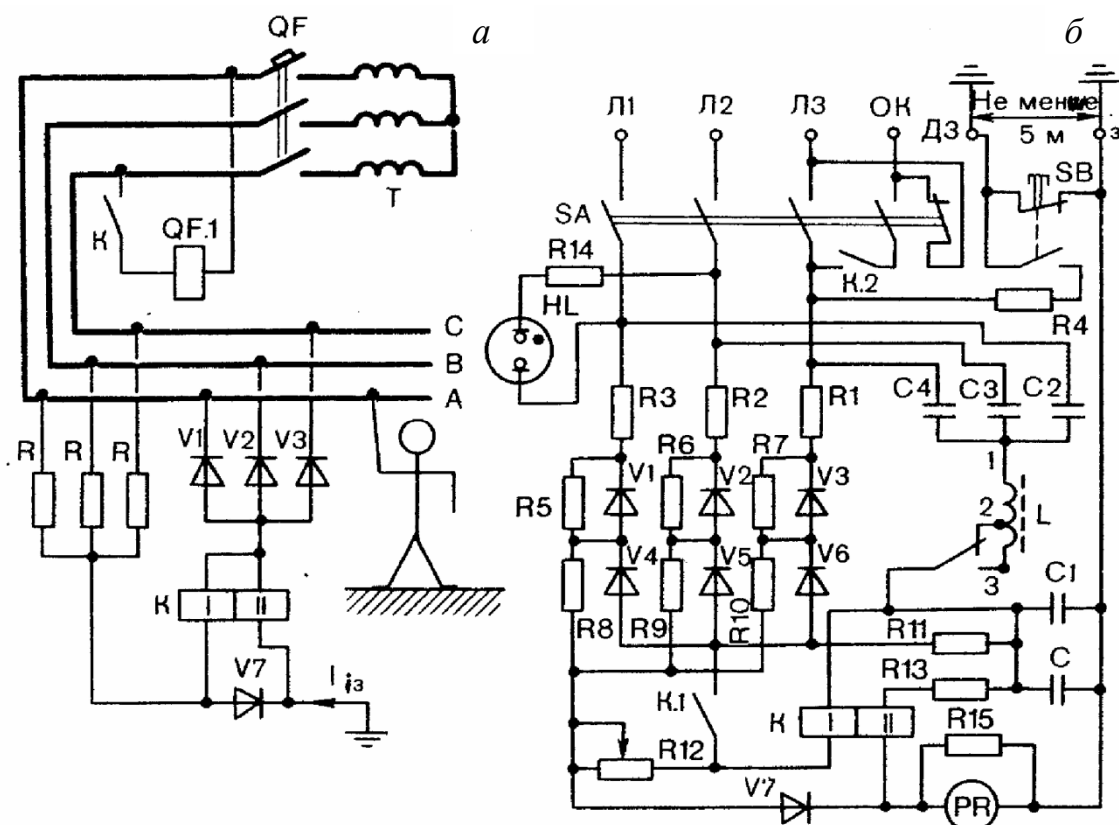


Рис.14. Упрощенная схема аппарата защиты от токов утечки УАКИ (а) и принципиальная схема УАКИ-660 (б)

При удовлетворительном состоянии изоляции ток утечки незначительный. В обеих обмотках реле протекает вспомогательный ток, а результирующий магнитный поток в реле близок к нулю. При снижении сопротивления изоляции ток утечки увеличивается. Через обмотку II будет протекать оперативный выпрямленный ток по цепи: сопротивление изоляции сети, земля, заземление 3 аппарата, километр PR, обмотка II реле К, резисторы R13, R11, вентили V1 – V6, резисторы R1 – R3, автоматический выключатель QF, сеть. По мере снижения сопротивления изоляции оперативный ток через обмотку II реле будет расти, а вспомогательный ток через стабилитрон V7 уменьшаться. Если сопротивление изоляции достигнет критического значения $R_{кр}$ (опасная утечка на землю), то разница магнитных потоков обмоток I и II будет достаточной для срабатывания реле, которое замкнет свой контакт К в цепи отключающей катушки QF.1 АВ QF, который отключит сеть с поврежденной изоляцией. Одновременно с этим запирается контакт К.1, шунтирующий обмотку I. Ток в ней снижается до нуля и реле самоблокируется.

Для компенсации емкостных токов утечки в устройствах УАКИ используется дроссель L. Для проверки исправности работы защиты служит кнопка SB, при нажатии на которую создается однофазное замыкание на землю через проверяющий резистор R4. Исправное УАКИ должно четко сработать. Для того чтоб убедиться в наличии соединения аппарата с землей, кнопка SB присоединена к дополнительному заземлению Дз, который устанавливается на расстоянии не менее 5 м от местного заземления З.

Устройство контроля изоляции и защитного отключения АЗАК выполнено на базе схемы аппарата УАКИ, но в нем применена автоматическая компенсация емкости за счет дросселя насыщения.

Аппарат защиты от токов утечки типа АЗПБ выполняется в виде блока, защищенного от проникновения внутрь пыли и воды, и встраивается в РУНН ПУПП типа ТСВП. Аппарат может влиять на нулевой или независимый расцепитель автоматического выключателя АЗ700, встроенного в РУНН. Он выполняет такие функции:

- контроль сопротивления изоляции сети и защитное отключение;
- автоматическую компенсацию емкостных токов утечки;
- предварительный контроль сопротивления изоляции выключенной сети.

Все аппараты АЗШ имеют устройства контроля сопротивления изоляции и автоматической компенсации емкости сети. По принципу работы они аналогичны аппаратам типа АЗАК.

Унифицированный аппарат защитного отключения АЗУР имеет три варианта исполнения и состоит из устройства контроля сопротивления изоляции сети, устройства автоматической компенсации емкостных токов утечки и тепловой защиты (только в аппаратах АЗУР-2). Блок контроля сопротивления изоляции сети выполнен в виде схемы сравнения измерительного и эталонного токов. Если сопротивление изоляции сети снизилось и стало меньше уставки срабатывания аппарата, то измерительный ток превысит эталонный и устройство сработает, воздействуя на автоматический выключатель, который отключит сеть со сниженным сопротивлением изоляции. Блок тепловой защиты выполнен также по схеме сравнения измерительного и эталонного токов. При превышении температуры обмотки силового трансформатора установленного значения измеряемый ток становится больше эталонного и будет подана команда на отключение АВ.

Для защиты шахтных электрических сетей напряжением 1140 В от токов утечки на землю разработан аппарат АЗУР-4, а также комплект аппаратуры, состоящий из блоков защитного отключения БЗО-1140 и блока компенсации емкостного тока, выявления и закорачивания поврежденной фазы сети на землю БКЗ-1140. Одной из основных функций блока БКЗ-1140 наряду с компенсацией емкостного тока является снижение кратковременных токов утечки путем их шунтирования. Блоки БЗО-1140 и БКЗ-1140 конструктивно выполнены для монтажа в РУНН шахтных ПУПП.

Блокировочное реле утечки (БРУ) предназначено для автоматического контроля состояния изоляции отключенного участка сети, отходящего от коммутационного аппарата (пускателя, автоматического выключателя, станции управления), и блокировки включения при снижении сопротивления изоляции ниже допустимого значения: 18 кОм при напряжении 380 В, 30 кОм при 660 В и 100 кОм при напряжении 1140 В.

На рис.15 приведена схему БРУ, которое применяется во взрывобезопасных пускателях ПВИ, ПМВИ-63М, станциях управления СУВ-350, СУВ1Л-100, СУВ2Л-120 и др. Схема БРУ получает питание от стабилизационного трансформатора Т через выпрямительный мост V2, положительный полюс которого соединен с одним из зажимов реле К2, а отрицательный – с заземленным корпусом. Второй зажим реле К2 соединен с фазой сети через размыкающий блок-контакт КМ.2 контактора КМ и через контакт К1.1 с вы-

держкой времени на замыкание реле времени К1. Таким образом, при выключенном коммутационном аппарате блок-контакт КМ2 контактора замкнутый, и измерительный ток потечет по цепи: "плюс" выпрямителя V2, обмотка реле К2, размыкающие контакты К1.1 реле времени К1 и КМ.2 контактора КМ, фаза сети, обмотки двигателя, изоляция фаз, земля, «минус» выпрямителя V2. В случае снижения сопротивления изоляции сети относительно земли до опасного значения, ток в обмотке реле К2 вырастет и оно сработает. При этом контакт К2.1 разомкнет цепь управления коммутационного аппарата и замкнет цепь питания сигнальной лампы Н. Пускатель блокируется и его невозможно включить.

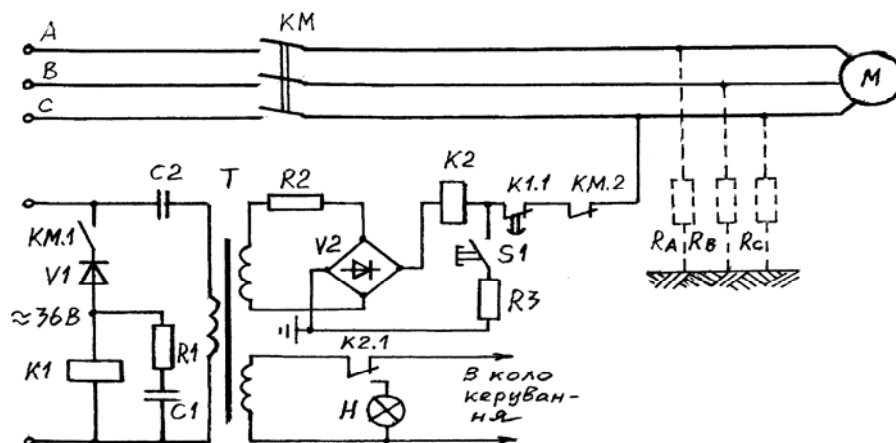


Рис.15. Электрическая схема БРУ для электрических сетей напряжением до 660 В

Если при исправной изоляции пускатель включен, то блок-контакт КМ.2 контактора КМ разомкнет цепь и блокировочное реле утечки будет отключено от сети.

В пускателях и станциях управления напряжением 1140 В используется БРУ, имеющее две уставки сопротивления изоляции отходящего присоединения относительно земли: предупредительную – не менее 200 кОм и аварийную – не менее 100 кОм. Если сопротивление изоляции снижается до уровня предупредительной, но выше аварийной уставки, БРУ срабатывает и включает сигнальную лампу, но еще позволяет включить коммутационный аппарат. При последующем снижении сопротивления изоляции до уровня аварийной уставки БРУ размыкает контакт в цепи управления аппаратом, блокируя тем самым возможность его включения, и создает цепь питания другой сигнальной лампы.