

Рис. 6.35. Схема устройства АВР секционного выключателя подстанции

При включении на короткое замыкание выключатель Q3 отключится своей максимальной токовой защитой. Приведенная схема АВР на переменном оперативном токе применяется для выключателей с пружинными приводами.

#### § 74. НАЗНАЧЕНИЕ ЗАЩИТНОГО ЗАЕМЛЕНИЯ В ЭЛЕКТРОУСТАНОВКАХ ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТ

Безопасность обслуживания электроустановок и полное устранение электротравматизма — одна из основных задач при эксплуатации электрохозяйства открытых горных разработок. Для решения этой задачи необходимо, чтобы электротехнический персонал карьера имел четкие представления о действии электрического тока на организм человека и мог определить допустимые безопасные величины тока и напряжения прикосновения.

На рис. 6.35 показана схема устройства АВР секционного выключателя подстанции с пружинным приводом. При нормальной работе схемы выключатели Q1 и Q2 включены, секционный выключатель Q3 отключен. Ключ управления SA установлен в положение «АВР». Реле минимального напряжения KV1—KV4 и реле KT3 включены. Контакт пружинного привода SF замкнут. При исчезновении напряжения на первой секции срабатывают реле KV1 и KV2 и включается реле KT1, которое с выдержкой времени через промежуточное реле KL1 отключает выключатель Q1. Контакт Q1 этого выключателя включается электромагнит YA3. Секционный выключатель Q3 включится и восстановит питание первой секции. При исчезновении напряжения на второй секции схема работает аналогично, начиная со срабатывания реле KV3 и KV4. Реле KT3 обеспечивает однократность действия АВР, так как при отключении выключателей вводов Q1 и Q2 реле KT3 размыкает с выдержкой времени цепь электромагнита YA секционного выключателя Q3.

Таблица 6.10

Значения кратковременно допустимых тока и напряжения прикосновения

Род тока	Нормируемая величина	Продолжительность воздействия тока, с											
		0,01—0,08	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	>1
Переменный 50 Гц	$U_{пр}$ , В	650	500	250	165	125	100	85	70	65	55	50	36
	$I$ , МА	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	6
Переменный 400 Гц	$U_{пр}$ , В	650	500	500	330	250	200	170	140	130	110	100	36
	$I$ , МА	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	8
Постоянный	$U_{пр}$ , В	650	500	400	350	300	250	240	230	220	210	200	40
	$I$ , МА	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	15
Выпрямленный двухполупериодный	$U_{пр}$ , В	650	500	400	300	270	230	220	210	200	190	180	—
	$I$ , МА	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Выпрямленный однополупериодный	$U_{пр}$ , В	650	500	400	300	250	200	190	180	170	160	150	—
	$I$ , МА	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Примечание. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов, проходящих через тело человека при продолжительности воздействия более 1 с, соответствуют отпускающим (переменным) и неболевым (постоянным) токам.

Установлено два основных вида поражения организма электрическим током: электрический удар и электрическая травма. Под электрическим ударом понимают поражение внутренних органов человека (органов дыхания, сердца, нервной системы), а под электрической травмой — поражение внешних частей тела (ожоги, электрометаллизация кожи и др.). Наиболее опасен электрический удар. На исход поражения электрическим током влияют величина, путь и продолжительность действия тока, а также состояние организма человека.

Переменный ток частотой 50—60 Гц более опасен, чем постоянный. Однако выпрямленный ток содержит постоянную и переменную составляющие, которые одновременно воздействуют на организм человека. Особенно опасен ток при однополупериодном выпрямлении, поэтому допустимая величина такого тока в 1,2—1,5 раза ниже величины переменного тока частотой 50 Гц и выпрямленного двухполупериодного.

В табл. 6.10 приведены предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов (ГОСТ 12.1:038—82) при аварийном режиме производственных электроустановок напряжением до 1000 В с глухозаземленной нейтралью и выше 1000 В с изолированной нейтралью.

Сопротивление тела человека зависит от толщины кожных покровов и их влажности, площади соприкосновения, плотности контактов, величины тока и приложенного напряжения, продолжительности воздействия тока.

Сопротивление тела человека в зависимости от напряжения

Приложенное напряжение, В	6,0	18	75	80	100	175
Сопротивление тела человека, кОм	6,0	3,0	1,15	1,07	1,0	0,7

Значение тока и продолжительность его воздействия — основные факторы, определяющие исход электрической травмы: чем меньше значение тока и продолжительность его воздействия, тем меньше опасность для человека.

### Способы защиты от поражения электрическим током

При эксплуатации электроустановок опасность поражения человека током может возникнуть при:

а) случайном прикосновении или приближении к токоведущим частям;

б) прикосновении к металлическим нетоковедущим частям (корпусам и металлоконструкциям оборудования, оболочкам кабелей), оказавшимся под напряжением в результате пробоя изоляции.

Для устранения опасности, возникающей при случайном прикосновении или приближении к токоведущим частям, напряжение которых превышает безопасную величину, эти части должны быть прочно закрыты, ограждены или надежно заблокированы путем автоматического отключения устройства, когда его токоведущие части становятся доступными для прикосновения.

Согласно исследованиям, опасность поражения снижается с сокращением времени протекания тока через человека, поэтому одним из способов уменьшения опасности при прикосновении к токоведущим частям является защитное отключение.

Важная мера безопасности — защита людей от опасности, возникающей при прикосновении к нетоковедущим металлическим частям, но оказавшимся под напряжением в случае повреждения (пробоя) изоляции. Повреждение изоляции электрооборудования и кабелей вызывает переход напряжения на корпуса рабочих машин, механизмов и инструментов, на металлоконструкции распределительных устройств и приключательных пунктов, на броню кабеля и т. д., т. е. на такие части машин, механизмов и аппаратуры, с которыми часто соприкасается обслуживающий персонал. В результате человек оказывается под действием напряжения.

Эта опасность может быть устранена с помощью: а) защитных заземлений; б) защитных отключений; в) покрытия нетоковедущих металлических частей изоляцией или изготовления их из изолирующих материалов; г) применения изолирующих подставок; д) использования пониженного напряжения и др.

Изолирующие подставки и коврики применяют в коридорах обслуживания всех подстанций, РП, щитов управления, а также около приключательных пунктов, ПТП, на экскаваторах и других горных машинах. Пониженное напряжение (12—36 В) применяют для питания переносного освещения, цепей автоматического и дистанционного управления и т. д. Особое

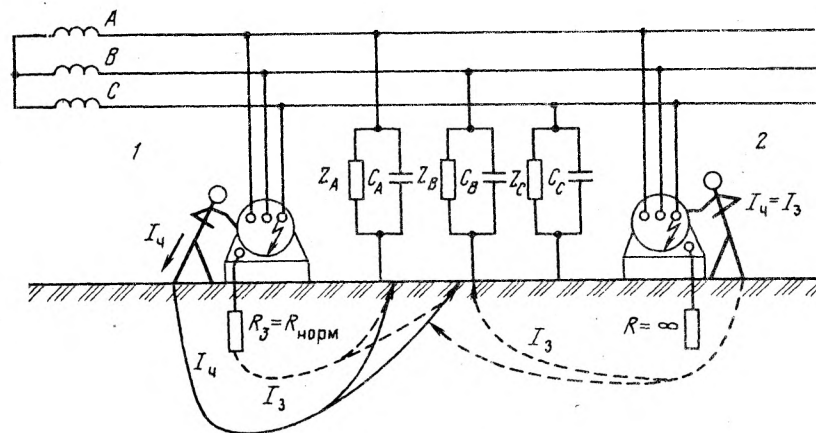


Рис. 6.36. Схема замещения прикосновения к корпусу, оказавшемуся под напряжением:

1 — защитное заземление имеет нормальное сопротивление растеканию  $R_3 = R_{норм}$ ; 2 — защитное заземление отсутствует (или оборвана сеть заземления)  $R_3 = \infty$

внимание на открытых горных работах уделяется устройству защитных заземлений и защитных отключений.

Для устройства защитных заземлений на карьерах применяют электрические системы как с изолированной нейтралью трансформаторов (трехфазные сети 3000—6000 В), так и с заземленной нейтралью (четырёхпроводные сети напряжением 380/220 и 220/127 В). Системы с заземленной нейтралью используют для совместного питания силовых и осветительных установок на поверхности карьера.

В электрических сетях с изолированной нейтралью применяют защитное заземление в целях снижения до безопасной величины напряжения относительно земли на нетоковедущих металлических частях электрооборудования, оказавшихся под напряжением вследствие нарушения изоляции.

В четырехпроводных электрических частях с глухозаземленной нейтралью трансформатора к нулевому проводу присоединяют все металлические нетоковедущие части электроустановок, питающиеся от этого трансформатора.

Принцип действия защитного заземления в сети с изолированной нейтралью показан на рис. 6.36. Человек с сопротивлением  $R_ч$  касается заземленного корпуса электроустановки с поврежденной изоляцией. Заземление, к которому присоединен корпус электроустановки, имеет сопротивление  $R_3$ . Человек в этом случае включается параллельно этому сопротивлению. Ток через человека в момент его касания корпуса (А) может быть определен по формуле

$$I_ч = I_3 \frac{R_3}{R_ч} a_1 a_2, \quad (6.82)$$

где  $I_3$  — ток замыкания на землю, А;  $\alpha_1$  — коэффициент напряжения прикосновения, зависящий от типа заземлителя. Для заземлителей из стержней, расположенных в один ряд и соединенных полосой, из единичной протяженной полосы, а также для выносных заземлителей  $\alpha_1 = 1$ , для сложных групповых заземлителей в зависимости от числа стержней и параллельно соединяющих полос, решетки  $\alpha_1 = 0,1 \div 0,75$ ;  $\alpha_2$  — коэффициент, зависящий от сопротивления обуви, пола и т. п. Для условий карьеров  $\alpha_2 = 1$ .

Из формулы (6.82) видно, что безопасность обслуживающего персонала на карьерах зависит от исправности заземления электроустановок. Если заземление будет нарушено (обрыв), то через человека будет протекать полный ток замыкания на землю.

### § 75. ТРЕБОВАНИЯ К УСТРОЙСТВУ ЗАЩИТНОГО ЗАЗЕМЛЕНИЯ

В соответствии с ПТЭ и ПТБ на карьерах должны быть заземлены корпуса и металлические части всех горных электрифицированных машин, механизмов и инструментов (экскаваторов, буровых станков, конвейеров, электросверл и т. п.), корпуса трансформаторов и электрических аппаратов, измерительных приборов и осветительной аппаратуры, каркасы КРУ и приключательных пунктов, броня кабелей, железобетонные и металлические опоры ВЛ.

На карьерах рекомендуется устройство общей заземляющей сети для установок напряжением до 1000 В и выше. Такая система защитного заземления значительно проще защитного заземления с раздельными заземлителями и заземляющей сетью и отвечает требованиям ПТЭ.

Заземляющее устройство представляет собой совокупность заземлителя и заземляющих проводников. В условиях карьеров заземлители могут располагаться как на поверхности (на ГПП, ЦРП), так и на рабочих уступах около приключательных пунктов, передвижных подстанций и распределительных пунктов, а также в непосредственной близости от места присоединения экскаваторного кабеля к ВЛ. В зависимости от площади карьера, протяженности высоковольтных ВЛ и числа работающих горных машин и механизмов заземляющие устройства могут быть центральными, местными и комбинированными. Для небольших по площади карьеров целесообразно устраивать заземлители на площадке ГПП. В этом случае от заземлителя прокладывают магистральный заземляющий провод, к которому присоединяют корпуса всех машин и механизмов. На карьерах, занимающих значительные площади, при большом числе машин и механизмов используют комбинированные заземляющие устройства. Для установок, расположенных вблизи ГПП (ЦРП), сооружают центральный зазем-

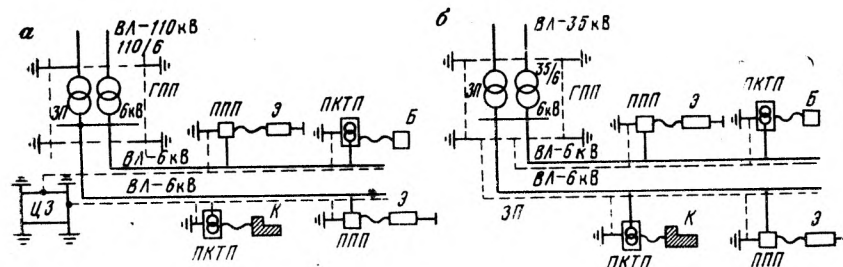


Рис. 6.37. Схемы заземляющей сети электроустановок карьера:

а — трансформаторы на ГПП с первичным напряжением 110 кВ и выше (глухозаземленная нейтраль); б — трансформаторы на ГПП с первичным напряжением 35 кВ (изолированная нейтраль)

литель, от которого прокладывают заземляющие провода ко всем установкам. Для заземления электрооборудования конвейеров вдоль става прокладывают стальной провод.

Для удаленных от ГПП установок (экскаваторов) устраивают местные заземлители на рабочих уступах и в непосредственной близости от этих установок. Корпуса передвижных горных машин и механизмов присоединяют к заземлителям или к магистральным заземляющим проводам с помощью заземляющей жилы гибкого кабеля. На рис. 6.37 показаны рекомендуемые схемы заземляющей сети электроустановок карьера. Если на ГПП установлены трансформаторы с первичным напряжением 35 кВ (см. рис. 6.37, б), то заземляющее устройство этой подстанции можно использовать в качестве центрального заземлителя всей заземляющей сети карьера. При установке на ГПП трансформаторов с первичным напряжением 110 кВ к его заземляющему устройству не разрешается подсоединять заземляющую сеть карьера. В этом случае центральный заземлитель сооружается на поверхности специально для заземляющей сети всего карьера (см. рис. 6.37, а).

Для заземлителей следует применять угловую сталь, стальные стержни, полосы, круглую сталь и т. п. Заземлители (электроды) закладывают в грунт на глубину ниже уровня его промерзания. Число электродов и их конструкцию определяют проектом или расчетом. При опасности усиленной коррозии следует применять оцинкованные или оцинкованные заземлители.

Для заземляющих проводников могут быть использованы: при прокладке по опорам ВЛ — стальные провода марки ПС или ПСМ; при прокладке в земле, в зданиях и по конструкциям — сталь круглого или прямоугольного сечения. Максимальные сечения заземляющих проводников приведены в Правилах устройства электроустановок. В осветительных сетях для этой цели используют медные и алюминиевые провода.

Все соединения заземляющей сети должны иметь надежный контакт. Присоединения проводов к заземлителям и к корпусу-

сам оборудования, а также соединения заземляющих проводников между собой следует выполнять сваркой или болтовым креплением. В заземляющей сети на поверхности и в сырых помещениях болтовые крепления лудят или покрывают защитным слоем.

Последовательное присоединение заземляющих объектов к заземляющей сети не допускается. Заземляющий провод должен быть защищен от механических повреждений, а места присоединения проводов доступны для осмотров и испытаний.

Сопротивление защитного заземления должно быть не более величины, рассчитанной по проекту или установленной правилами и инструкциями. Согласно требованиям ПТЭ, для открытых горных разработок сопротивление защитного заземления в электрических сетях должно быть не выше 4 Ом.

#### § 76. КОНТРОЛЬ ЗА ИСПРАВНОСТЬЮ ЗАЩИТНОГО ЗАЕМЛЕНИЯ ОСМОТРЫ И ИЗМЕРЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ЗАЩИТНОГО ЗАЕМЛЕНИЯ

Каждое заземляющее устройство должно иметь паспорт, содержащий: а) основные технические данные заземлителей, заземляющих проводов и соединений; б) данные об удельном сопротивлении грунта, в котором заложен заземлитель; в) расчетные величины сопротивления заземления и тока замыкания на землю; г) схему заземляющего устройства; д) результаты осмотров и испытаний при приемке в эксплуатацию после монтажа; е) результаты осмотра и испытаний в процессе эксплуатации; ж) изменения, внесенные в устройство заземлений, и т. д.

Не реже одного раза в месяц необходимо производить наружный осмотр всей стационарной заземляющей сети и измерение сопротивления заземления каждой установки. Осмотр заземляющей сети передвижных установок следует производить во время приема и сдачи смены. После каждого переноса заземлителя и переключения питающего кабеля требуется измерять сопротивление заземления передвижных установок.

Результаты осмотров и измерений заносят в книгу, которую ведет механик экскаватора или участка, либо главный энергетик карьера.

Для измерения сопротивления заземления существует много специальных приборов. Наиболее распространенные из них измерители МС-07, МС-08 и измеритель сопротивления заземлений М-1103.

Приборы МС-07 и МС-08 громоздки и неудобны в эксплуатации, более совершенным является измеритель сопротивления заземления М-416, имеющий пределы измерения 0,1—1000 Ом. Его масса 3 кг, габариты пластмассового корпуса 245×140×160 мм. Питание прибора осуществляется от трех

сухих элементов напряжением 4,5 В, соединенных последовательно. Потребляемый ток не более 90 мА.

Измерение сопротивления заземления прибором основано на компенсационном методе с применением вспомогательного заземлителя и потенциального электрода (зонда). Прибор состоит из трех функциональных узлов: источника постоянного напряжения, преобразователя постоянного тока в переменный (генератор) и измерительного устройства.

Перед началом измерения (рис. 6.38) проверяют целостность заземляющих проводов, сварных швов контактной планки 4 на заземлителе, чистоту, отсутствие ржавчины и плотность контактов 5 присоединения заземляющей жилы кабеля экскаватора, бурового станка и т. д.

Принцип действия прибора основан на компенсационном методе измерения с применением вспомогательного токового зонда 3 и потенциального электрода 2. Токковый зонд устанавливается для создания цепи переменного тока, получаемого от собственного электронного преобразователя постоянного тока батареи в переменный через испытуемое заземляющее устройство 1. Через потенциальный электрод образуется вспомогательная цепь встречного компенсационного тока через испытуемый заземлитель. Путем изменения сопротивления во вспомогательной цепи создают режим полной компенсации и по положению движка реохорда делают отсчет. Потенциальный электрод располагают на расстоянии 20 м, токовый зонд — на расстоянии 30 м от испытуемого заземлителя.

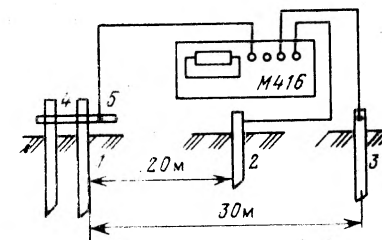


Рис. 6.38. Схема измерения сопротивления заземления прибором М-416

#### § 77. РАСЧЕТ ЗАЩИТНОГО ЗАЕМЛЕНИЯ

При расчете карьерной сети заземления определяют основные параметры заземлителей и заземляющих проводов. Сопротивление защитного заземления в сетях с изолированной нейтралью

$$R_3 = \frac{U_{\text{пр. доп}}}{\kappa_{\text{пр}} I_3}, \quad (6.83)$$

где  $U_{\text{пр. доп}}$  — допустимое напряжение прикосновения, В;  $\kappa_{\text{пр}}$  — коэффициент прикосновения, учитывающий отношение  $U_{\text{пр}}$  к полному напряжению заземляющей системы относительно земли;  $I_3$  — наибольший возможный ток утечки на землю, А.

Для условий карьера при трубчатых и полосовых заземлителях коэффициент прикосновения  $\kappa_{\text{пр}} = 1,0$ , допустимое напряжение прикосновения  $U_{\text{пр. доп}} = 40$  В.

Таблица 6.11

## Удельное сопротивление грунтов

Грунт (почва)	Удельное сопротивление (средняя величина), Ом·см	Грунт (почва)	Удельное сопротивление (средняя величина), Ом·см
Песок	$4 \cdot 10^4$	Песчаник	$(2 \div 3,5) \cdot 10^6$
Супесок речной	$3 \cdot 10^4$	Уголь бурый	$(4,5 \div 5) \cdot 10^6$
Каменистый	$2 \cdot 10^4$	Углистый сланец	$(1 \div 1,5) \cdot 10^6$
Суглинок	$0,8 \cdot 10^4$	Уголь разубоженный	$2,5 \cdot 10^6$
Глина	$0,6 \cdot 10^4$	Аргиллиты	$(1,9 \div 2,2) \cdot 10^4$
Чернозем	$0,5 \cdot 10^4$	Алевролиты	$(0,5 \div 0,8) \cdot 10^4$
Торф	$0,2 \cdot 10^4$	Известняк	$5 \cdot 10^7$
Лесс	$2,5 \cdot 10^4$	Гранит	$2,07 \cdot 10^7$

Для установок напряжением 6000 В (если на подстанциях и приключательных пунктах установлена защита от однофазного замыкания на землю) значение допустимого напряжения прикосновения в зависимости от времени срабатывания этой защиты приведено в табл. 6.11.

Время срабатывания этой защиты на фидерах или приключательных пунктах можно принимать равным 0,1 с, а на вводе — 0,6 с. В этом случае кратковременное допустимое напряжение прикосновения будет соответственно равно 500 и 75 В.

В сетях с изолированной нейтралью напряжением выше 1000 В при непрерывном контроле за состоянием изоляции расчетное значение однофазного тока замыкания на землю  $I_3$  (А) может быть приближенно вычислено по формуле

$$I_3 = \frac{U_{л} (35L_{к} + L_{вл})}{350}, \quad (6.84)$$

где  $U_{л}$  — линейное напряжение сети, кВ;  $L_{к}$  — общая длина электрически связанных между собой кабельных линий, км;  $L_{вл}$  — общая длина электрически связанных между собой воздушных линий, км.

Ток однофазного замыкания на землю может быть определен путем замеров. Сопротивление заземления для установок напряжением 6 кВ на поверхности карьера, не имеющей релейной защиты от однофазного замыкания на землю, не должно превышать 10 Ом.

Для карьерных сетей с изолированной нейтралью сопротивление заземления не должно превышать 4 Ом.

Общее сопротивление заземления (Ом) складывается из сопротивления заземлителя  $R_3$  и сопротивления заземляющего провода:

$$R_{3,об} = R_3 + R_{п.} \quad (6.85)$$

Сопротивление растеканию трубчатого или стержневого заземлителя (Ом)

$$r_{тр.з} = \frac{\rho}{2\pi l} \left[ \ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4t+l}{4t-l} \right], \quad (6.86)$$

где  $\rho$  — удельное сопротивление грунта, Ом·см;  $l$  — длина трубы, заглубленной в грунте, см;  $d$  — диаметр трубы, см;  $t$  — расстояние от поверхности земли до середины трубы, см.

Сопротивление (Ом) растеканию для местных заземлителей, когда верхний конец электродов не заглублен в грунт и находится на 20—30 см выше поверхности земли:

$$r_{тр.з} = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{4l}{d}. \quad (6.87)$$

Сопротивление полосового заземлителя (Ом), проложенного в грунте,

$$r_{п.з} = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{2l^2}{bt}, \quad (6.88)$$

где  $b$  — ширина полосы, см. Если в качестве соединителей электродов применяется круглая сталь диаметром  $d$ , то в формуле  $b=2d$ , см;  $t$  — расстояние от поверхности земли до середины заглубления полосы, см.

Определив сопротивления электрода и заземляющих проводов для наиболее удаленной установки, находят число электродов заземляющего контура по формуле

$$n = \frac{r_{тр.з}}{R_3}. \quad (6.89)$$

Если устраивается заземляющий контур с углублением в грунт верхних концов электродов и соединяющей их полосы до 0,5 м от поверхности, то общее сопротивление (Ом) растеканию всего заземляющего контура будет меньше найденного выше значения и может быть вычислено по формуле

$$R_{3,к} = \frac{r_{тр.з} r_{п.з}}{r_{тр.з} \eta_{п.} + r_{п.з} \eta_{тр.}}, \quad (6.90)$$

где  $\eta_{п.}$ ,  $\eta_{тр.}$  — коэффициенты использования соответственно соединяющей полосы и заземлителей.

В этом случае можно уменьшить число электродов или принять меньшее сечение заземляющего провода.

Обычно для магистральных заземляющих проводов применяют стальные провода марок Ж-6, Ж-8, ПС-25 и ПС-35.

## Пример 6.5.

Рассчитать общую карьерную сеть защитного заземления с центральным заземляющим контуром, расположенным на главной стационарной подстанции, при следующих условиях:

а) суммарная длина воздушных линий 6 кВ  $L_{вл} = 24$  км; кабельных линий  $L_{кл} = 10$  км;



- б) расстояние от подстанции до наиболее удаленного экскаватора (6 кВ) 1,5 км; длина экскаваторного кабеля КШВГ  $3 \times 35 + 1 \times 10$   $L_{э,к} = 200$  м;  
 в) расстояние от подстанции до наиболее удаленной установки (400 В) 600 м, из которых 500 м — длина магистрального стального провода ПС-50 и 100 м — длина кабеля ГРШ  $3 \times 10 + 1 \times 6$ ;  
 г) на высоковольтных фидерах и на вводе подстанции установлена быстродействующая защита (время срабатывания 0,1 с), на вводе щита 400 В — реле утечки.

Решение.

1. Определяем емкостный ток однофазного замыкания на землю в сетях 6 кВ

$$I_3 = \frac{U_{л}(35L_{КЛ} + L_{ВЛ})}{350} = \frac{6(35 \cdot 10 + 24)}{350} = 6,4 \text{ А.}$$

2. Находим общее сопротивление сети заземления

$$R_{3,общ} = \frac{U_{пр,доп}}{k_{пр} I_3} = \frac{40}{1,6 \cdot 6,4} = 6,25 \text{ Ом.}$$

3. Сопротивление центрального заземляющего контура будем рассчитывать из условия  $R_{3,общ} = 4$  Ом, так как он является общим для установок напряжением до и выше 1000 В:

$$R_{э,к} = R_{3,общ} - R_{пр} - R_{г,к} = 4 - 1,43 - 0,3 = 2,27 \text{ Ом,}$$

где  $R_{пр}$  — сопротивление магистрального провода ПС-50,  $R_{пр} = 2,86 \text{ Ом/км} \times 0,5 \text{ км} = 1,43 \text{ Ом}$ ;  $R_{г,к}$  — сопротивление заземляющей жилы гибкого кабеля бурового станка, определяемое по формуле

$$R_{г,к} = \frac{L_{г,к}}{\gamma F} = \frac{100}{57 \cdot 6} = 0,3 \text{ Ом.}$$

4. Центральный заземляющий контур выполняется из стальных труб диаметром  $d = 5,8$  см и длиной  $l = 300$  см, соединенных общим стальным прутком диаметром  $d = 1$  см и длиной  $l = 3000$  см. Трубы и соединительный прут заглублены на расстояние 50 см от поверхности земли. Грунт — глинистый с удельным сопротивлением  $\rho = 0,5 \cdot 10^4 \text{ Ом} \cdot \text{см}$  (см. табл. 6.11).

Сопротивление одного трубчатого электрода

$$r_{тр,з} = \frac{\rho}{2\pi l} \left( \ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4t+l}{4t-l} \right) = \\ = \frac{0,5 \cdot 10^4}{2 \cdot 3,14 \cdot 300} \left( \ln \frac{2 \cdot 300}{5,8} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \cdot 200 + 300}{4 \cdot 200 - 300} \right) = 13,4 \text{ Ом,}$$

где  $t = \frac{300}{2} + 50 = 200$  см — расстояние от поверхности земли до середины трубчатого заземлителя.

Необходимое число трубчатых электродов заземляющего контура

$$n = \frac{r_{тр,з}}{R_{3,к}} = \frac{13,4}{2,27} = 6.$$

Сопротивление растеканию соединительного стального прута

$$r_{п,з} = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \left( \frac{2l}{bt} \right)^2 = \frac{0,5 \cdot 10^4}{2 \cdot 3,14 \cdot 3000} \ln \left( \frac{2 \cdot 3000}{2 \cdot 50} \right)^2 = 3,2 \text{ Ом,}$$

где  $b = 2d = 2$  см;  $d$  — диаметр прута, см.

Общее сопротивление заземляющего контура

$$R_{3,к} = \frac{r_{тр,з} r_{п,з}}{r_{тр,з} n + r_{п,з} n} = \frac{13,4 \cdot 3,2}{13,4 \cdot 0,75 + 3,2 \cdot 6 \cdot 0,75} = 1,70 \text{ Ом,}$$

где  $\eta_{тр} = 0,75$  и  $\eta_{п} = 0,75$  — коэффициенты использования труб и соединительного прута для труб ( $n = 6$ ), расположенных на расстоянии 6 м друг от друга (принимаем по справочнику).

5. Общее сопротивление заземления наиболее удаленной установки на напряжении 400 В

$$R_{3,общ} = R_{3,к} + R_{пр} + R_{г,к} = 1,70 + 1,43 + 0,3 = 3,43 \text{ Ом,}$$

что удовлетворяет нормам Правил безопасности.

## § 78. КОНТРОЛЬ ЗА ИСПРАВНОСТЬЮ ИЗОЛЯЦИИ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК КАРЬЕРА

Состояние изоляции электроустановок должно соответствовать нормам действующих правил и стандартов.

Контроль за состоянием изоляции производится измерением сопротивления изоляции мегомметром и с помощью специальных приборов постоянного контроля изоляции.

### Измерение сопротивления изоляции

Все электрические установки могут быть включены под напряжение лишь после их осмотра и измерения сопротивления изоляции относительно земли и между фазами. Изоляцию проверяют периодически, так как с течением времени она приходит в негодность. В нормальных производственных помещениях на поверхности карьера проверку изоляции электроустановок производят не менее одного раза в год, а изоляции электроустановок, работающих в карьере, если там отсутствует постоянный контроль за ее состоянием — ежемесячно.

Сопротивление изоляции установок с рабочим напряжением 3—6 кВ измеряют мегомметрами МС-05 или МС-06, М-4100/5, максимальное развиваемое напряжение которых равно 2500 В. Сопротивление изоляции установок с рабочим напряжением до 1000 В измеряют мегомметрами М-1101 или М-1102 с рабочим напряжением 500—1000 В.

### Постоянный контроль за исправностью изоляции

Этот вид контроля, применяемый преимущественно в сетях с изолированной нейтралью, необходим из-за возможных повреждений изоляции установок в период между двумя очередными проверками. Наиболее простой способ постоянного контроля за исправностью изоляции в сетях 380 В — способ вольтметров (рис. 6.39). Между нулевой точкой вольтметров и землей включается реле напряжения. В ЗРУ-6 кВ ГПП и на ЦРП (РП) 6 кВ на каждой секции устанавливаются КРУ (КСО) с трансформатором напряжения НТМИ-6, ко вторичным обмоткам которого присоединяют три вольтметра (или один вольтметр с вольтметровым переключателем) и реле напряжения.