

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ**
ГОУВПО
Донецкий национальный технический университет
ДОННТУ
Кафедра охраны труда и аэрология

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
К ПРАКТИЧЕСКИМ (СЕМИНАРСКИМ) ЗАНЯТИЯМ
ПО ДИСЦИПЛИНЕ «Электробезопасность горного производства»
(для студентов горных специальностей)**

РАССМОТРЕНО
на заседании кафедры
охраны труда и аэрологии
протокол № 4 от 09.12.2016 г.

УТВЕРЖДЕНО
на заседании учебно-
издательского совета ДОННТУ
протокол № 1 от 09.02.2017 г.

Донецк
2017

УДК 622.864

Методические указания к практическим занятиям по дисциплине «Электробезопасность горного производства» (для студентов горных специальностей всех форм обучения), сост.: Ю.Ф. Булгаков, В.Л. Овчаренко— Донецк: ДОННТУ. — 2017. — 70 с.

В методических указаниях к практическим занятиям (МУПЗ) приведено краткое изложение содержания практических занятий к курсу лекций «Электробезопасность горного производства». В МУПЗ рассматриваются вопросы безопасности, закреплённые в Законе Донецкой Народной Республики «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» №54-ІНС от 05.06.2015 г., №54-ІНС от 05.06.2015 г., в обеспечении электробезопасности работающих на опасных производственных объектах. В МУПЗ приводятся системы контроля и обеспечения электробезопасности на горного производстве по подземной добыче угля. Предназначены для студентов специальности 21.05.04 «Горное дело» - «Технологическая безопасность и горноспасательное дело» (ТБГД) дневной и заочной формы обучения, работников технологической безопасности и служб охраны труда, а также может быть использовані при переподготовке и повышении квалификации инженерно-технических работников: сост.: доц., к.т.н. В.Л. Овчаренко.

Рецензенты:

проф., д.т.н. С.В. Борщевский
доц., к.т.н. Е.В. Курбацкий

Ответственный
за выпуск

проф., д.т.н. Ю.Ф. Булгаков

Содержание

1. Практическое (семинарское) занятие 1.	
Тема. Расчет защитного заземления_____	4
2. Практическое (семинарское) занятие 2.	
Тема. Расчет защитного зануления_____	13
3. Практическое (семинарское) занятие 3.	
Тема. Шахтные кабели, назначение, виды, конструкция, область применения_____	22
4. Практическое (семинарское) занятие 4.	
Тема. Коммутационная рудничная аппаратура, назначение, функции_____	31
5. Практическое (семинарское) занятие 5	
Тема. Виды аппаратуры защиты шахтных электроустановок напряжением до 1000 В_____	40
6. Практическое(семинарское) занятие 6.	
Тема. Аппаратура защиты от токов утечек_____	45
7. Практическое (семинарское) занятие 7	
Тема. Трансформаторные подстанции горных Предприятий_____	51
8. Практическое (семинарское) занятие	
Тема. Основные виды аппаратуры защиты шахтных электроустановок напряжением 1140 В_____	59
Литература_____	69

Расчет защитного заземления

Содержание

- 1.1. Общие положения
- 1.2. Характеристики заземлителей
- 1.3. Устройство и расчёт заземлителей

1.1. Общие положения

В связи с тем, что защитное устройство - заземление является совокупностью металлического проводника или группы проводников находящихся в непосредственном соприкосновении с грунтом и заземлительных проводников, соединяющих заземленные части оборудования с заземлителями, конструкции заземления бывают выносными (сосредоточенными) и контурными (распределенными) [1-3, 7, 19].

В контурных заземлительных устройствах заземлители располагают по контуру (периметру) здания, в котором находится электрооборудование, которое нужно заземлить (рис. 1.1.а).

В местах с высоким удельным сопротивлением грунта экономически может быть более целесообразным устройство выносных заземлителей, которые размещают в более проводящих пластах земли (рис. 1.1, б).

Группы выносных заземлителей соединяют с объектом магистралью заземления, кабельной линией. Выносное защитное заземление защищает за счет малого сопротивления растеканию тока и небольшого тока замыкания на землю.

При контурном заземлении заземлители располагаются по периметру и внутри площадки, на которой установлено заземленное оборудование и электрически соединяются. Во время замыкания на корпус ток стекает на землю и благодаря системе заземлителей, расположенных в вершинах сети с определенным шагом, на поверхности территории площадки появляется повышенный относительно подчиненной территории потенциал.

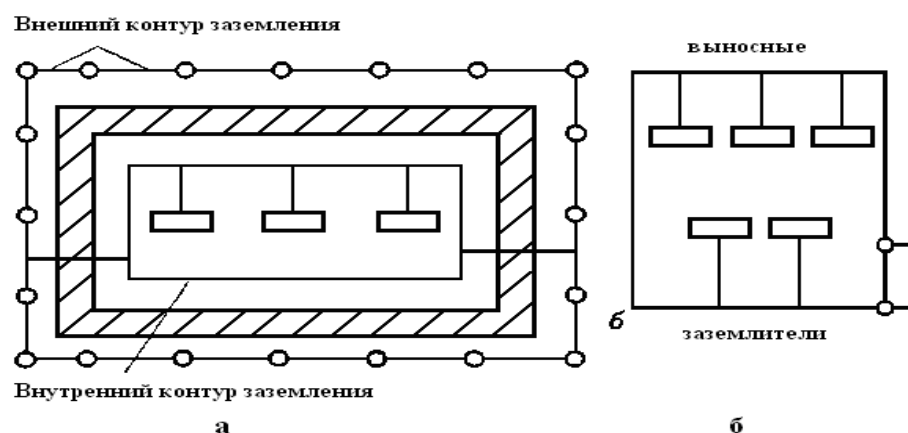


Рис. 1.1. Схема контурного и выносного заземления:
а - внешний контур заземления; б – выносные заземлите-

ли

Заземлители могут быть естественные и искусственные. Естественные заземлители используют разнообразные металлоконструкции, которые имеют хороший контакт с землей: арматуры железобетонных конструкций, трубопроводы (кроме тех, что применяются для транспортировки горючих и взрывных жидкостей и газов), металлические оболочки кабелей (за исключением алюминиевых), обсадные трубы и т.п. Искусственные заземлители представляют собой специально устроенные металлоконструкции (рис. 1.2). В первую очередь, для заземления нужно использовать естественные заземлители, если они есть.

1.2. Характеристики заземлителей

Характеристики стационарных заземлителей и токоотводов приведены в табл. 1.1.

1.3. Устройство и расчёт заземлителей

Снаружи зданий обычно формируют внешний заземлительный контур. Для этого за пределами отмостки дома, в специально выкопанной траншее глубиной 0,6...0,8 м вбивают вертикальные заземлители на расстоянии друг от друга 1...3 м, что равняется длине заземлителя

Таблица 1.1. Характеристика стационарных заземлителей и токоотводов

Токоотводы и заземлители	Название	Характеристика
Токоотводы	Заземление станков, машин, металлической аппаратуры, резервуаров, котлов, трубопроводов, сливно-наливных приборов	Стальная лента сечением 48 мм^2 , толщиной больше 4 мм
Заземлители	Заземлительный контур из стальных труб (электродов)	Трубы диаметром 38...60 мм, с толщиной стенки больше 3,5 мм. Стальные стержни диаметром 40...50 мм, длиной 2...3 м. Вбивают вертикальные заземлители в землю на глубину от поверхности земли к верху трубы или стержня
Стальные ленты	Для токоотводов (электродов)	Сечением не меньше 100 мм^2 , толщиной не меньше 4...5 мм, углубляют в землю на глубину 0,6...0,8 м
Стальные пластины	Для токоотводов (электродов)	Толщина не меньше 4 мм и площадью не меньше 1 м^2 . Углубляют в землю вертикально на глубину от поверхности земли к верхнему краю пластины 0,6...0,8 м

. Вертикальные заземлители методом сваривания соединяют между собой полосой. Образовывается замкнутый по периферии цеха внешний контур, от которого в середину цеха выводятся проводники.

Последние также свариванием соединяются с внутренним контуром [7].

Внутренний контур, к которому присоединяются корпуса электроустановок - это закрепленный на внутренней стенке цеха проводник, который соединяется с внешним контуром. Большое внимание уделяется надежности соединений в конструкции заземления.

Сопротивление растеканию тока с одного заземлителя (трубы, стержня) зависит от удельного сопротивления грунта, глубины от поверхности земли к верху заземлителя и размеров самого заземлителя (трубы), определяют по выражению:

$$R_{mp} = 0,366 \frac{\rho}{l} \left(\lg \frac{2l}{d} + 0,5 \lg \frac{4t+l}{4t-l} \right),$$

где ρ - удельное сопротивление грунта, Ом·м;

l – длина заземлителя, м;

d – диаметр заземлителя, м;

t – расстояние от поверхности земли к середине вертикального заземлителя, м;

$$t = h_g + \frac{l}{2},$$

где h_g – глубина выкопанной траншеи, в которую вбивают вертикальные заземлители, м

Удельное сопротивление грунта зависит от его строения, содержащихся в нем растворимых веществ, влаги, температуры воздуха. Оно изменяется сезонно, а следовательно - сезонно изменяется и значение сопротивления растеканию тока заземлительной системы. Наибольшее значение удельное сопротивление имеет засушливым летом и зимой в большой мороз. Наилучшие грунты для устройства заземления - влажные (торф, чернозем, глина, садовая земля). Самым плохим является скалистый грунт. Можно уменьшить удельное сопротивление грунта внесением кухонной соли вокруг вертикальных заземлителей, подливанием перегноя. Пласт соли и земли поочередно укладывают в грунт на глубину 1/3 длины заземлителя и поливают водой. Для снижения удельного сопротивления используют также намоченный водой шлак или раствор глины в воде.

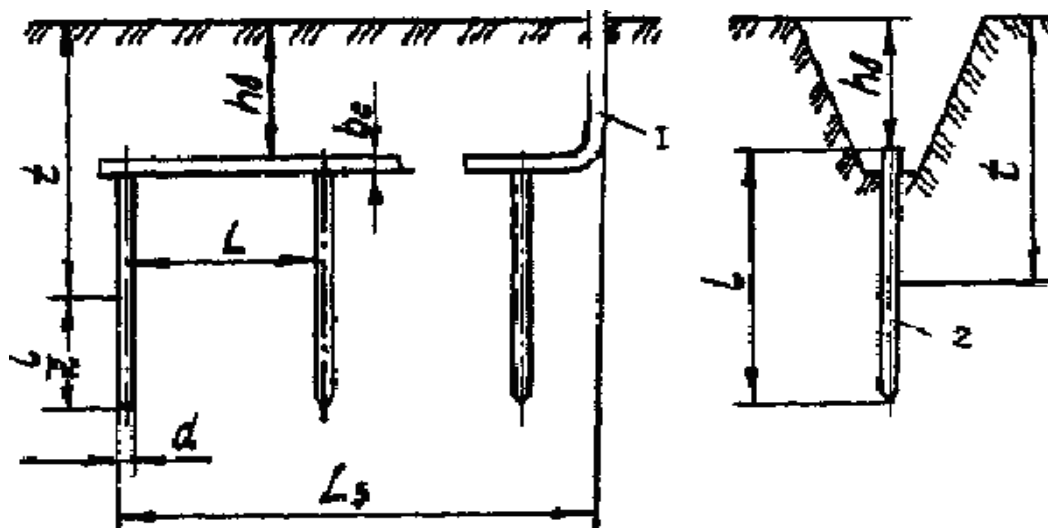


Рис. 1.2. Схема размещения заземлителей (труб) группового заземления:

1 – соединительная лента; 2 – заземлитель (труба); h_e – глубина закладывания заземлителей; L – расстояние между заземлителями; t – расстояние от середины заземлителя к поверхности грунта; l – длина заземлителя (стержня или трубы); b – ширина соединительной ленты.

Удельное электрическое сопротивление грунта зависит от его структуры, влажности, температуры, твердости и времени года (табл. 1.2).

Удельное электрическое сопротивление грунта с учетом коэффициента сезонности определяется по формуле:

$$\rho = \rho_e \cdot \eta_c$$

где ρ_e – измерительное удельное электрическое сопротивление, Ом·м;

η_c – коэффициент сезонности.

Таблица 1.2. Удельное электрическое сопротивление грунта

Грунт	Удельное электрическое сопротивление,	
		При влажности
Чернозем	9...53	20
Глина	8...70	40
Суглинок	40...150	100
Песок	400...700	700
Супесок	150...400	300

Удельное электрическое сопротивление грунта с учетом коэффициента сезонности определяется по формуле:

$$\rho = \rho_{\varepsilon} \cdot \eta_c$$

где ρ_{ε} – измерительное удельное электрическое сопротивление, Ом·м;

η_c – коэффициент сезонности.

Коэффициент сезонности зависит от влажности земли при (табл. 1.3).

Таблица 1.3. Значение коэффициента сезонности для вертикального заземлителя и горизонтальной ленты

Влажность земли при измерении		
повышенная	нормальная	низкая
η_c для вертикального электрода $l=3$ м		
1,9	1,7	1,5
1,7	1,5	1,3
1,5	1,3	1,2
1,3	1,1	1,0
η_c для горизонтального электрода $l=10$ м		
9,3	5,5	4,1
5,9	3,5	2,5
4,0	2,5	2,0
2,5	1,5	1,1
η_c для горизонтального электрода $l=50$ м		
7,2	4,5	3,6
4,8	3,0	2,4
3,2	2,0	1,6
2,2	1,4	1,12

Групповое расположение вертикальных заземлителей (труб) оказывает взаимное влияние полей растекания (экранирование) тока, увеличивая сопротивление растеканию тока.

Учитывая коэффициент экранирования, получим:

$$R_p = \frac{R_{mp}}{n \cdot \eta_e},$$

где R_{mp} – сопротивление растеканию тока одного заземлителя, Ом·м;

n – количество заземлителей, шт;

η_e – коэффициент экранирования.

Значение коэффициента экранирования вертикальных заземлителей (труб) для контурного заземления представлено в табл. 1.4.

Таблица 1.4. Значение коэффициента экранирования

Отношение расстояния между электродом (тру- бой) к длине элек- тродов ЛД	Число заземлителей (труб)				
	4	6	10	20	40
1	0,66...0,7	0,58...0,6	0,52...0,5	0,44...0,5	0,38...0,4
2	0,76...0,8	0,71...0,7	0,66...0,7	0,61...0,6	0,55...0,6
3	0,83...0,8	0,78...0,8	0,74...0,7	0,68...0,7	0,64...0,6
	6	2	8	3	9

С учетом коэффициентов сезонности и экранирования количество заземлителей (труб) определяется по формуле:

$$n = \frac{R_{mp}}{R_o \cdot \eta_c \cdot \eta_e},$$

где $R_{тр}$ – сопротивление одного заземлителя (трубы), Ом;

$R_o = 4$ Ом - допустимое сопротивление растекания тока заземления. Длину соединительной ленты определяют по формуле:

$$l_{cmp} = 1,05 L(n - 1),$$

где L - расстояние между заземлителями (трубами), м.

Сопротивление растеканию тока в соединительной ленте можно определить по формуле:

$$R_{cmp} = 0,366 \frac{\rho}{l_{cmp}} \lg \frac{2l_{cmp}^2}{h \cdot b \cdot \eta_{cmp}},$$

где ρ – удельное электрическое сопротивление грунта с учетом коэффициента сезонности, Ом · м;

$l_{стр}$ – длина соединительной ленты, м;

h – глубина (траншеи) закладывания соединительной ленты, м;

b – ширина соединительной ленты, м;

η_{cmp} – коэффициент экранирования соединительной ленты.

Коэффициент экранирования соединительной ленты для контурного заземления принимают в зависимости от количества заземлителей (табл. 1.5).

Таблица 1.5. Значение коэффициента экранирования для контурного заземления

Отношение расстояния между электродами (трубой) к	Число заземлителей (труб)				
	4	6	10	20	40
1	0,4	0,4	0,3	0,2	0,2
2	0,5	0,4	0,4	0,3	0,2
3	0,7	0,6	0,5	0,4	0,4

Общее сопротивление растеканию тока заземлителей (труб) и соединительной ленты определяется по формулам:

$$R_z = \frac{1}{\frac{1}{R_{тр}} + \frac{1}{R_{cmp}}} \leq R_o,$$

или

$$R_z = \frac{R_{тр} \cdot R_{cmp}}{\frac{1}{R_{тр}} + \frac{1}{R_{cmp}}} \leq R_o$$

Защитное заземление устанавливают в трехфазных сетях с заземленной нейтралью напряжением до 1000 В, а выше 1000 В – при любом режиме работы нейтрали. Заземлению подлежат электроуста-

новки напряжением выше 42 В сменного тока в помещениях с повышенной опасностью и особо опасных, а также во внешних установках.

В условиях деревообрабатывающих производств заземляют все стационарное и передвижное технологическое и транспортное оборудования, которое питается электрическим током.

Ручные электрифицированные инструменты, которые работают с напряжением выше 42 В, подключают в сеть через штепсельные розетки, которые, кроме фазных контактов, имеют и заземлительный контакт. Штепсельные соединения выполнены так, что во время включения заземляющий контакт входит раньше фазных контактов, за счет чего обеспечивается безопасность при обслуживании электрооборудования. Заземляющий контакт длиннее от фазных, что исключает ошибочное включение.

Расчет защитного зануления

Содержание

- 2.1. Предварительные замечания
- 2.2. Расчет зануления на отключающую способность
- 2.3. Средства защиты от поражения электрическим током

Зануление применяют для предотвращения электротравматизма при эксплуатации электрооборудования, конструктивные нетоковедущие металлические части которого оказались под напряжением вследствие замыкания тока на корпус, а также при других аварийных режимах сети (рис. 2.1).

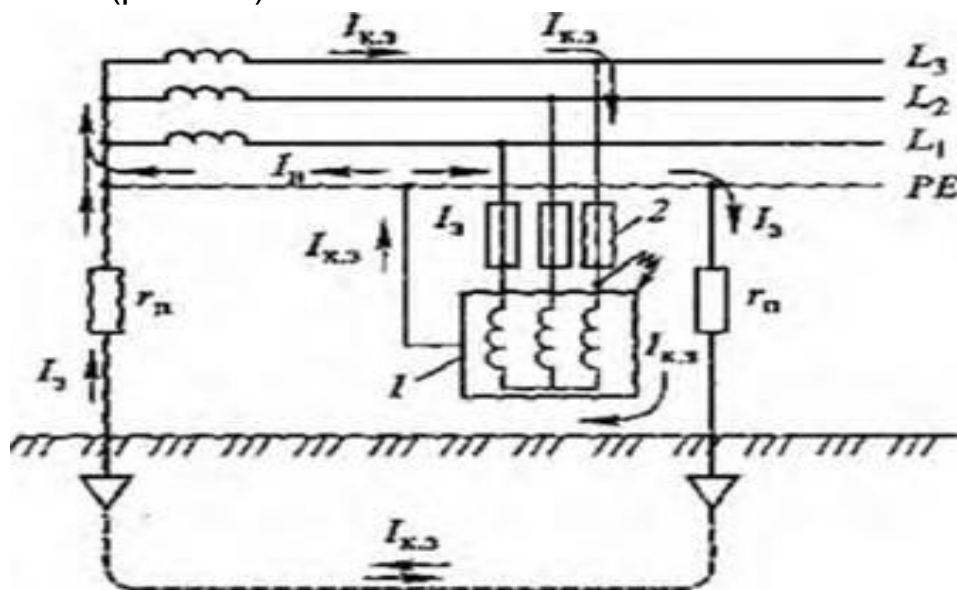


Рис.2.1. Принципиальная схема зануления: 1 – корпус; 2 – аппараты защиты от токов короткого замыкания (предохранители, автоматические выключатели и т. п.); r_n – сопротивление повторного заземления нулевого защитного проводника; $I_{к.з}$ – ток короткого замыкания; I_n – часть тока короткого замыкания, протекающего через нулевой проводник; – часть тока короткого замыкания, протекающая через землю

Физическая сущность зануления заключается в возникновении тока короткого замыкания между нулевым проводом и поврежденной фазой. Ток короткого замыкания может достигать сотен ампер – в результате расплавляется плавкая вставка или отключается тепловое реле и система отключается.

Нулевым защитным проводником называют проводник, соединяющий зануляемые части с глухозаземлённой нейтральной точкой источника тока.

Нулевой защитный проводник в схеме обеспечивает необходимое для отключения электроустановки значение тока однофазного короткого замыкания путем создания для него цепи с малым сопротивлением.

Расчет зануления имеет целью определить условия, при которых оно надежно выполняет возложенные на него задачи — быстро отключает поврежденную установку от сети и в то же время обеспечивает безопасность прикосновения человека к зануленному корпусу в аварийный период.

При проектировании систему защитного зануления рассчитывают по трём характеристикам:

- а) на отключающую способность;
- б) на безопасность прикосновения к корпусу электрооборудования при замыкании фазы на корпус (расчёт повторного заземления нулевого защитного проводника).

2.2. Расчет зануления на отключающую способность

При замыкании фазы на зануленный корпус электроустановка автоматически отключится, если значение тока однофазного короткого замыкания (т. е. между фазным и нулевым защитным проводниками) I_k , А, удовлетворяет условию

$$I_k \geq k \cdot I_{ном}$$

где k — коэффициент кратности номинального тока I_n А, плавкой вставки предохранителя или уставки тока срабатывания автоматического выключателя, А. (Номинальным током плавкой вставки называется ток, значение которого указано (выбито) непосредственно на вставке заводом-изготовителем. При этом токе плавкая вставка может работать сколь угодно долго, не перегорая и не нагреваясь выше установленной заводом-изготовителем температуры)

Значение коэффициента k принимается в зависимости от типа защиты электроустановки. Если защита осуществляется автоматическим выключателем, имеющим только электромагнитный расцепитель (отсечку), т. е. срабатывающим без выдержки времени, то k принимается в пределах 1,25—1,4.

Если установка защищается плавкими предохранителями, время перегорания которых зависит, как известно, от тока (уменьшается с ростом тока), то в целях ускорения отключения принимают $k \geq 3$

Если установка защищается автоматическим выключателем с обратно зависимой от тока характеристикой, подобной характеристике предохранителей, то также

$$k \geq 3$$

Значение I_k зависит от фазного напряжения сети U_ϕ и сопротивлений цепи, в том числе от полных сопротивлений трансформатора z_T , фазного проводника z_ϕ , нулевого защитного проводника $z_{нз}$, внешнего индуктивного сопротивления петли (контура) фазный проводник — нулевой защитный проводник (петли фаза — нуль) X_π , а также от активных сопротивлений заземлений нейтрали обмоток источника тока (трансформатора) r_0 и повторного заземления нулевого защитного проводника r_π (рис. 2.1, а).

Поскольку r_0 и r_π , как правило, велики по сравнению с другими сопротивлениями цепи, можно не принимать во внимание параллельную ветвь, образованную ими. Тогда расчетная схема упростится (рис. 2.1, б), а выражение для тока КЗ I_k , А, в комплексной форме будет

$$\dot{I}_k = \frac{U_\phi}{\frac{z_T}{3} + \underline{z}_\phi + \underline{z}_{нз} + jX_\pi}$$

или

$$\dot{I}_k = \frac{U_\phi}{\frac{z_T}{3} + \underline{z}_\pi}$$

где U_ϕ — фазное напряжение сети, В;

z_T — комплекс полного сопротивления обмоток трехфазного источника тока (трансформатора), Ом;

z_ϕ — комплекс полного сопротивления фазного провода, Ом;

z_{H3} — комплекс полного сопротивления нулевого защитного проводника, Ом;

R_ϕ и R_{H3} активные сопротивления фазного и нулевого защитного проводников, Ом;

X_ϕ и X_{H3} — внутренние индуктивные сопротивления фазного и нулевого защитного проводников, Ом;

— комплекс полного сопротивления петли фаза — нуль, Ом.

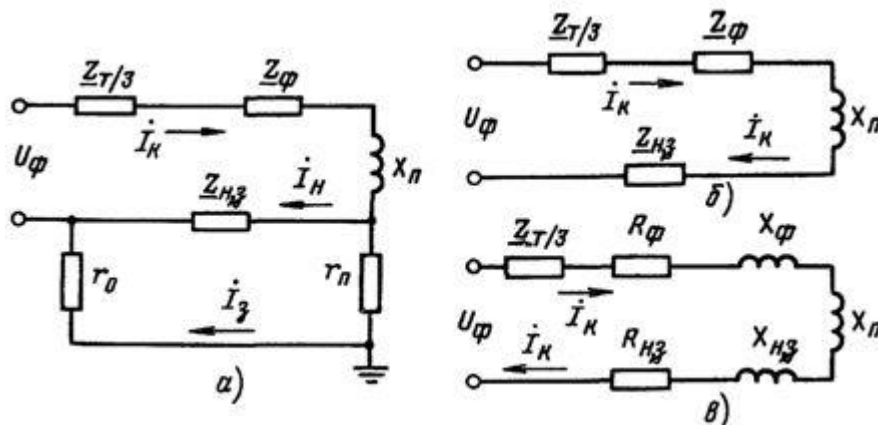


Рис. 2.2. Расчетная схема зануления в сети переменного тока на отключающую способность: а — полная, б, в — упрощенные

При расчете зануления допустимо применять приближенную формулу для вычисления действительного значения (модуля) тока короткого замыкания I_k , в которой модули сопротивлений трансформатора и петли фаза — нуль z_T и z_n Ом, складываются арифметически:

$$I_k = \frac{U_\phi}{\frac{z_T}{3} + z_n}$$

Некоторая неточность (около 5%) этой формулы ужесточает требования безопасности и поэтому считается допустимой.

Полное сопротивление петли фаза — нуль в действительной форме (модуль) равно, Ом,

$$z_n = \sqrt{(R_\phi + R_{H3})^2 + (X_\phi + X_{H3} + X_n)^2}$$

Расчетная формула имеет следующий вид:

$$k \cdot I_{ном} \leq \frac{U_\phi}{\frac{z_T}{3} + \sqrt{(R_\phi + R_{H3})^2 + (X_\phi + X_{H3} + X_n)^2}}$$

Здесь неизвестными являются лишь сопротивления нулевого защитного проводника и $z_{\text{нз}}$, которые могут быть определены соответствующими вычислениями по этой же формуле. Однако, эти вычисления обычно не производятся, поскольку сечение нулевого защитного проводника и его материал принимаются заранее из условия, чтобы полная проводимость нулевого защитного проводника была не менее 50% полной проводимости фазного провода, т. е.

$$\frac{1}{z_{\text{нз}}} \geq \frac{1}{2 \cdot z_{\text{ф}}}$$

или

$$z_{\text{нз}} \leq 2 \cdot z_{\text{ф}}$$

Это условие установлено ПУЭ в предположении, что при такой проводимости I_k будет иметь требуемое значение

$$I_k \geq k \cdot I_{\text{ном}}$$

В качестве нулевых защитных проводников ПУЭ рекомендуют применять неизолированные или изолированные проводники, а также различные металлические конструкции зданий, подкрановые пути, стальные трубы электропроводок, трубопроводы и т. п. Рекомендуется использовать нулевые рабочие провода одновременно и как нулевые защитные. При этом нулевые рабочие провода должны обладать достаточной проводимостью (не менее 50% проводимости фазного провода) и не должны иметь предохранителей и выключателей [.

Таким образом, расчет зануления на отключающую способность является проверочным расчетом правильности выбора проводимости нулевого защитного проводника, а точнее, достаточности проводимости петли фаза — нуль.

Значение z_t , Ом, зависит от мощности трансформатора, напряжения и схемы соединения его обмоток, а также от конструктивного исполнения трансформатора. При расчетах зануления значение z_t берется из таблиц (например, табл. 2.1).

Значения $R_{\text{ф}}$ и $R_{\text{нз}}$, Ом, для проводников из цветных металлов (медь, алюминий) определяют по известным данным: сечению s , мм², длине l , м, и материалу проводников ρ . При этом искомое сопротивление

$$R = \frac{\rho \cdot l}{s}$$

где ρ — удельное сопротивление проводника, равное для меди 0,018, а для алюминия 0,028 Оммм²/м.

Таблица 2.1. Приближенные значения расчетных полных сопротивлений z_T , Ом, обмоток масляных трехфазных трансформаторов

Мощность трансформатора, кВ А	Номинальное напряжение обмоток высшего напряжения, кВ	z_T , Ом, при схеме соединения обмоток	
		Y/Y _n	Д/У _n U/ZH
25	6-10	3,110	0,906
40	6-10	1,949	0,562
63	6-10	1,237	0,360
	20-35	1,136	0,407
100	6-10	0,799	0,226
	20-35	0,764	0,327
160	6-10	0,487	0,141
	20-35	0,478	0,203
250	6-10	0,312	0,090
	20-35	0,305	0,130
400	6-10	0,195	0,056
	20-35	0,191	—
630	6-10	0,129	0,042
	20-35	0,121	—
1000	6-10	0,081	0,027
	20-35	0,077	0,032
1600	6-10	0,054	0,017
	20-35	0,051	0,020

Примечание. Данные таблицы относятся к трансформаторам с обмотками низшего напряжения 400/230 В. При низшем напряжении 230/127 В значения сопротивлений, приведенные в таблице, необходимо уменьшить в 3 раза.

Если нулевой защитный проводник стальной, то его активное сопротивление определяется с помощью таблиц, например табл. 7.2, в которой приведены значения сопротивлений 1 км (r_w , Ом/км) различных стальных проводников при разной плотности тока частотой 50 Гц.

Для этого необходимо задаться профилем и сечением проводника, а также знать его длину и ожидаемое значение тока $K3I_k$, который будет проходить по этому проводнику в аварийный период. Сечением проводника задаются из расчета, чтобы плотность тока $K3$ в нем была в пределах примерно 0,5-2,0 А/мм².

Таблица 7.2. Активные r_w и внутренние индуктивные x_w сопротивления стальных проводников при переменном токе (50 Гц), Ом/км

Размеры или диаметр сечения, мм	Се- чение, мм2	ω	ω	ω	ω	ω	ω	ω	ω	ω
		при ожидаемой плотности тока в проводнике, А/мм2								
		0,5		1,0		1,5		2,0		
Полоса прямоугольного сечения										
20 x 4	80	5,24	3,14	4,20	2,52	3,48	2,09	2,97	1,78	
30 x 4	120	3,66	2,20	2,91	1,75	2,38	1,43	2,04	1,22	
30 x 5	150	3,38	2,03	2,56	1,54	2,08	1,25	—	—	
40 x 4	160	2,80	1,68	2,24	1,34	1,81	1,09	1,54	0,92	
50 x 4	200	2,28	1,37	1,79	1,07	1,45	0,87	1,24	0,74	
50 x 5	250	2,10	1,26	1,60	0,96	1,28	0,77	—	—	
60 x 5	300	1,77	1,06	1,34	0,8	1,08	0,65	—	—	
Проводник круглого сечения										
5	19,63	17,0	10,2	14,4	8,65	12,4	7,45	10,7	6,4	
6	28,27	13,7	8,20	11,2	6,70	9,4	5,65	8,0	4,8	
8	50,27	9,60	5,75	7,5	4,50	6,4	3,84	5,3	3,2	
10	78,54	7,20	4,32	5,4	3,24	4,2	2,52	—	—	
12	113,1	5,60	3,36	4,0	2,40	—	—	—	—	
14	150,9	4,55	2,73	3,2	1,92	—	—	—	—	
16	201,1	3,72	2,23	2,7	1,60	—	—	—	—	

Значения X_{ϕ} и X_{Σ} для медных и алюминиевых проводников сравнительно малы (около 0,0156 Ом/км), поэтому ими можно пренебречь. Для стальных проводников внутренние индуктивные сопротивления оказываются достаточно большими, и их определяют с помощью таблиц, например табл. 7.2. В этом случае также необходимо знать профиль и сечение проводника, его длину и ожидаемое значение тока.

Значение X_{Σ} , Ом, может быть определено по известной из теоретических основ электротехники формуле для индуктивного сопротивления двухпроводной линии с проводами круглого сечения одинакового диаметра d , м,

$$X_{\Sigma} = \omega \cdot L = \omega \cdot \frac{\mu_r \cdot \mu_0}{\pi} \cdot l \cdot \ln \frac{2 \cdot D}{d}$$

где ω — угловая скорость, рад/с; L — индуктивность линии, Гн; μ_r — относительная магнитная проницаемость среды; $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ — магнитная постоянная, Гн/м; l — длина линии, м; D — расстояние между проводами линии, м.

Для линии длиной 1 км, проложенной в воздушной среде ($\mu_r = 1$) при частоте тока $f = 50$ Гц ($\omega = 314$ рад/с), формула принимает вид, Ом/км,

$$X_{\Sigma} = 314 \cdot \frac{4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}}{\pi} \cdot 10^3 \cdot \ln \frac{2 \cdot D}{d} = 0,1256 \cdot \ln \frac{2 \cdot D}{d}$$

Из этого уравнения видно, что внешнее индуктивное сопротивление зависит от расстояния между проводами D и их диаметра d . Однако поскольку d изменяется в незначительных пределах, влияние его также незначительно и, следовательно X_{Σ} зависит в основном от D (с увеличением расстояния растет сопротивление). Поэтому в целях уменьшения внешнего индуктивного сопротивления петли фаза — нуль нулевые защитные проводники необходимо прокладывать совместно с фазными проводниками или в непосредственной близости от них.

При малых значениях D , соизмеримых с диаметром проводов d , т. е. когда фазный и нулевой проводники расположены в непосредственной близости один от другого, сопротивление X_{Σ} незначительно (не более 0,1 Ом/км) и им можно пренебречь.

В практических расчетах обычно принимают $X_p = 0,6 \text{ Ом/км}$, что соответствует расстоянию между проводами 70 — 100 см (примерно такие расстояния бывают на воздушных линиях электропередачи от нулевого провода до наиболее удаленного фазного).

2.3. Средства защиты от поражения электрическим током

Таблица 2.3. Классификация средств защиты от поражения электрическим током

Средства, предупреждающие прикосновение к токоведущим частям	Средства, защищающие при прикосновении		
	к токоведущим частям	к нетокковедущим частям	к токоведущим и нетокковедущим частям
Коллективные			
Изоляционные покрытия, оболочки, ограждения			Устройства защитного отключения, разделяющие трансформаторы, источники малого напряжения
Устройства заземления нетокковедущих частей, устройства выравнивания потенциалов			
Токовые цепи			
Устройства защитного заземления, зануления			
Индивидуальные			
Накладки, колпаки, каски, пояса монтерские, канаты страховочные, штанги, клещи, указатели напряжения	Ковры, подставки, боты, галоши, кабелины, площадки, лестницы, подъемники телескопические, инструмент слесарно-монтажный		Перчатки

Практическое (семинарское) занятие 3

Шахтные кабели, назначение, виды, конструкция, область применения

Содержание

- 3.1. Предварительные замечания
- 3.2. Бронированные кабели
- 3.3. Гибкие кабели
- 3.4. Шахтные кабельные линии

3.1. Предварительные замечания [6]

В подземных выработках шахт электрическая энергия передается только по кабельным линиям. Применяемые кабели согласно ПБ должны быть предназначены для работы в шахтных условиях и иметь оболочки или защитные покровы, не распространяющие горение. Правила безопасности запрещают применять в подземных выработках и стволах шахт кабели с алюминиевыми жилами или с алюминиевой оболочкой.

В шахтах применяют кабели следующих конструкций: бронированные, гибкие и особо гибкие.

По назначению различают: силовые кабели; кабели управления, предназначенные для цепей дистанционного управления, релейной защиты и автоматики; контрольные кабели для цепей контроля и измерения различных параметров.

3.2. Бронированные кабели

Бронированные кабели. Эти кабели применяют для питания стационарных потребителей, а также для потребителей, перемещаемых периодически [1].

Для стационарной прокладки в горизонтальных выработках используют кабели СБн, СБГ, СБлн, СБшв, аналогичные по конструкции кабелю АСБ (рис. 3.1). Буква Б в маркировке означает броню в виде

двух стальных лент; буква л — усиленную подушку у защитного покрова; н — негорючий наружный покров; Шв — наружный покров из поливинилхлоридного шланга. Эти кабели могут применяться также и в наклонных выработках, но при небольшой плавности уклона концов кабеля. Такое

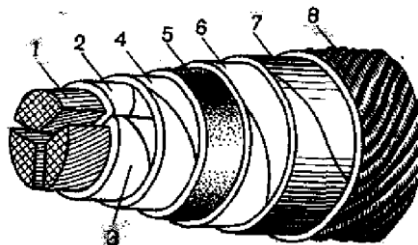


Рис. 3.1. Конструкция кабеля АСБ

ограничение связано с тем, что маслоканифольный компаунд, которым пропитана бумажная изоляция жил, под действием собственного веса стекает к нижнему концу кабеля, и образовавшееся там давление компаунда может вывести кабель из строя.

В наклонных выработках с углом наклона до 45° могут прокладываться те же кабели, но с обедненно-пропитанной изоляцией. В обозначение этих кабелей добавляется буква В, например СБн-В.

В подземных условиях используются кабели с медными жилами. На поверхности шахт (кроме взрывоопасных помещений) должны применяться кабели АСБ с алюминиевыми жилами, в свинцовой оболочке, бронированный двумя стальными лентами, с наружным защитным покровом к (рис. 3.1.) [12,14].

Алюминиевые токопроводящие жилы 1 кабеля изолируют бумажной лентой 2, пропитанной масло-канифольным компаундом. Поверх изоляции жил накладывают поясную изоляцию 4. В пространство между поясной изоляцией и жилами помещают бумажный наполнитель 3 для придания кабелю круглой формы. Свинцовая оболочка 5 защищает кабель от проникновения в него влаги и вытекания пропиточного состава. На свинцовую оболочку накладывают подушку 6 из бумаги или кабельной пряжи для защиты ее от коррозии и механических повреждений броней 7, выполненной из двух стальных намотанных по спирали в два слоя лент. Броня защищает свинцовую оболочку. Для предохранения от коррозии на броню накладывают наружный покров 8.

Кабельные линии в земле прокладывают в траншеях по трассам, обеспечивающим сохранность кабелей. Ширина траншеи определяется числом прокладываемых кабелей; глубина заложения составляет 0,7–1 м. Кабели укладывают на слой мягкого грунта или песка толщиной 100 мм. Поверх кабелей насыпают второй слой мягкого грунта толщиной 100 мм и накрывают кирпичами в один слой или железобетонными плитами.

Кабели прокладывают также в туннелях и блоках, каналах со съемными крышками или плитами, на эстакадах, в галереях и коллекторах, по стенам зданий. Прокладку в каналах применяют только на охраняемых территориях. В блоках и трубах кабели прокладывают при пересечении с дорогами; в туннелях — при большом их числе (свыше 20).

Отдельные отрезки кабелей соединяют муфтами. Для кабелей до 1000 В применяют чугунные или эпоксидные муфты; для кабелей 6–10 кВ — эпоксидные или свинцовые трехфазные муфты; для кабелей на напряжение 35 кВ — однофазные муфты. На муфты навешивают бирки с указанием даты их монтажа и фамилии монтера, производившего соединение.

В наклонных выработках с углом наклона до 45° могут прокладываться те же кабели, но с обедненно-пропитанной изоляцией. В обозначение этих кабелей добавляется буква В, например СБн-В.

В стволах, а также в наклонных выработках при большой разности уровней концов кабелей следует применять кабели с броней, выполненной плоскими (буква П в обозначении) или круглыми (буква К в обозначении) стальными оцинкованными проволоками. При глубине прокладки в стволах до 200 м могут применяться кабели с обедненно-пропитанной изоляцией, например СПлн-В; при большей глубине — кабели ЦСПл и ЦСКл, пропитанные нестекающим составом на основе церезина.

К бронированным относится кабель повышенной гибкости и прочности ЭВТ, который в соответствии с требованием ПБ применяется для подачи энергии передвижным участковым подстанциям и распределительным пунктам НН, перемещающимся вслед за продвижением забоя. Выпускают четырех- и восьмижильные кабели ЭВТ на 6 кВ с сечением основных жил 16, 25 и 35 мм², заземляющей жилы — 10 мм² и вспомогательных жил (у восьмижильных кабелей) — 4 мм². Для питания распределительных пунктов низкого напряжения выпускают четырех- и восьмижильные кабели на 660 В с сечением основных жил 16–95 мм² и восьмижильные кабели на 1140 В с сечением основных жил 35–120 мм².

Восьмижильный кабель ЭВТ (рис. 3.2,а) имеет три основные жилы

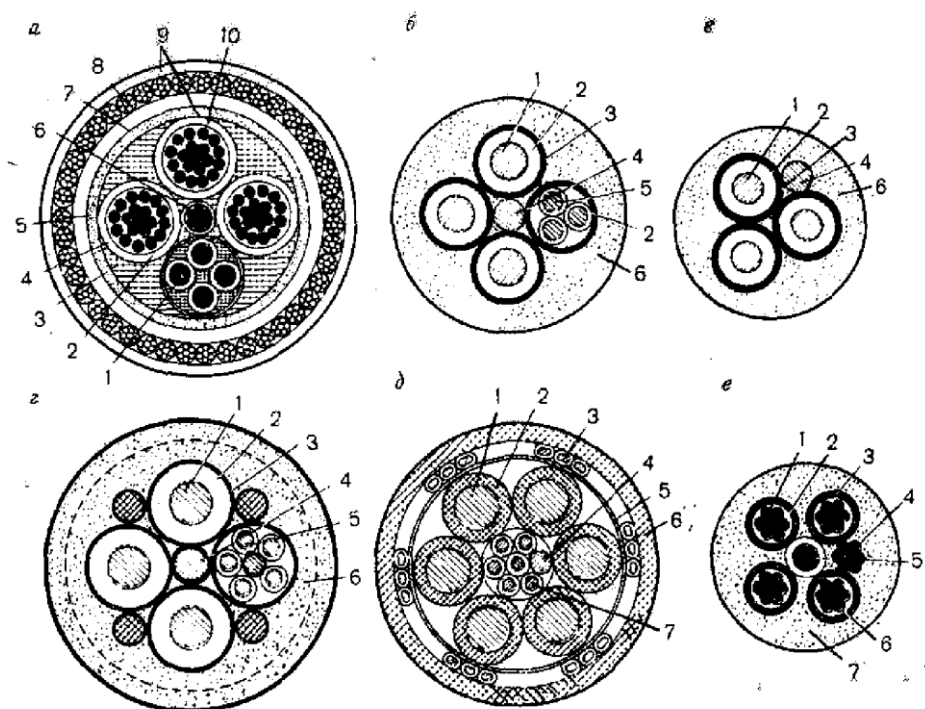


Рис. 3.2. Конструкция шахтных кабелей

а – ЭВТ (восьмижильный); *б, в* – соответственно семи- и четырехжильный кабель ГРШЭ; *г* – ГРШЭП; *д* – ГВШОП; *е* – КОГЭШ и КОГВЭШ

покрытые изоляцией 2 из поливинилхлоридного пластиката и заключенные в индивидуальные экраны 4 из медной фольги, и четыре вспомогательные жилы 1, скрученные между собой и помещенные в общий экран. Все указанные жилы располагают вокруг заземляющей жилы 6 и поверх них накладывают оболочку 3 из поливинилхлоридного пластиката, поясную изоляцию 5, общий экран 7 из медной фольги и штанговую оболочку 9 с вделанной в нее броней 8 из стальных канатиков.

3.3. Гибкие кабели [1, 8-10]

Гибкие кабели. Эти кабели применяют в качестве силовых для питания шахтных передвижных машин и механизмов и в качестве кабелей управления.

Кабели ГРШЭ. Силовые кабели ГРШЭ (гибкие, с резиновой изоляцией, шахтные, экранированные) на напряжение 660 В используют на шахтах особенно широко. Выпускаются кабели: семижильные (рис. 3.2, б) с тремя основными жилами сечением от 4 до 95 мм², тремя вспомогательными жилами и одной жилой заземления; четырехжильные (рис. 3.2, в); без вспомо

гательных жил. Основные 1 и вспомогательные 5 жилы имеют резиновую изоляцию 2. Поверх изоляции основных жил наложен экран 3 из электропроводящей резины. Жилы кабеля скручиваются: вспомогательные — между собой и вместе с основными — вокруг заземляющей жилы 4. В четырехжильных кабелях основные и заземляющие жилы скручены между собой. Поверх скрученных жил наложена резиновая оболочка 6.

В связи с использованием напряжения 1140 В для питания потребителей добычных участков выпускают семижильные кабели ГРША — 1140 С тем же сечением основных жил. Они отличаются от кабелей ГРШЭ на 660 В повышенным сопротивлением изоляции.

Кабели ГРШЭП. Эти кабели имеют повышенную гибкость и прочность по сравнению с ГРШЭ. Они разработаны для питания очистных комбайнов с кабелеукладчиками или кабелеподборщиками. Номинальное напряжение

основных жил 660 В. Кабели ГРШЭП — девятижильные (рис. 3.2, г) с сечением основных жил от 10 до 70 мм². По конструкции они близки к кабелям.

ГРШЭ. Пять вспомогательных жил 5 свиты между собой, а затем свиты с основными жилами 1, покрытыми изоляцией 2 и заключенными в экран 3, вокруг заземляющей жилы 4. Поверх скрученных жил наложена двухслойная резиновая оболочка 6, упрочненная между слоями нитями из волокнистых материалов.

Кабели ГВШОП. Эти кабели предназначены для питания электродвигателей передвижных машин и механизмов при напряжении 660 В для основных и 380 В для вспомогательных жил в системах электроснабжения с опережающим отключением. Пять вспомогательных жил 7 (рис. 16.5, д) кабеля, изолированных поливинилхлоридным (ПВХ) пластиком, и неизолированная заземляющая жила 4 скручены вокруг сердечника из лавсановых нитей.

Шесть основных жил 1 сечением от 6 до 50 мм², покрытых изоляцией 2 из ПВХ пластика и графито-полимерным экраном, скручены вокруг вспомогательных жил и обмотаны лентой 5 из синтетического материала. Поверх ленты наложены 18 упрочняющих жгутов 3 из металлокорда или стального каната. Наружная оболочка 6 выполнена из ПВХ пластика.

Кабели КРПСН. Выпускаются четырехжильные (три основные жилы сечением $2,5-120 \text{ мм}^2$ и одна заземляющая), пятижильные (три основные жилы сечением $2,5-6 \text{ мм}^2$, одна заземляющая и одна вспомогательная жила) и шестижильные (три основные жилы сечением $4-50 \text{ мм}^2$, одна заземляющая и две вспомогательные жилы) кабели КРПСН. Эти кабели имеют резиновую маслостойкую оболочку, не распространяющую горение. Они применяются в шахтах, когда не требуются экранированные кабели.

Кабели КГШ. Это контрольные кабели, которые применяются в цепях управления, защиты, сигнализации, блокировки. Они выпускаются с числом жил от 6 до 36 сечением каждой жилы $1,5 \text{ мм}^2$.

Особо гибкие кабели. Они предназначены для присоединения шахтного бурильного электроинструмента к сети напряжением до 220 В для кабелей с резиновой изоляцией и до 660 В для кабелей с ПВХ изоляцией. Выпускаются кабели КОГЭШ (особо гибкий, с резиновой изоляцией, экранированный, шахтный) и КОГВЭШ, отличающийся видом изоляции — ПВХ вместо резины. Это — пятижильные кабели с одинаковым сечением всех жил от $1,5$ до 6 мм^2 . Три основные жилы 1 (рис. 3.2, е) и вспомогательная жила 6

покрыты изоляцией 2, на которую наложен экран 3 из электропроводящей резины (для кабеля КОГЭШ) или графитополимерный (для КОГВЭШ). Жила заземления 4 не имеет изоляции. Все жилы скручены вокруг сердечника 5 и покрыты синтетической пленкой и резиновой (для КОГЭШ) или ПВХ (для КОГВЭШ) оболочкой 7.

3.4. Шахтные кабельные линии

Условия эксплуатации кабелей, особенно гибких, в шахтах весьма тяжелые: они могут быть повреждены при обвалах породы или угля, сходе вагонеток с рельсов, пережаты забойными машинами. Повреждение кабеля не только приводит к простоям, но может вызвать пожар или поражение человека электрическим током. Поэтому кабели надо прокладывать и крепить (подвешивать) так, чтобы предохранить их от механических повреждений.

Конструкции для подвески кабелей должны: не повреждать кабель при его закреплении; удерживать кабель при срыве его со смежных конструкций; предусматривать возможность снятия кабеля с конструкции без демонтажа соседних кабелей; легко заменяться.

В шахтах следует применять только типовые конструкции для подвески (крепления) кабеля. Выбор типа конструкции зависит от типа и крепления выработки и назначения кабеля. Различают четыре группы таких конструкций: 1) для крепления кабелей в вертикальных и наклонных выработках; 1) для крепления кабелей, прокладываемых в скважинах; 3) для жесткой подвески кабелей в горизонтальных и наклонных выработках; 4) для мягкой подвески кабелей в горизонтальных и наклонных выработках.

Кабельные линии в вертикальных стволах. Эти кабельные линии прокладывают обычно в клетевых стволах, так как монтаж, ремонт и осмотр кабелей удобнее производить из клетки. Кабели располагают рядом с лестничным отделением — месте, наиболее доступном для осмотра и ремонта. Расстояние до трубопроводов должно быть не менее 5 м. Кабели пропускают в ствол через специальные окна в шейке ствола на глубине не менее 1 м от поверхности. В ЦПП кабель вводят через трубный или специально пройденный ходок.

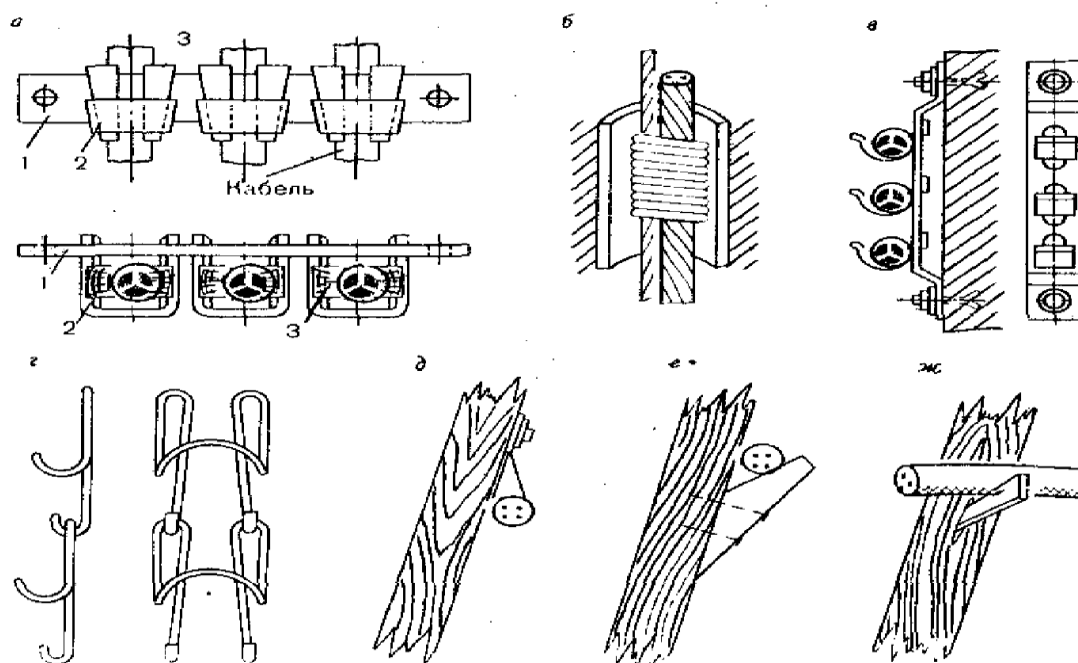


Рис. 3.3. Способы подвески и крепления кабелей

а, в, г — жесткая; б — на тросе; д, е, ж — мягкая

Стволовые кабели крепят с помощью специальных конструкций склиновыми клиновыми зажимами (рис. 3.3,а), состоящих из скобы 1, на которой размещаются до четырёх держателей 2, и деревянных клиньев (клиц) 3. Типо —

Когда нижний конец кабеля достигает места его присоединения в ЦПП, кабель крепят к указанным конструкциям снизу вверх, снимая при этом бандаж и хомуты, соединяющие кабель с тросом. После крепления кабеля на всей глубине ствола трос вытягивают лебедкой. Для удобства и безопасности ведения работ ствол при прокладке перекрывают полком.

Строительная длина кабеля должна по возможности соответствовать глубине ствола. Если это условие невыполнимо, части кабеля соединяют муфтой, которую размещают на верхнем горизонте или в специальной нише (камере).

Кабельные линии в скважинах. При неглубоком залегании пластов и питании механизмов участков через скважины для прокладки кабеля в обсадной трубе его крепят к тросу бандажами из медной или стальной оцинкованной мягкой проволоки диаметром 1,2–1,8 мм через каждые 1,5–2 м размер конструкции должен соответствовать сечению и марке кабеля. Расстояние между кабелями в свету должно быть не менее 100 мм. Эти конструкции располагают по высоте через 6–6,5 м и заделывают в крепь ствола.

Прокладку кабеля в стволе осуществляют следующим образом. На поверхности около ствола устанавливают лебедку с запасом троса на барабане, рассчитанным на полную глубину ствола, и барабан с кабелем. Трос пропускают через шкив, подвешенный к копру над тем участком ствола, где намечена прокладка кабеля. Кабель крепят к тросу и лебедкой опускают трос с кабелем в ствол. Крепление представляет собой бандаж из пенькового каната, накладываемый на трос и кабель через 2–2,5 м. Через каждые 20 м кабель крепят к тросу специальными хомутами.

(рис. 3.3, б) и вместе с тросом опускают в скважину. Верхний конец троса после опускания кабеля закрепляют на поверхности, так что кабель висит на тросе. Допускается прокладывать в скважине два кабеля при подвеске их на отдельных тросах. Применять скобы, зажимы и хомуты для крепления кабеля к тросу не рекомендуется, поскольку при спуске и подъеме эти элементы могут застревать на стыках обсадных труб. Кроме того, исключается возможность прокладки второго кабеля.

Кабельные линии в горизонтальных и наклонных выработках. В этих выработках кабели подвешивают открыто на боковой стороне выработки, вдоль которой намечен проход людей. Если прокладываются кабели разных напряжений, например, 6 кВ и 660 В, то кабели напряжением 6 кВ подвешивают внизу.

Кабели прокладывают на типовых конструкциях, соответствующих данному типу выработки.

В выработках, закрепленных бетоном, кирпичом или аналогичной крепью, когда исключается падение на кабель стоек, верхняков, кусков угля

или породы, применяют жесткую подвеску кабеля: штампованную (рис. 3.3, в) или проволочную (рис. 3.3, г) конструкцию.

При металлической или деревянной крепи используют мягкую подвеску. В случае внезапного давления на кабель, например при падении стойки, конструкция для подвески отрывается от места ее закрепления и таким образом кабель предохраняется от повреждения. В качестве конструкций мягкой подвески применяют брезентовые ленты (рис. 3.3, д), *деревянные кронштейны – «ляпухи»* (рис. 3.3, е) и колышки (рис. 3.3, ж).

В выработках с углом наклона более 45° кабели крепят на кронштейнах с помощью деревянных накладок с вырезами под кабель определенного диаметра.

Прокладка гибкого кабеля по почве допускается: для передвижных машин (на расстоянии не более 30 м от машины); для машин, имеющих кабелеподборщик; для комбайнов на пластах мощностью до 1,5 м.

Запрещается держать гибкие кабели под напряжением в бухтах и восьмерках. Это запрещение не относится к экранированным кабелям с негорючей оболочкой, которые по условиям эксплуатации должны находиться в бухтах или на барабанах. Допустимая нагрузка кабеля в этом случае должна быть снижена на 30 %.

Отношение радиуса внутренней кривой изгиба кабеля к его диаметру должно быть не менее: 15 – для силовых кабелей с бумажной изоляцией в свинцовой оболочке; 10 – для кабелей ЭВТ; 5 – для гибких силовых и контрольных кабелей.

Практическое (семинарское) занятие 4

Коммутационная рудничная аппаратура, назначение, функции

Содержание

- 4.1. Коммутационные аппараты с ручным приводом
- 4.2. Коммутационные аппараты с двигательным приводом
- 4.3. Реле
- 4.4. Контактторы
- 4.5. Высоковольтные коммутационные аппараты
- 4.6. Защита коммутационных аппаратов при повреждении изоляции отходящих кабелей

4.1. Коммутационные аппараты с ручным приводом [2, 3, 13]

К аппаратам с ручным приводом относятся выключатели, кнопочные выключатели, переключатели, разъединители, ручные пускатели, автоматические выключатели.

Для ручного управления электроприемниками напряжением до 660 В (асинхронными электродвигателями небольшой мощности, осветительными установками) в шахтах, опасных по газу или пыли, применяют пускатели ПРШ-1 (пускатель ручной со штепселем). Номинальный ток пускателя при напряжении 660 и 380 В составляет соответственно 6 и 10 А. В две фазы в две фазы включены плавкие предохранители для защиты от токов КЗ.

Пускатель ПРШ-1 состоит из собственно пускателя моментного действия (у которого скорость движения контактов не зависит от скорости перемещения приводной рукоятки) и штепселя, снабженного механической блокировкой, не позволяющей включать пускатель, если его штепсель не вставлен, и вынуть штепсель при включённом пускателе.

В рудничных электромагнитных пускателях применяют блокировочные реверсивные разъединители, представляющие собой трехпозиционные коммутационные аппараты с врубным контактным узлом. Все переключения производятся только при разомкнутой главной цепи. При повороте вала разъединителя установленные на нем контактные губки замыкают неподвижные контактные ножи. Включенное и отключенное положения разъединителя фиксируются фиксатором.

Для реверсирования электродвигателей угольных комбайнов выпускаются выключатели реверсивные комбайновые типа ВРК. Они используются, главным образом, в качестве реверсивного разъединителя, т.е. для подготовки цепи к включению электродвигателя в ту или другую сторону, а замыкание цепи производится магнитным пускателем на штреке. Выключатели ВРК-20 имеют шесть главных и два вспомогательных контакта.

Главные контакты замыкающие [16-18].

Замыкание и размыкание главных контактов производится с помощью механизма включения, который обеспечивает их безмоментное замыкание и моментное размыкание. Выключатели устанавливаются во взрывонепроницаемой оболочке комбайна.

При повороте рукоятки в сторону отключения сначала размыкаются вспомогательный контакт, и только после этого происходит моментное размыкание главных контактов.

Кнопочные взрывобезопасные выключатели представляют собой одно- двух- и трёхкнопочные посты управления.

Для управления пускателями очистных комбайнов, проходческих машин и других шахтных механизмов применяют также кнопки КУВ-20, которые становятся взрывобезопасными только после встройки их во взрывонепроницаемые корпуса электроблоков этих машин.

Номинальное напряжение и ток кнопки КУВ-20 составляют соответственно 60 В и 10 А.

Командоконтроллеры представляют собой многопозиционные аппараты, используемые для переключения цепей управления. Они состоят из нескольких секций контактных устройств, замыкаемых и размыкаемых с помощью кулачковых механизмов. В каждой секции командоконтроллера имеются два контактных устройства, каждое из которых состоит из двух неподвижных контактов, расположенных на изоляционной колодке. Подвижный контакт закреплён на рычаге, который поворачивается вокруг оси. На рычаге имеется ролик. Под действием пружины он замыкает контакты. Необходимое усилие прижатия контакта обеспечивается пружиной.

Контакты замыкаются и размыкаются при помощи пластмассовых кулачков, закреплённых на валу, который жёстко связан с рукояткой командоконтроллера. При повороте вала ролик рычага наезжает на выступ кулачка, и соответствующий контакт размыкается. Необходимая последовательность замыкания и размыкания отдельных контактов достигается подбором кулачков. Эта последовательность изображается в виде диаграммы замыканий контактов.

Для замыкания и размыкания контактов в цепях управления применяются также многопозиционные универсальные переключатели, в которых коммутация контактов производится, как и в командоконтроллерах, с помощью профилированных кулачков. Меняя кулачки и положение их на квадратном валу переключателя, можно получать различные диаграммы замыкания контактов.

4. 2. Коммутационные аппараты с двигателем

Наиболее распространенные коммутационные аппараты с двигателем — это реле, контакторы, магнитные пускатели, реверсоры, масляные выключатели и др.

Термином "реле" в общем случае называют широкий класс устройств, у которых зависимость выходной величины y от входной x имеет вид, различной физической природы, например входная величина давление жидкости, а выходной — электрический ток (реле давления). При возрастании входной величины x от нуля выходная y сначала не изменяется, сохраняя значение y_1 , но при $x = x_{сраб}$ значение y скачком изменяется от y_1 до y_2 — реле срабатывает. Дальнейшее возрастание входной величины не приводит к изменению выходной.

Уменьшение входной величины сначала не вызывает изменения выходной, которая сохраняет значение y_2 , но затем при $x = x_{\text{воз}}$ она скачком изменяется до прежнего значения y_1 — происходит возврат реле в исходное состояние. Отношение $x_{\text{воз}}/x_{\text{сраб}} = k_{\text{воз}}$ называется *коэффициентом возврата реле*. Таким образом, реле может иметь всего два устойчивых состояния, характеризующихся соответственно двумя значениями выходной величины y_1 и y_2 . Характеристика $y = f(x)$ рассмотренного выше вида называется *релейной*. Во многих устройствах релейного типа $y_1 = 0$. Тогда нижняя часть релейной характеристики совпадает с осью абсцисс.

4.3. Реле

Реле. При рассмотрении контактных коммутационных аппаратов под термином "реле" понимают электромеханический коммутационный аппарат, имеющий указанную выше характеристику. Электромеханические реле делятся на электромагнитные, магнитоэлектрические и индукционные. Преимущественное применение получили *электромагнитные реле*, которые де-

лятся на *нейтральные*, одинаково реагирующие на токи разного направления, и *поляризованные*, характеризующиеся тем, что их подвижная часть отклоняется в ту или другую сторону в зависимости от направления тока. Поляризованные реле применяются сравнительно редко.

В аппаратуре управления, автоматизации, сигнализации и связи, применяемой на поверхности шахт, и в рудничной аппаратуре используют различные типы реле (главным образом, реле постоянного тока): РКН (с круглым сердечником, нейтральное); МКУ-48 (многоконтактное, унифицированное — постоянного и переменного тока); РСМ (сигнальное, миниатюрное); РКМ-1 (с круглым сердечником, миниатюрное); РЭС-6 и РЭС-22 (электромагнитные, сигнальные). В искробезопасных цепях дистанционного управления широко применяются реле РП-2И, не чувствительные к переменному току.

Работа реле [16]

При прохождении по включающей катушке тока, большего чем ток срабатывания (или при подаче напряжения, большего чем напряжение срабатывания) якорь реле притягивается, и закрепленные на нем изоляционные толкатели, проходящие через отверстия в пластинах, воздействуют на пластины с подвижными контактами. Подвижные контакты отходят от неподвижных, и замыкаются с неподвижными контактами расположенными с противоположной стороне. Возврат якоря и пластины с контактами в исходное положение после отключения тока в катушке осу-

ществляется вследствие упругости контактных пластин и возвратной пружины.

Герконовые реле применяются в рудничной аппаратуре сигнализации и автоматизации. Это — реле с герметизированными магнитоуправляемыми контактами, представляющими собой миниатюрную стеклянную колбу с впаянными ферромагнитными электродами, между концами которых имеется небольшой зазор. При воздействии внешнего магнитного поля возникает усилие, сближающее электроды, в результате чего образуется электрический контакт. Таким образом, электроды герконового реле выполняют одновременно функции магнитопровода, контактных пружин и контактов. Внешнее магнитное поле создается катушкой с током или постоянным магнитом.

Преимущества герконовых реле: высокая надежность благодаря полной изоляции контактов от воздействия окружающей среды; высокая коммутационная износостойкость ($10^8 - 10^9$ циклов ВО); высокое быстродействие (около 1 мс); низкая стоимость.

Недостаток герконовых реле — низкая коммутационная способность. В рудничной электрической аппаратуре они применяются в искробезопасных цепях, мощность которых не превышает допустимую коммутируемую мощность.

4.4. Контактторы [16]

Контактторы. *Контактором* называют двухпозиционный аппарат релейного действия с самовозвратом, предназначенный для частых коммутаций в силовых цепях. Существуют две конструкции контакторов: с поворотной подвижной системой и рычажными контактами; с прямоходовой подвижной системой и мостиковыми контактами. Для управления трехфазными электродвигателями применяют трехполюсные контакторы, имеющие три главных контакта. Число вспомогательных контактов у контакторов различных типов неодинаково. Контактторы имеют открытое исполнение, поэтому при использовании их в шахтах, опасных по газу или пыли, они встраиваются

во взрывонепроницаемые оболочки. Номинальное напряжение главной цепи этих контакторов — 660 В, а номинальное напряжение включающей катушки определяется принятым напряжением цепи управления. По заказу потребителя катушки могут выполняться на 127, 220, 380, 500 и 660 В переменного тока.

Для встраивания во взрывонепроницаемые оболочки рудничного электрооборудования используются контакторы: с поворотной подвижной системой — КТ7023У и КТ7123У на 125 А и КТ6043АР на 400 А; с прямоходовой подвижной системой — КТУ-2А на 63 А, КТУ-4А и КТУ-4Б на 250 А. Включающая катушка контактора КТУ-4Б питается выпрямленным напряжением.

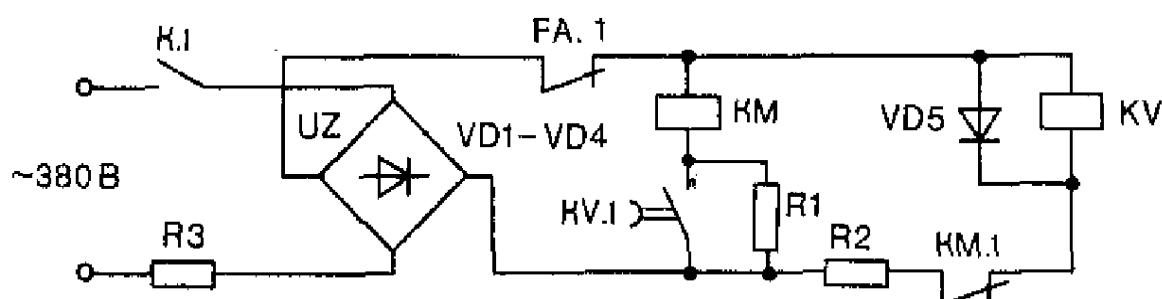


Рис. 4.1. Схема включения контактора КТУ-4Б

В контакторе КТУ-4Б для питания включающей катушки выпрямленным напряжением установлен мостовой выпрямитель *UZ*, собранный на кремниевых диодах *VD I – VD IV* (рис.16.1.). При включении контактора

промежуточного реле управления замыкается цепь включающих катушек *KM* контактора через резистор *R1*. Проходящий по катушкам ток недостаточен для притягивания якоря. Но одновременно замыкается цепь питания реле напряжения *KV* через размыкающий вспомогательный контакт *KM.1* контактора и резистор *R2*. Реле *KV* включается и своим контактом *KV.1* шунтирует резистор *R1*. Ток в катушке контактора *KM* при этом увеличивается, и контактор включается. При трогании подвижной системы контактора его контакт *KM.1* в цепи катушки реле *KV* размыкается. Если реле отключится мгновенно, то его контакт *KV.1* дешунтирует резистор *R1* прежде, чем магнитная система контактора замкнется полностью. При этом ток в катушках контактора уменьшится, и якорь начнет отпадать, в результате чего замкнется контакт *KM.1*, включится реле *KV*, замкнется контакт *KV.1*, ток в катушках контактора возрастет, и якорь снова начнет притягиваться, размыкая контакт *KM.1*, и т.д. Таким образом, контактор будет включаться с так называемым "пулеметным эффектом", при котором ток в катушках превышает номинальный, в результате чего они быстро могут выйти из строя. Во избежание этого явления катушку реле *KV* шунти-

руют диодом $VD5$, через который проходит ток под действием э.д.с. самоиндукции, возникающей при размыкании цепи катушки KV контактом $KM.1$. Этот ток создает небольшую задержку на отключение реле KV , во время которой якорь контактора успевает дойти до конечного положения и замкнуть магнитную цепь. Размыкание контакта $KV.1$ и уменьшение тока в катушках контактора уже не приводят к отпаданию якоря, так как для его удержания при полностью замкнутой магнитной цепи требуется значительно меньший ток, чем для включения.

Резистор $R3$ служит для ограничения тока при коротком замыкании в выпрямителе.

4.5. Высоковольтные коммутационные аппараты

К этим аппаратам относятся выключатели: электромагнитные, масляные и воздушные (с воздушным дутьём), а также реверсоры.

ленности, встраиваются во взрывонепроницаемые оболочки рудничного оборудования. Так выключатель ВС-6400, рассчитанный на напряжение 6 кВ и ток 400 А, используется в комплектных распределительных устройствах (КРУ) типа ЯВ-6400, выключатель ВЭБ-6 на 6 кВ и 630 А – в КРУ типа КРУВ-6. По конструкции электромагнитные выключатели подобны контакторам с поворотной подвижной системой.

Выключатели предназначены для включения и отключения электрических цепей под нагрузкой в распределительных сетях электроснабжения, а также отключения этих цепей при коротких замыканиях. Кроме того, они используются для нечастых включений и отключений электродвигателей при напряжении 6 кВ.

Электромагнитные выключатели, применяемые в угольной промышленности. Привод у этих выключателей – пружинный. Пружина взводится электромагнитом включения. Время отключения составляет около 0,1 с.

Каждый высоковольтный коммутационный аппарат, кроме главных контактов (в цепи 6 кВ), имеет вспомогательные контакты, переключающиеся одновременно с главными и предназначенные для коммутации цепей контроля, управления, сигнализации и блокировки. В масляных выключателях эти контакты выполняются в виде отдельного блока, связанного с валом выключателя, и называются контактами КСА (контрольно-сигнализационной аппаратуры).

Однако для воздушного дутья необходим сжатый воздух. Поэтому на подстанциях приходится устанавливать специальные компрессоры, что усложняет эксплуатацию выключателей.

Реверсоры предназначены для частых включений и отключений реверсивных высоковольтных (6 кВ) электродвигателей. В угольной промышленности в таком режиме работают электродвигатели подъемных установок. Реверсор представляет собой панель с установленными на ней тремя электромагнитными высоковольтными контакторами с поворотной подвижной системой, в которых для интенсивного гашения дуги применяется магнитное дутье. Два контактора подключают фазы сети к электродвигателю для вра-

Воздушные выключатели на ГПП угольных шахт используются в распределительных устройствах 35 и 110 кВ. Они весьма интенсивно гасят дугу, и в них отсутствует масло, что является их несомненным преимуществом.

щения его в ту или другую сторону, а через третий контактор подается постоянный ток в статор при динамическом торможении электродвигателя. В настоящее время выпускаются реверсоры серии РВ-6 с контакторами КВ-2-6 на ток от 40 до 400 А.

4.6. Защита коммутационных аппаратов при повреждении изоляции отходящих кабелей [19]

Коммутационные аппараты необходимо также защищать при повреждении изоляции кабелей отходящих от аппаратов. Для этого служат способы автоматического блокирования включения коммутационного аппарата. Реализацию этой функции можно продемонстрировать на схеме блокировочного реле утечки (БРУ).

Реализацию этой функции можно продемонстрировать на схеме блокировочного реле утечки (БРУ).

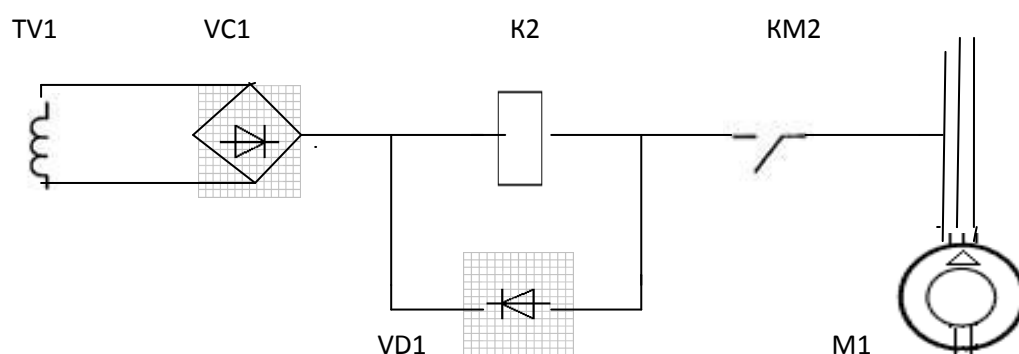


Рис. 4.2. Схема блокировочного реле утечки

Схема БРУ представляет собой включение источника постоянного тока (выпрямителя $VC1$) между фазой сети на выходе силового коммутационного аппарата и контуром «земля». Функционирование БРУ будет происходить только в том случае, если контактор коммутационного аппарата отключён, а вспомогательный контакт (KM2) замкнут. В этом случае при утечке тока на землю в силовом соединении на выходе коммутационного аппарата образуется контур прохождения оперативного напряжения БРУ с контакта «+» выпрямителя $VC1$ до контакта $VC1$ «-». В случае превышения величины напряжения срабатывает реле K2 (отключается) и разрывает сеть включения контактора, переключая выход источника питания этой сети на световой индикатор. После этого, включение силового коммутационного аппарата (пускателя) от кнопочного поста и др. технических способов управления, становится невозможным.

Уставка срабатывания БРУ в сети с аппаратурой 660 В (сопротивления изоляции исходящего кабельного соединения) - 30 кОм.

Практическое (семинарское) занятие 5

Виды и аппаратура защиты шахтных электроустановок напряжением до 1000 В

Содержание

5.1. Виды защиты и аппараты защиты

5.1. Виды защиты и аппараты защиты [1-3, 5]

Защита в электроустановках – это действие, цель которого – предотвратить нежелательные последствия ненормальных режимов, опасных для кабельных и воздушных линий, изоляторов, шин, трансформаторов, электродвигателей, коммутационной аппаратуры и другого электрооборудования. К этим режимам относятся короткие замыкания, перегрузки, снижение или исчезновение напряжения, опрокидывание электродвигателей и незавершенный пуск, обрыв фазы в цепи электродвигателя, витковые замыкания и понижение уровня масла в кожухах высоковольтных трансформаторов на ГПП шахты, перенапряжения в электрических системах, снижение сопротивления изоляции электроустановок и др. В соответствии с этим применяются следующие виды защит: максимальная токовая, тепловая, минимальная, нулевая, от несимметричных режимов работы электродвигателей, газовая, от перенапряжений, от утечек тока и др.

Максимальная токовая защита (МТЗ). Эта защита предназначена для отключения участка сети, в котором произошло к.з.

Простейший аппарат МТЗ – это *предохранитель*. Защищаемая цепь отключается им путем разрушения специально предусмотренных для этого токоведущих частей – *плавких вставок* под действием тока, превышающего определенное значение. В электроустановках до 1140 В переменного тока применяют предохранители ПР, состоящие из фибровой трубки, на концах которой запрессованы латунные обоймы. Плавкая вставка выполняется из цинковой пластинки с несколькими сужениями для более быстрого перегорания и винтами крепится к медным выводным ножам предохранителя, которые при помощи дисков с прорезями и навинчиваемых на обоймы колпачков фиксируются в определенном положении. Собранный предохранитель ножами вставляется в пружинные губки, установленные на изоляционной панели. Возникающая при перегорании плавкой вставки дуга вызывает выделение газов из стенок фибровой трубки. Давление резко возрастает и происходит интенсивное гашение дуги. Время плавления плавкой вставки зависит от кратности тока (по отношению к номинальному), проходящего по вставке. Ниже приведена эта зависимость:

Отношение тока плавления к номинальному	1,25	1,6	1,8	2,0	2,5	3,0	4,5
Время плавления, с	–	3600	1200	40	8	4,5	2,5

Предохранителем невозможно защитить электроустановку от перегрузки, так как электродвигатель при перегрузке выйдет из строя раньше, чем сгорит плавкая вставка. Кроме того, если предохранитель установлен в цепи асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором, он не может

быть рассчитан на его номинальный ток, поскольку в этом случае плавкая вставка будет перегорать от пускового тока электродвигателя, превышающего номинальный в 5–7 раз. Поэтому плавкую вставку выбирают согласно работе на ток, меньший пускового в 2,5 раза. Это значит что ток плавления плавкой вставки будет превышать номинальный ток электродвигателя в 2 – 3 раза.

Преимущества предохранителей:—надежная защита сети от токов к.з. и низкая стоимость; недостаток — возможность работы электродвигателя на двух фазах при перегорании плавкой вставки в одной из фаз, в результате чего электродвигатель будет перегреваться.

Более широко в качестве аппаратов МТЗ применяют *максимальные токовые реле*. В электроустановках на поверхности шахт, а также в рудничном электрооборудовании, например в КРУ типа КРУВ-6, используются электромагнитные токовые реле серии РТ-40 с поворотным якорем, несущим на себе подвижный контактный мостик. Противодействующий момент создается спиральной пружиной. Наружный конец ее соединен с якорем, внутренний — закреплен на оси. Поворачивая ось, можно изменять начальный противодействующий момент и, следовательно, уставку реле, т.е. значение тока включающей катушки реле, при котором оно должно сработать.

Реле серии РТ-40 выпускаются на различные токи срабатывания от 0,2 до 200 А. При больших значениях тока и в цепях высокого напряжения (свыше 1140 В) реле включаются через трансформаторы тока. Реле серии РТ-40 и большинство других максимальных токовых реле — это реле мгновенного действия.

Максимальные реле выпускаются с самовозвратом и без него. У последних имеется защелка, фиксирующая якорь в притянутом положении. Чтобы вернуть реле в начальное положение (взвести), необходимо нажатием специальной кнопки освободить защелку.

Тепловая защита предназначена для отключения установки при ее перегрузке. Она осуществляется электротепловыми и температурными реле.

Электротепловые реле. Работа их основана на использовании тепла, выделяющегося в проводнике при прохождении по нему электрического тока. В одном из типов электротепловых реле основной

частью служит биметаллическая пластинка 2, состоящая из двух слоев металлов с различными температурными коэффициентами линейного расширения. Пластинка жестко закреплена левым концом, а правым упирается в защел-

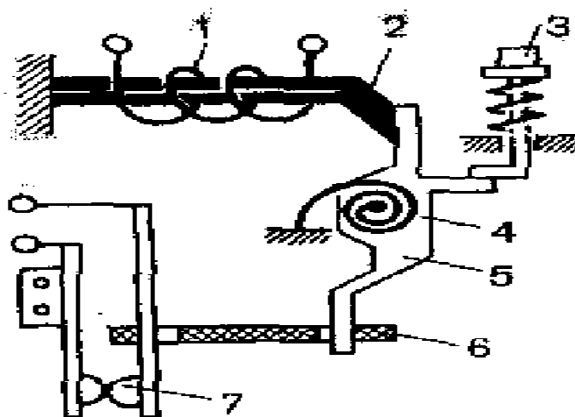


Рис. 5.1. Устройство электротеплового реле

ку 5, которая под действием пружины 4 стремится повернуться против часовой стрелки. Рядом с биметаллической пластиной помещается нагревательный элемент 1, включаемый последовательно с нагрузкой. Когда по защищаемому этим реле электродвигателю проходит ток, больший номинального, биметаллическая пластинка 2 прогибается кверху и освобождает защелку 5, которая под действием пружины 4 поворачивается и через изоляционную колодку 6 размыкает контакт 7.

Возврат реле в начальное положение (взведение реле) возможен только после остывания пластинки 2. Он осуществляется нажатием кнопки 3.

Электротепловые реле устанавливают обычно в двух фазах. Они не отключают вследствие тепловой инерции электродвигатель при пуске и других кратковременных бросках тока и не защищают от токов к.з.; поскольку ток к.з. может вывести из строя нагревательный элемент реле до того, как реле отключит цепь тока. Другой недостаток электротепловых реле состоит в том, что из-за различных постоянных времени нагрева термочувствительного элемента реле (например, биметаллической пластинки) и защищаемого электрооборудования (например, электродвигателя) температуры их не связаны однозначно, поэтому электротепловое реле срабатывает при температуре электродвигателя, несколько отличающейся от заданной.

Температурные реле. Эти реле наилучшим образом осуществляют тепловую защиту, так как они реагируют непосредственно на температуру защищаемого электрооборудования или его элемента (например, обмотки

электродвигателя). Для тепловой защиты трансформаторов в передвижных взрывобезопасных подстанциях и взрывозащищенных электродвигателях ши-

роко применяют дифференциальные температурные реле, реагирующие не только на температуру нагрева, но и на скорость её роста.

Минимальная защита [13]

Эта защита отключает электродвигатели в случае снижения напряжения сети до 60 – 70 %номинального, так как при номинальном статическом моменте и пониженном напряжении по двигателю проходит ток, превышающий номинальный. Минимальная защита осуществляется с помощью *минимальных реле*, включённых на линейное напряжение сети (при $U \leq 1140$ В - непосредственно, при $U > 1140$ В – через трансформаторы напряжения) и отрегулированных на отключение при $U < (0,7 - 0,6) U_{\text{ном}}$. Отключаясь, минимальное реле воздействует на механизм свободного расцепления автоматического выключателя, который отключает сеть.

Нулевая защита.

Нулевая защита предназначена для отключения электрических установок в случае полного исчезновения напряжения, так как при кратковременном перерыве в подаче электро энергии возможны несчастные случаи, связанные с внезапным включением электродвигателей. Нулевая защита осуществляется аналогично минимальной, только *нулевое реле* настраивается на отключение при $< (0,2 - 0,3) U_{\text{ном}}$.

Защита от несимметричных режимов работы электродвигателей [13].

Этот вид защиты электродвигателей горных машин осуществляется в настоящее время аппаратами КОРД, обеспечивающим также защиту от технологических перегрузок.

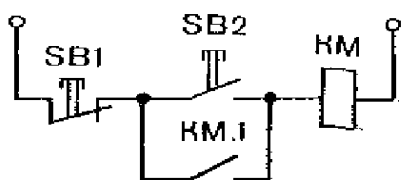


Рис. 5.2. Схема включения катушки контактора для обеспечения нулевой защиты.

Они имеют три варианта исполнения в зависимости от выполняемых функций:

КОРД 1 – для автоматического отключения электродвигателей при опрокидывании и незавершившемся пуске;

КОРД 2 – для контроля по току за работой электродвигателей или защиты при технических перегрузках;

КОРД 3 – для автоматического отключения электродвигателей при опрокидывании и незавершившемся пуске, а также для выполнения одной из следующих функций: контроля по току за работой электродвигателя; защиты электродвигателя при технических перегрузках; автоматического отключения электродвигателя при обрыве одной из фаз.

Каждый вариант исполнения аппарата имеет два типоразмера:

I — для защиты электродвигателей мощностью до 30/40/50 кВт;

II — для защиты электродвигателей мощностью свыше 40/55/70 кВт при напряжении питания соответственно 380/500/660 В переменного тока частотой 50 Гц.

Практическое (семинарское) занятие 6

Аппаратура защиты от токов утечки

Содержание

- 6.1. Предварительные замечания
- 6.2. Устройства автоматического контроля
- 6.3. Автоматический выключатель

6.1. Предварительные замечания [1, 16, 18]

Для электрификации участков шахт применяются трёхфазные элек-

трические сети с изолированной нейтралью трансформаторов. В таких сетях токи утечки и ток, проходящий через тело человека при его однополюсном прикосновении к токоведущим частям, всецело определяются сопротивлением изоляции и емкостями сети относительно земли. С увеличением сопротивления изоляции фаз сети относительно земли уменьшаются токи утечки, являющиеся частой причиной пожаров и взрывов, и уменьшаются токи через тело человека при его случайном прикосновении к токоведущим частям. Это обстоятельство позволяет обеспечить безопасность эксплуатации шахтных электрических сетей с помощью аппаратуры, непрерывно контролирующей их сопротивление изоляции относительно земли и производящей

защитные отключения сетей в случае снижения сопротивления изоляции ниже заранее установленного предела, а также при прохождении тока через тело человека выше безопасного значения. Указанная цель достигается аппаратами защиты от токов утечки.

Аппараты контроля изоляции и защитного отключения должны удовлетворять следующим основным требованиям:

- измерительное устройство аппарата должно измерять активное сопротивление изоляции сети относительно земли независимо от емкостей сети;

- аппарат должен отключать сеть при прохождении тока через тело человека выше предельно безопасного значения;

- электрическая схема аппарата должна обладать достаточно высоким внутренним сопротивлением, чтобы подключение его к сети не приводило к значительному снижению общего сопротивления сети по отношению к земле;

- электрическая схема аппарата должна быть предельно простой и содержать минимальное число элементов (реле, транзисторов, диодов и др.);

- аппарат должен обладать достаточной надежностью работы при всех видах повреждений, на которые он рассчитан.

6.2. Устройства автоматического контроля

Устройства автоматического контроля изоляции УАКИ. Эти устройства предназначены для защиты людей от поражения электрическим током, непрерывного контроля сопротивления изоляции и отключения трехфазных электрических сетей с изолированной нейтралью переменного тока частотой 50 Гц в случае снижения сопротивления между их фазами и землей до опасного значения. Аппараты УАКИ были выпущены на напряжение 380 В (УАКИ-380) и 660 В (УАКИ-660).

В устройствах контроля изоляции типа УАКИ (рис.6.1) использу-

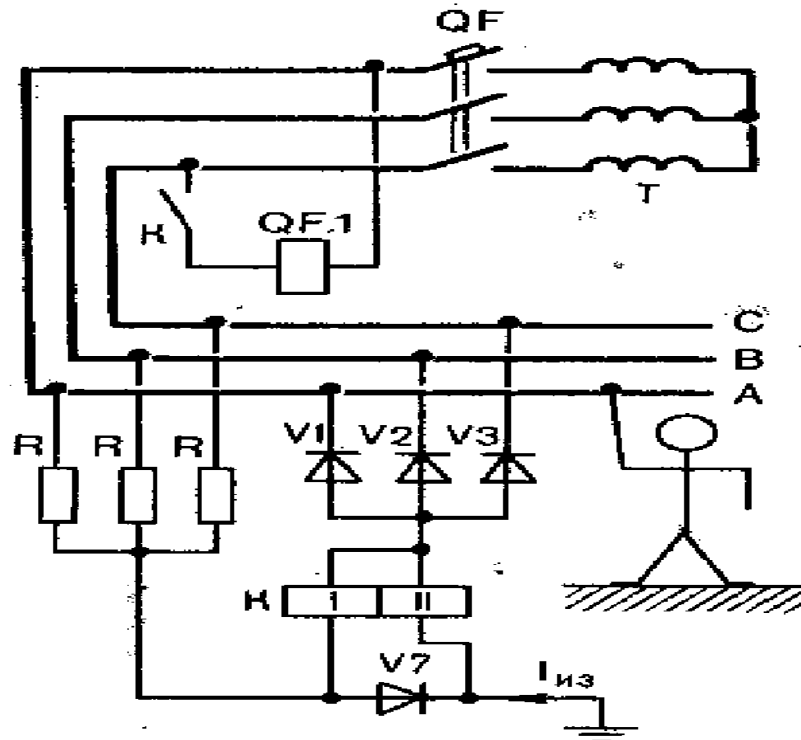


Рис. 6.1. Упрощенная схема устройства контроля изоляции типа УАКИ

ется одно двухобмоточное реле K постоянного тока, обмотки которого соединены так, что их магнитные потоки направлены встречно. До тех пор, пока изоляция сети не повреждена, ток утечки $I_{из}$ отсутствует. По обеим обмоткам реле проходит вспомогательный ток, и их результирующий магнитный поток близок к нулю. По мере снижения сопротивления изоляции ток утечки увеличивается, и возрастает оперативный ток в обмотке II. Вспомогательный ток, проходящий через стабилитрон $V7$, будет уменьшаться.

При дальнейшем снижении сопротивления изоляции оперативный ток еще больше увеличится и, когда он станет больше вспомогательного, практически полностью пойдет только по обмотке *II* реле. Если к проводу прикоснется человек или появится опасная утечка на землю, разность магнитных потоков станет достаточной для срабатывания реле, которое замкнет свой замыкающий контакт в цепи отключающей катушки *QF.1* автоматического выключателя *QF* и тот отключит сеть с поврежденной изоляцией.

Аппараты защиты от токов утечки АЗАК. В этих аппаратах в отличие от устройств контроля изоляции УАКИ применена автоматическая компенсация емкостных токов утечки на землю. Аппарат состоит из двух различных по назначению устройств: 1) контроля изоляции и защитного отключения и 2) автоматической компенсации емкостных токов утечки. Устройство контроля изоляции и защитного отключения выполнено на базе схемы аппарата УАКИ. В устройстве компенсации емкостной составляющей токов утечки применен дроссель насыщения, являющийся, как известно, нелинейным элементом. Схема отличается большой сложностью и трудностью в настройке. Аналитических исследований, доказывающих эффективность такой компенсации, в литературе не приводится.

Аппараты АЗАК-380 и АЗАК-660 выпускаются серийно Прокопьевским заводом шахтной автоматики и применяются в шахтных сетях емкостью более 0,5 мкФ/фазу.

Реле утечки РУ. Реле утечки с самоконтролем исправности элементов схемы типа РУ предназначены для защиты людей от поражения электрическим током и других опасных последствий утечек тока на землю в трехфазных электрических сетях переменного тока с изолированной нейтралью трансформатора. Выпускаются Днепропетровским заводом шахтной автома-

тики на напряжение 127, 220, 380 и 660 В соответственно РУ-127/220, РУ-380, РУ-660.

Обмотки реле включены таким образом, что их магнитные потоки направлены встречно, причём магнитный поток вспомогательной обмотки больше, чем магнитный поток основной обмотки, но разность магнитных потоков недостаточна для притягивания якоря.

Когда сопротивление изоляции сети снижается, оно шунтирует основную обмотку, и ток в ней уменьшается. При сопротивлении изоляции (или утеч-

ки), равном сопротивлению срабатывания, результирующий магнитный поток становится достаточным для срабатывания реле. Оно своим контактом замыкает цепь отключающей катушки *QF.1* автоматического выключателя, который отключает сеть с поврежденной изоляцией.

Поскольку реле утечки реагирует на разность магнитных потоков основной и вспомогательной обмоток, всякое повреждение схемы реле утечки, приводящее к уменьшению или к полному исчезновению тока в одной из обмоток, вызывает увеличение сопротивления срабатывания или отключение схемы. В этом заключается принцип самоконтроля исправности элементов схемы реле утечки.

Аппараты АЗПБ. Аппарат защиты от токов утечки типа АЗПБ предназначен для встройки в распределительные устройства низкого напряжения передвижных трансформаторных подстанций. Выпускается в виде блока, элементы которого закрыты стальным кожухом, обеспечивающим защиту от проникновения внутрь пыли и брызг воды. Аппарат может воздействовать на нулевой или на независимый расцепитель автоматического выключателя АЗ700, встроенного в это же распределительное устройство.

Аппарат выполняет следующие функции:

предварительный контроль сопротивления изоляции отключенного от трансформатора присоединения низковольтной сети (магистрального кабеля и присоединенных к нему электроприемников);

контроль изоляции сети под рабочим напряжением и защитное отключение сети;

автоматическую компенсацию емкостных токов утечки.

В режиме предварительного контроля изоляции (БРУ) аппарат обеспечивает искробезопасность цепи измерительного тока. Сопротивление срабатывания в режиме БРУ — не менее уставки при однофазной утечке в режиме общесетевой защиты.

Аппарат АЗПБ состоит из двух независимых друг от друга устройств: контроля изоляции и компенсации емкостных токов утечки. Принцип действия устройства контроля изоляции основан на методе сравнения постоянного измерительного тока с пульсирующим эталонным током. В устройстве компенсации применен дроссель насыщения.

Блокировочные реле утечки. Блокировочные реле утечки (БРУ) предназначены для предварительного контроля изоляции ответвлений сети, отходящих от аппарата управления или защит (пускателя, станции управления, автоматического выключателя), при отсутствии на этих ответвлениях рабочего напряжения.

Рассмотренное устройство предназначено для применения в аппаратах на напряжение 380 и 660 В. Уставки срабатывания — не менее 30 кОм.

Аппарат защитного отключения шахтный типа АЗШ. Все рассмотренные аппараты защиты решают одну и ту же задачу, и поэтому их можно заменить одним универсальным аппаратом.

В 1982—1983 гг. Прокопьевским заводом шахтной автоматики была изготовлена установочная серия аппаратов защитного отключения АЗШ. Аппарат предназначен для защиты людей от поражения электрическим током и других последствий утечек тока на землю в электрических сетях трехфазного тока напряжением 380 и 660 В с изолированной нейтралью трансформатора подземных выработок угольных и горнорудных предприятий.

Аппарат имеет три исполнения: АЗШ-1, АЗШ-2 и АЗШ-3.

Аппарат АЗШ-1 встраивают в распределительное устройство низшего напряжения (РУНН) шахтных передвижных трансформаторных подстанций ТСВП вместо аппарата АЗПБ.

Аппарат АЗШ-2 встраивают в РУНН шахтных передвижных трансформаторных подстанций ТСШВП и ТКШВП вместо БЗП-1А.

Аппарат АЗШ-3 конструктивно выполнен в отдельной взрывонепроницаемой оболочке и может воздействовать на независимый расцепитель автоматических выключателей АВ и АВМ. Аппарат АЗШ-3 заменяет аппарат АЗАК-380/660.

В каждом исполнении аппарата АЗШ имеются устройства контроля сопротивления изоляции и автоматической компенсации емкостной составляющей тока утечки. По принципу работы они аналогичны соответствующим устройствам аппарата АЗАК.

6.3. Автоматический выключатель [16- 19, 20, 22, 23]

Автоматические выключатели предназначены, в основном, для защиты магистральных кабельных линий (фидеров) от перегрузок и коротких замыканий, а также для нечастых (до 30 в сутки) включений и отключений электрических цепей (кроме пуска и защиты электродвигателей). Некоторые типы выключателей допускают пуск, защиту и отключение электродвигателей.

Автоматический выключатель — это аппарат преимущественно с ручным приводом, снабженный *механизмом свободного расцепления* (МСР), который позволяет автоматически при отклонении каких-либо параметров (тока, напряжения и др.) от нормы отключать автоматический выключатель даже в том случае, если рукоятка его удерживается во включенном положении. Максимальное и нулевое реле защиты не имеют контактного узла и производят отключение автоматического выключателя, воздействуя своим якорем на МСР. Поэтому они получили название *максимального и нулевого расцепителей*. Для воздействия на МСР применяют также *независимый расцепитель*, который включается с помощью других аппаратов.

Автоматические выключатели классифицируются по следующим основным признакам:

- по роду тока главной цепи — постоянного и переменного;
- по числу полюсов главной цепи — одно-, двух и трехполюсные;
- по видам расцепителей — с максимальным или независимым расцепителем тока, с минимальным или нулевым расцепителем напряжения.

В электроустановках на поверхности шахт применяются автоматические выключатели серий АЗ700, АВМ, АЕ-2000, АП-50 и др.

Автоматические выключатели АЗ700 изготавливаются на напряжение переменного тока до 660 В и ток до 630 А. В обозначении типоразмеров выключателей этой серии, например АЗ721Б, третья цифра означает номинальный ток выключателя (цифра 1 — 160 А; 2 — 250 А; 3 — 400 А; 4 или 9 — 630 А), а четвертая цифра и буква — исполнение выключателя по числу полю-

сов и токовой защите. Выключатели АВМ изготавливаются на напряжение до 500 В и ток до 2000 А на 16000 и 10000 циклов ВО. Номинальный ток отражен в обозначении типоразмера (АВМ-4 — на 400 А, АВМ — 10 — на 1000 А)

Рудничные взрывобезопасные автоматические выключатели представляют собой взрывонепроницаемую оболочку, в которую встроены собственно автоматический выключатель и аппараты защиты. Для встройки применяются модификации серий АЗ700 и АВМ. В обозначение их добавляется буква У (например, АЗ792У или АВМ-4У).

В настоящее время изготавливаются рудничные взрывобезопасные автоматические выключатели на напряжение 380 и 660 В серии АФВ и новой серии АВ.

Серия АФВ представлена выключателями с ручным управлением АФВ-1А, АФВ-2А и АФВ-3. В эксплуатации находится также изготавливаемый ранее выключатель АФВД-2БК с ручным управлением и дистанционным отключением. В выключателях серии АФВ встроены автоматические выключатели АВМ-У. Механическая износостойкость их составляет 4000 отключений вручную и по 3000 отключений максимальным и минимальным расцепителями. Взрывонепроницаемая оболочка выключателей АФВ представляет собой сварную конструкцию. На корпусе оболочки установлено вводное устройство, коробка которого имеет две камеры — сетевую и моторную. Камеры разделяются съемной перегородкой и закрываются общей крышкой. Внутри камер расположены проходные зажимы. В гнездах арматуры выводов имеются резиновые кольца для уплотнения кабеля, на муфтах — скобы, предохраняющие кабель от выдергивания. Технические данные вы-

ключателей приведены в справочной литературе.

Трансформаторные подстанции горных предприятий [1, 5, 20]

Содержание

- 7.1. Общие сведения
- 7.2. Подземные трансформаторные подстанции и распредпункты.
 - 7.2.1. Классификация подземных подстанций и распределительных пунктов.
 - 7.2.2. Центральные подземные подстанции.
 - 7.2.3. Распределительные подземные пункты и стационарные трансформаторные подстанции.
 - 7.2.4. Передвижные трансформаторные подземные подстанции.
- 7.3. Передвижные комплектные трансформаторные подстанции на карьерах.

7.1. Общие сведения.

По назначению различают подстанции: главные понижающие (ГПП, ПГВ)- для принятия электроэнергии с энергосистемы, понижение напряжения питания 35- 110 кВ к напряжения распределения электроэнергии на предприятии 6(10)-35(110) кВ;

-центральные распределительные (ЦРП)- для принятия электроэнергии с энергосистемы и распределения ее на территории предприятия на той же напряжении без трансформации. Сюда можно отнести также центральные подземные подстанции (ЦПП).

-распределительные пункты (РП)- для принятия электроэнергии, как от энергосистемы так и от ГПП на той же напряжении без трансформации и распределения ее по цеховым и участковым подстанциям. К ним относят также подземные распределительные пункты РПП-6;

- цеховые или участковые трансформаторные (ТП)- для принятия электроэнергии в системе электроснабжения предприятия напряжением 6(10) кВ со следующей трансформацией на напряжение 1.2-0.4/0.23 кВ и ее распределение в цехах и участках на этом напряжении;

- преобразовательные подстанции (ПП) – для принятия электроэнергии в системе электроснабжения предприятия напряжением 6(10)-110 кВ и преобразование электроэнергии сменного тока в электроэнергию постоянного тока напряжением, которое требуется условиями электрифицированного транспорта на предприятии.

За конструктивным выполнением различают подстанции: открытые, закрытые, мачтовые, передвижные. За расположением на территории предприятия подстанции делятся на встроенные, пристроенные (как открытые так и закрытые), отдельно расположенные и подземные.

Как главные (ГПП), так и другие подстанции, расположенные на промышленных площадках горных предприятий и в других местах на поверхности шахт, рудников и карьеров выполняются за типовыми проек-

тами, которые используются также в других областях экономики. При этом ориентируются на широкое использование комплектных подстанций.

Широко используют упрощенные схемы первичных объединений ГПП без выключателей на стороне 35-110 кВ: с короткозамыкателями и отделителями при мощности короткого замыкания большей разрывной мощности выключателей или с разъединителями и предохранителями в пределах их параметров по напряжению, током и разрывной мощностью. Подстанции с выключателями на первичном напряжении 35-110 кВ используют, если они являются транзитными или этого требуют условия внешней среды. На горных предприятиях ГПП строят с открытым выполнением распределительной установки напряжением 35-110 кВ и трансформаторов с закрытым выполнением РУ-6(10) кВ

В цехах с нормальной средой (механические мастерской, насосные станции и им подобные) используют комплектные трансформаторные подстанции для внутренней установки с масляными и сухими трансформаторами. При невозможности внедрения или пристройки трансформаторных подстанций в производственные цеха, возможное использование комплектных трансформаторных подстанций внешней установки. Их рекомендуют использовать возле насосных станций, вентиляционных шурфов и других отдаленных объектов. Для электроснабжения отдельных или группы цехов на промышленной площадке рекомендуют использовать отдельно расположенные трансформаторные подстанции ТП-10/0.4-0.23 кВ в типичном проектном исполнении.

В этом разделе ниже более детально рассматриваются подстанции, расположенные в подземных изделиях шахт и рудников и непосредственно в карьерах, при открытой разработке месторождений полезных ископаемых.

7.2. Подземные трансформаторные подстанции и распределительные пункты.

7.2.1. Классификация подземных подстанций и распределительных пунктов.

По назначению, функциями и местоположениями подземные трансформаторные подстанции делятся на центральные (ЦПП), участковые (ДПП), передвижные участковые (ПДПП), и преобразовательные (ППП). За сроком службы на одном месте подземные подстанции делятся на стационарные (срок службы не меньше года). Практически стационарными есть все подземные подстанции, кроме участковых, которые могут быть, как стационарными (ДПП), так и передвижными (ПДПП). Центральные подземные подстанции могут быть: шахтные (ЦПП), горизонта (ЦППг) и блока (ЦППб) и служат для получения электроэнергии от

ГПП, распределения ее и питание электропотребителей соответственно шахты, горизонта, блока.

Для получения электроэнергии от ЦПП и распределения ее между подстанциями служат подземные распределительные пункты высокого напряжения РПП-6(10).

Назначением преобразовательных подстанций (ППП) есть получения электроэнергии сменного тока от ЦПП или РПП-6(10), превращение ее в постоянный ток и питание электропотребителей подземной электровозной откатки.

С помощью участковых подстанций (ДПП) электроэнергия напряжением 6-10 кВ превращается в напряжение 0.66(0.38) кВ и распределяется между электропотребителей. Передвижные подстанции (ПДПП) используют для преобразования электроэнергии с напряжения 6-10 кВ на напряжение 0.66, (1.14, 0.38)кВ и питание потребителей добывающих и подготовительных участков. Передвижные подстанции в отличие от стационарных являются комплектными и включают в себя необходимое высоковольтное и низковольтное оборудования для получения электроэнергии от подземной подстанции (ПДПП или ДПП) и распределения ее между электропотребителями служит подземный распределительный пункт низкого напряжения РПП-0.66 (1.44, 0.38). они также бывают стационарными и передвижными, потому что служат для питания стационарных и передвижных электропотребителей.

Камеры ЦПП, ППП,РПП-6 и ДПП должны быть:

- закрепленными негорючими материалами (бетон, кирпич, металлическое крепление с железобетонными затяжками);
- иметь два выхода при длине камеры больше 10 м;
- оснащенные вентиляционными дверьми (решетчатыми, нормально закрытыми) и металлическими противопожарными (сплошными) дверьми и окнами (нормально открытыми). При отсутствия в камере электрооборудования с масляными выключателями противопожарные двери необязательны.

Основным оборудованием подземных подстанций есть комплектные распределительные устройства, трансформаторы, преобразовательные агрегаты, коммутационная аппаратура напряжением до 1140 В.

Все электрооборудование подстанций должно быть надежно заземленным. В ЦПП и РПП-6 на каждой секции шин нужно предусматривать установление одного резервного КРП, полностью оборудованного и присоединенного к шинам, и место для установления одного КРП дополнительно в будущем.

7.2.2. Центральные подземные подстанции.

ЦПП представляет собой камеру с огнестойким креплением, в которой расположенные распределительные устройства высокого напряжения

РУ6(10) кВ, понижающие трансформаторы (подстанции) и распределительный пункт низшего напряжения. Сооружение ЦПП выполняется за типовыми проектами, которые имеют два варианта: с двумя вводами и одним РУ-6 кВ на максимальную нагрузку 630 А; с четырьмя вводами и двумя РУ-6 кВ на максимальную нагрузку 1260 А. Каждый ввод может состояться с одного или двух кабелей – в зависимости от нагрузки и перереза кабелей, которые используются.

Как правило, ЦПП проектируют с двумя вводами и одним РУ-6 кВ, и только при невозможности обеспечить нагрузку шахты с помощью двух вводов принимают четыре ввода и два самостоятельных РУ-6 кВ, каждое на два ввода. Каждое РУ-6кВ ЦПП имеет две секции шин, которые соединяют между собой с помощью секционного КРП. При выполнении аварийной ситуации на какой-нибудь секции шин ГПП, РУ-6 кВ ЦПП или кабельной линии секционное КРП переключает питание всех потребителей, присоединенных к ЦПП, от поврежденной секции на невредимую. Типичный проект с четырьмя вводами имеет два варианта, которые отличаются один от другого образом питания насосов главного водоотлива.

Первый вариант предусматривает установку до 30 КРП, смонтированных в два двухсекционных РУ-6 кВ (10- в первом и 20- во втором) и питание насосов от первого РУ-6 кВ (сдача электропотребителей ЦПП питается от второго РУ-6). Этот вариант используют, когда мощность электродвигателей насосов водоотлива не превышает 1250 кВт. При большей мощности электродвигателей насосов целесообразно использовать второй вариант, когда в ЦПП монтируется одно двухсекционное РУ-6 с 25 КРП, от которого питаются все потребители ЦПП, кроме насосов водоотлива. Последние получают электроэнергию от КРП установленных в ЦПП отдельно и присоединенных непосредственно к ГПП (каждый со своим кабелем).

Для обеспечения электрической энергией электропотребителей околоствольного двора напряжением 0.66 кВ в ЦПП устанавливается два понижающих трансформатора или подстанции ТСВП мощностью до 400 кВа, которые имеют 100% резерв и присоединяются к разным секциям шин РУ-6 кВ. Предполагается их раздельная работа. При использовании в шахте контактных электропроводов, как правило, тяговая подстанция устанавливается в ЦПП.

7.2.3. Распределительные подземные пункты и стационарные трансформаторные подстанции.

Распределительные подземные пункты РПП-6(10) кВ представляют собой стационарные РУ, которые состоят из КРП и служат для распределения электроэнергии напряжением 6(10) кВ в подземных выработках и электроснабжение подземных электропотребителей. РПП располагаются

в центре электрического нагрузки и монтируются в камерах с негорючим креплением.

РПП-6 выполняют с одной или двумя секциями шин. Согласно типовым проектам в зависимости от схемы коммутации, установки трансформаторов для питания электропотребителей напряжением 0.66 кВ, что расположенные в выработках, которые находятся вблизи, от образа соединения камер с капитальными выработками РПП-6 делятся на:

- примыкающих к откаточным выработкам (с одной секцией шин 6 кВ, без трансформатора или с ним, и длиной не больше 10 м).
- с ходами, которые совмещают камеры с откаточными выработками (с одной и двумя секциями шин, с трансформаторами и без них, длина может достигать 30 м).

Поперечные размеры камер примыкающих выработок и ходов, расположение оборудования в камере, размеры проходов и зазоров выдерживают в соответствии с требованиями ПБ. При установлении в РПП-6 передвижных участков подземных подстанций (ПДПП) распределительный пункт РПП-0.66 целесообразно располагать по возможности вне камеры РПП-6. Пример расположения электрооборудования в РПП-6 приведено на рис.7.3.

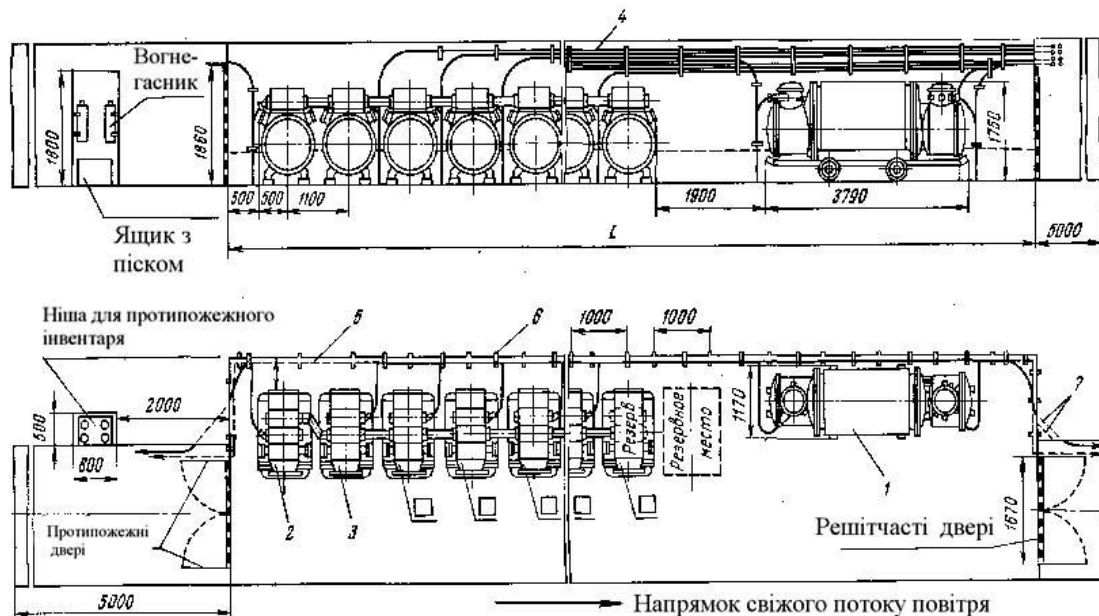


Рис. 7.3 План и разрез типичного РПП-6 с ходами и с трансформатором:

- 1- трансформатор, 2 и 3 – КРП-6 ввода и фидерный, 4 – кабели, 5 – заземление, 6 – кронштейн для подвески, 7 – трубы для ввода кабелей.

Количество вводов в РПП-6(10) кВ зависит от количества присоединений, количества добывающих забоев, которые питаются от РПП-6 и величины нагрузки. При количества присоединений до трех кабель ввода

может присоединяться к секциям шин наглухо без вводного КРП. При количестве присоединений четыре и больше на вводе обязательно входной КРП. При количества присоединений от 4-х к 7-и предполагается установка одного резервного КРП. При питании от РПП-6 двух и больше добывающих забоев или количества присоединений больше семи РПП-6 выполняется двухсекционным и питается с помощью двух кабелей.

Для крепления камер РПП-6, примыкающих выработок и ходов используют следующие виды крепления: бетонное с вертикальными стенками и арочным перекрытием; с железобетонными затяжками.

Типичные схемы расположения камер РПП-6 с ходами относительно горных выработок показанные на рис 7.4.

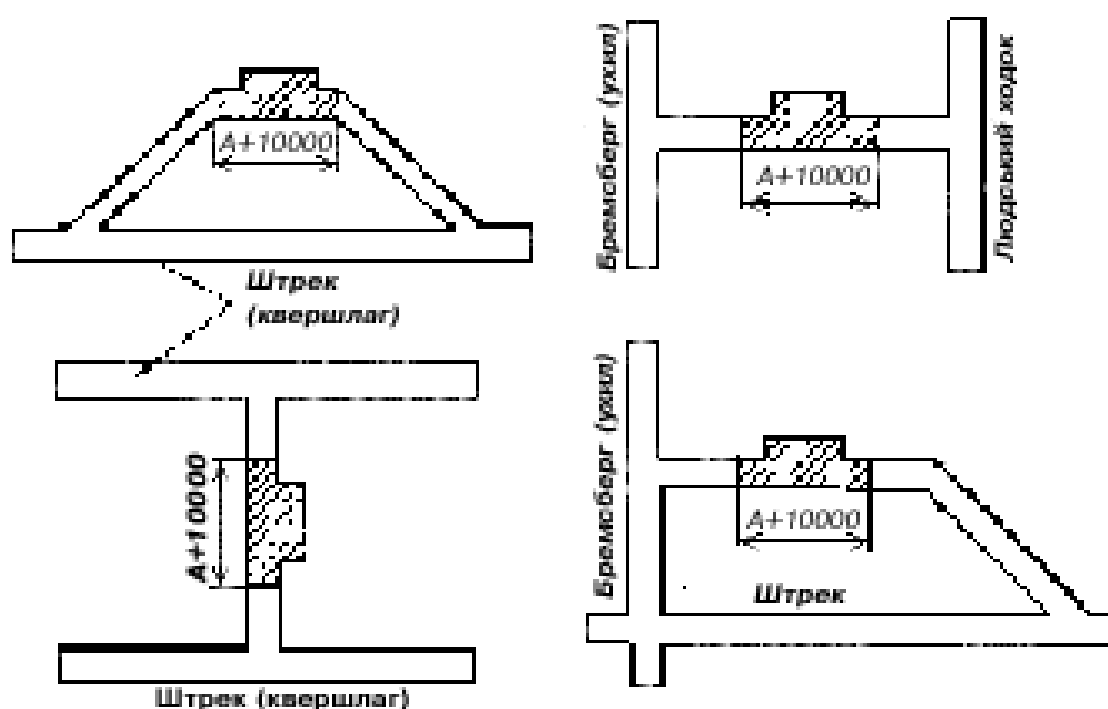


Рис. 7.4. Типичные схемы расположения камер РПП-6 с ходами:
а- параллельно откаточной выработке; б – между бремсбергом (уклоном) и людским ходком ходком; в- между двумя параллельными выработками; г- на пересечении двух выработок.

Стационарные участковые подземные подстанции (ДПП), что служат для питания стационарных электропотребителей, могут комплектоваться как трансформаторами ТСВ, так и трансформаторными подстанциями ТСВП.

В первом случае в ДПП устанавливаются комплектные распределительные устройства (КРП), трансформаторы, автоматические выключатели и реле утечки на землю (рис.7.5)

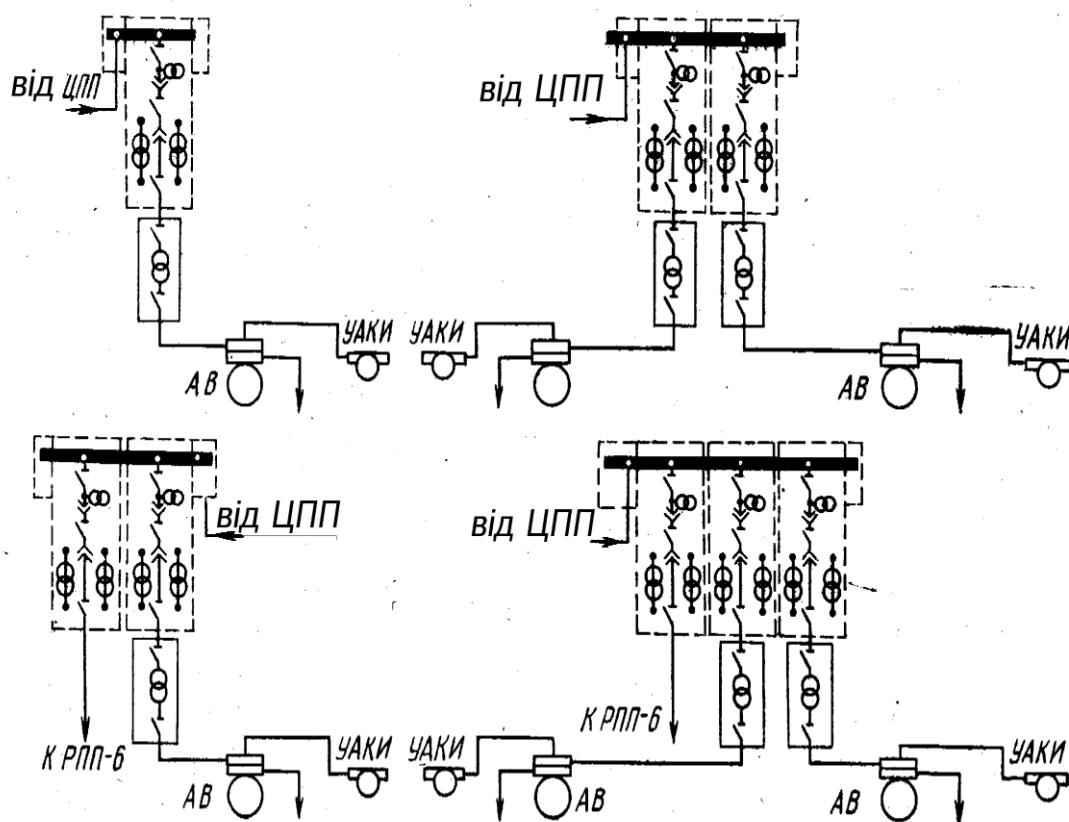


Рис.7.5 Принципиальные схемы типичных ДПП:

а) с распределением электроэнергии напряжением до 1000 В; б) с транзитом электроэнергии напряжением выше 1000 В.

ДПП сооружают в камерах с огнестойким креплением выполняют аналогично камерам РПП-6, при этом низковольтное оборудование располагается на стороне камеры, противоположной от места установки высоковольтного электрооборудования.

При использовании в ДПП передвижных трансформаторов ТСВП установка КРП в ДПП не предполагается. Электроэнергия от ЦПП или РПП-6 к участковой подстанции привстает одним кабелем ЕВТ-6000 или другим. При установлении в ДПП двух ТСВП, второй трансформатор получает питание от первого транзитом .

7.2.4. Передвижные трансформаторные подземные подстанции.

Для питания электропотребителей очистных и подготовительных участков шахт и рудников используют передвижные комплектные трансформаторные подстанции (КТП). Высокая мобильность, компактность КТП, объединения в едином агрегате источника питания, коммутационной и защитной аппаратуры в наибольшей мере отвечает условиям электроснабжения энергоёмкого оборудования современных технологических процессов при добыче полезных ископаемых подземным способом.

7.3. Передвижные комплектные трансформаторные подстанции на карьерах.

Питание экскаваторов и другого горно- технологического оборудования большой мощности от стационарных трансформаторных подстанций 35-220/6-10 кВ при современных масштабах горных работ обуславливает значительную протяжность электрических сетей 6-10 кВ, с максимально – допустимым перерезом проводников, который ведет к большим потерям на сооружение и эксплуатацию ЛЭП, рост потерь электроэнергии и ухудшение качества напряжения, которая привстает к потребителям. Помимо этого, быстрое изменение расположения экскаваторов в карьере требует использования передвижных комплектных трансформаторных подстанций (ПКТП), благодаря которым возможен ввод напряжения 35 кВ на рабочие уступы. Так, для питания экскаваторов (ЕКГ-8И, ЕКГ-12.5) и шагающих экскаваторов (ЕШ-15/90А; ЕШ-25/100 и др.) могут использоваться подстанции ПКТП 35/6-10 кВ с мощностью трансформатора 2500-10000 кВа.

Практическое (семинарское) занятие 8

Основные виды аппаратуры защиты шахтных электроустановок напряжением 1140 В [1-3, 16]

Содержание

- 8.1. Требования ПБ к аппаратуре защиты шахтных электроустановок
- 8.2. Автоматический выключатель
 - 8.2.1. Общие сведения
 - 8.2.2. Селективный автоматический выключатель
 - 8.2.3. Расцепители
 - 8.1.4. Модульный автоматический выключатель

Ё1

8.1. Требования ПБ к аппаратуре защиты шахтных электроустановок

Электрическая энергия в подземных выработках шахт должна распределяться только по радиальным линиям. Примерные схемы распределения и расстановки распределительной аппаратуры в шахтных сетях напряжением выше 1140 В приведены в ПТЭ.

Необходимость, достаточность и допустимые условия применения устройств защиты в подземных электрических сетях определены требованиями пп.5.1.1, 5.1.2, 5.1.5, 5.1.7, 5.7.1, 5.7.2, 5.8.3, 5.8.6, инструкциями к пп. 5.2.2, 5.2.4, 5.7.3, ПБ. Устройства защиты и автоматики должны отвечать требованиям ПТЭ и ПТБ, если эти требования не противоречат ведомственным нормативным документам.

В схемах подземного электроснабжения применяют следующие основные виды защиты:

- 1) от токов к.з. (МТЗ и токовая отсечка);
- 2) от перегрузки;
- 3) от замыканий на землю (отсечка нулевой последовательности);
- 4) от понижения напряжения (минимальная и нулевая защита);
- 5) тепловая (температурная);
- 6) от опасных токов утечки на землю;
- 7) от поражения электрическим током людей. Эта защита согласно пп. 5.10.1, 5.10.2, 5.10.3, 5.10.5, должна осуществляться с помощью защитного заземления, а в подземных электроустановках напряжением

660 - 1140 В — с применением реле утечки с автоматическим отключением поврежденной сети.

В подземных электроустановках шахт используют дополнительные виды защиты:

а) от самопроизвольного включения аппарата при замыкании во внешних цепях управления и непрерывный контроль заземления. Эта защита должна обеспечиваться согласно пп. 5.8.6 схемами управления забойными машинами и механизмами;

б) от самовключения при превышении напряжения до 50 % выше номинального. Этот вид защиты необходимо применять в тупиковых выработках шахт, опасных по газу или пыли, согласно Инструкции к 5.2.4 ПБ;

в) автоматический контроль безопасной величины сопротивления цепи заземления в цепях управления. Должен осуществляться согласно пп. 5.8.2, 5.10.7, 5.10.8 ПБ в коммутационных аппаратах для включения РПП участка и другого электрооборудования, расположенного в выработках с исходящей струей воздуха.

В современных электрических системах релейная защита тесно связана с электроавтоматикой, предназначенной для быстрого автоматического восстановления нормального режима и питания потребителей. К основным видам такой автоматики относятся автоматическое повторное включение (АПВ) однократного действия и автоматическое включение резервных источников питания и оборудования (АВР), применяемые согласно пп. 5.7.1 ПБ. К элементам электроавтоматики следует отнести также дистанционное, телемеханическое и автоматическое управление.

К устройствам АПВ и АВР, применяемым в подземных электрических сетях, предъявляются следующие требования:

- несрабатывание при оперативном отключении выключателя (ручном, дистанционном или посредством устройств телемеханики и автоматики), а также при автоматическом отключении непосредственно после оперативного включения;
- невозможность многократного включения при повреждении механизма привода или отказе любого контакта в схеме устройства;
- автоматический, как правило, возврат устройства АПВ;
- после отключения выключателя защитой от токов к.з. АПВ не допускается;

- время АПВ должно быть не менее 2 с. Если такая выдержка на включение обеспечивается конструкцией привода или другими устройствами, то устройства АПВ и АВР могут срабатывать без выдержки времени.

Схемой должен предусматриваться запрет на действие устройств:

- а) АПВ, установленных на выключателях питающих линий ЦПП, при остановке главных вентиляторов;
- б) АПВ и АВР, установленных на выключателях отходящих присоединений ЦПП и РПП, при длительных (более 3 мин) перерывах питания;
- в) АПВ, установленных на выключателях линий, которые проложены в тупиковых выработках и на исходящей струе на участке очистного забоя или подготовительной выработки шахты, опасной по газу, при отключении выключателей устройствами контроля проветривания и газовой защиты, а также при длительных (более 3 мин) перерывах питания.

Дистанционное, телемеханическое и автоматическое управление электроприемниками напряжением выше 1140 В должно соответствовать требованиям пп. 5.7.1 ПБ, до 1140 В — пп. 5.7.2, 5.8,6 ПБ.

Дистанционное управление групповым аппаратом (ячейка, автомат, пускатель) в проветриваемых ВМП тупиковых выработках шахт, опасных по газу, должно осуществляться согласно инструкции к пп. 5.8.2, 5.8.3 ПБ по трехпроводной схеме.

В подземных выработках шахт, опасных по внезапным выбросам, разрабатывающих крутые пласты, должно быть обеспечено дистанционное отключение согласно инструкции к пп. 5.8.1 ПБ.

Телеуправление вводными ячейками шахтных подземных подстанций допускается только при наличии встроенного блока АПВ с необходимыми блокировками.

8.2. Автоматический выключатель [20-23]

8.2.1. Общие сведения

Автоматический выключатель — механический коммутационный аппарат, способный включать, проводить токи при нормальном состоянии цепи, а также включать, проводить в течение заданного вре-

мени и автоматически отключать токи в указанном аномальном состоянии цепи, таких, как токи короткого замыкания.

История изобретения

Автомат защиты линии был изобретён американским учёным Чарлзом Графтоном Пэйджем в 1836 году. Первую конструкцию автоматического выключателя описал Эдисон в 1879 году, в то время как его коммерческая система электроснабжения использовала плавкие предохранители. Конструкция современных автоматических выключателей была запатентована швейцарской компанией Brown, Boveri & Cie в 1924 году.

Роль в электрической цепи

Автоматические выключатели предназначены для многократной защиты электрических установок от перегрузок и коротких замыканий. Некоторые модели обеспечивают защиту от других аномальных состояний, например, от недопустимого снижения напряжения. Главным отличием от плавкого предохранителя является возможность многократного использования.

Классификация

ГОСТ 9098-78 устанавливает следующую классификацию автоматических выключателей:

1. **По роду тока главной цепи:** постоянного тока; переменного тока; постоянного и переменного тока.

Номинальные токи главных цепей выключателей, предназначенных для работы при температуре окружающего воздуха 40 °С, должны соответствовать ГОСТ 6827. Номинальные токи для главных цепей выключателя выбирают из ряда: 6,3; 10; 16; 20; 25; 32; 40; 63; 100; 160; 250; 400; 630; 1 000; 1 600; 2 500; 2000; 4 000; 6 300 А. Дополнительно могут выпускаться выключатели на номинальные токи главных цепей выключателей: 1 500; 3 000; 3 200 А.

Номинальные токи максимальных расцепителей тока выключателей, предназначенных для работы при температуре окружающего воздуха 40 °С, должны соответствовать ГОСТ 6827.

Допускаются номинальные токи максимальных расцепителей тока: 15; 45; 120; 150; 300; 320; 600; 1 200; 1 500; 2000; 3 000; 3 200 А

2. **По конструкции:** воздушный автоматический выключатель (англ. *Air Circuit Breaker*, сокращенно *ACB*) от 800 А до 6 300 А, выключатель в литом корпусе (с англ. — «MCCB») от 10 А до 2500 А, модульные автоматические выключатели (с англ. — «MCB») от 0,5 А до 125 А.
3. **По числу полюсов главной цепи:** однополюсные; двухполюсные; трёхполюсные; четырёхполюсные.
4. **По наличию токоограничения:** токоограничивающие; нетокоограничивающие.
5. **По видам расцепителей:** с максимальным расцепителем тока; с независимым расцепителем; с минимальным или нулевым расцепителем напряжения.
6. **По характеристике выдержки времени максимальных расцепителей тока:** без выдержки времени; с выдержкой времени, независимой от тока; с выдержкой времени, обратно зависимой от тока; с сочетанием указанных характеристик.
7. **По наличию свободных контактов («блокконтактов») для вторичных цепей:** с контактами; без контактов.
8. **По способу присоединения внешних проводников:** с задним присоединением; с передним присоединением; с комбинированным присоединением (верхние зажимы с задним присоединением, а нижние — с передним присоединением или наоборот); с универсальным присоединением (передним и задним).
9. **По виду установки:** вытяжные с вставными контактами; стационарные.
10. **По виду исполнения отсечки:** селективные, неселективные.
11. **По виду привода:** с ручным; с двигательным; с пружинным.
12. **По наличию и степени защиты выключателя от воздействия окружающей среды и от соприкосновения с находящимися под напряжением частями выключателя и его движущимися частями, расположенными внутри оболочки (в соответствии с требованиями ГОСТ 14255).**

8.2.2. Селективный автоматический выключатель [20, 22, 23]

Селективный автоматический выключатель

В России **селективные автоматические выключатели** — это автоматические выключатели с выдержкой времени (0,25—0,6 с) при отсечке (см. статью «Токовая отсечка»). Такие выключатели, в сочетании с выключателями с мгновенной отсечкой на нижней ступени, позволяют строить селективное срабатывание при к. з.

Селективные автоматические выключатели (англ. Selective Main Circuit Breaker) в соответствии с немецким стандартом DIN VDE 0641-21 также имеют функцию селективности, но осуществляют её другим способом.

Устройство

Автоматические выключатели бывают одно-, двух-, трёх- или четырёхполюсными и имеют следующие конструктивные узлы: главную контактную систему, дугогасительную систему, привод расцепляющего устройства, расцепитель (расцепители), вспомогательные контакты (необязательно).

Контактная система может быть трёхступенчатой (с главными, промежуточными и дугогасительными контактами), двухступенчатой (с главными и дугогасительными контактами) и одноступенчатой (при использовании металлокерамики).

Дугогасительная система может состоять из камер с узкими щелями или из камер с дугогасительными решётками. Комбинированные дугогасительные устройства — щелевые камеры в сочетании с дугогасительной решёткой — применяют для гашения дуги при больших токах. Для каждого исполнения автоматического выключателя существует предельный ток короткого замыкания, который гарантированно не приводит к выходу из строя автомата. Превышение этого тока может вызвать подгорание или сваривание контактов. Например, у популярных серий бытовых автоматов при токе срабатывания 6-50 А предельный ток обычно составляет 1 000—10 000 А.

Автоматические выключатели изготавливают с ручным и двигательным приводом, в стационарном или выдвижном исполнении.

Привод автоматического выключателя служит для включения, автоматического отключения и может быть ручным непосредственного действия и дистанционным (электромагнитным, пневматическим и т. п.).

Автоматические выключатели имеют реле прямого действия, называемые расцепителями.

8.2.3. Расцепители

Расцепители – это электромагнитные, электронные, микропроцессорные или термобиметаллические элементы, служащие для отключения автоматического выключателя через механизм свободного расцепления при КЗ, перегрузках и исчезновении напряжения в первичной цепи (непосредственно: электромагнитные и термобиметаллические элементы; либо косвенно через отдельный независимый электромагнитный расцепитель: электронные и микропроцессорные).

Механизм свободного расцепления состоит из рычагов, защелок, коромысел и отключающих пружин и предназначен для мгновенного отключения автоматического выключателя (вне зависимости от положения органа включения: невозможность удержания автоматического выключателя во включённом положении при срабатывании расцепителя), а также для устранения повторного включения автоматического выключателя на короткое замыкание при длительно существующей команде на включение.

- **Электромагнитный расцепитель (отсечка)** — расцепитель мгновенного действия, представляет собой соленоид (7), подвижный сердечник которого также может приводить в действие механизм расцепления. Ток, проходящий через выключатель, течет по обмотке соленоида и вызывает втягивание сердечника при превышении заданного порога тока. Мгновенный расцепитель, в отличие от теплового, срабатывает очень быстро (доли секунды), но при значительно большем превышении тока: в $2\div 10$ раз от номинала, в зависимости от типа (автоматические выключатели делятся на типы (классы) А, В, С и D в зависимости от чувствительности мгновенного расцепителя). В автоматических выключателях на большие токи начиная с 1970-х годов стали применять **электронные расцепители** (например отечественные автоматические выключатели серии «Электрон», некоторые типы автоматов серий А-37, ВА), а в последнее время и **микропроцессорные расцепители** (микропроцессорные блоки защиты).

• **Тепловой расцепитель** представляет собой биметаллическую пластину, нагреваемую протекающим током. При протекании тока выше допустимого значения биметаллическая пластина изгибается и приводит в действие механизм расцепления. Время срабатывания зависит от тока (**времятоковая характеристика**) и может изменяться от секунд до часа. Минимальный ток, при котором должен срабатывать^[4] тепловой расцепитель, составляет 1,45 от тока уставки теплового расцепителя. Настройка тока срабатывания производится в процессе изготовления регулировочным винтом (6). В отличие от плавкого предохранителя, автоматический выключатель готов к следующему использованию после остывания пластины. Биметаллическая пластина представляет собой ленту из двух металлических полос с разными коэффициентами теплового расширения. В автоматическом выключателе она выполняет роль теплового расцепителя. Две полосы не сплавлены между собой и обычно скреплены с одного конца пайкой или сваркой. Другие концы закреплены неподвижно. Биметаллическая пластина включена в цепь последовательно с нагрузкой. В результате её нагревания электрическим током пластина изгибается в сторону металла с меньшим коэффициентом линейного расширения. В случае перегрузки изгиб пластины обеспечивает отключение автоматического выключателя^[5].

Отключение

Отключение может происходить без выдержки времени или с выдержкой. По собственному времени отключения $t_{c, o}$ (промежуток от момента, когда контролируемый параметр превзошёл установленное для него значение, до момента начала расхождения контактов) различают нормальные выключатели ($t_{c, o} = 0,02-1$ с), выключатели с выдержкой времени (селективные) и быстродействующие выключатели ($t_{c, o} < 0,005$ с).

Нормальные и селективные автоматические выключатели токоограничивающим действием не обладают. Быстродействующие выключатели, так же как предохранители, обладают токоограничивающим действием, так как отключают цепь до того, как ток в ней достигнет значения I_y .

Селективные автоматические выключатели позволяют осуществить селективную защиту сетей путём установки автоматических выключателей с разными выдержками времени: наименьшей у потребителя и ступенчато возрастающей к источнику питания.

Характеристики Ток мгновенного расцепления

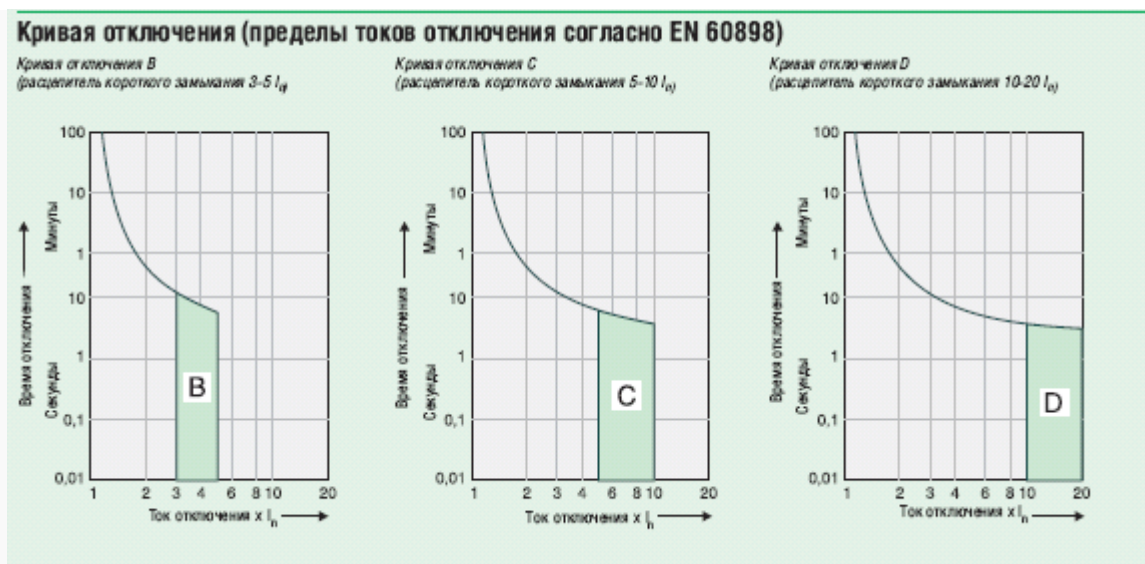


Диаграмма отключения модульных автоматических выключателей разных производителей (закрашена область токов мгновенного расцепления)

Согласно ГОСТ Р 50345-2010, автоматические выключатели делятся на следующие типы (классы) по току мгновенного расцепления:

- тип **В**: свыше $3 \cdot I_n$ до $5 \cdot I_n$ включительно (где I_n — номинальный ток)
- тип **С**: свыше $5 \cdot I_n$ до $10 \cdot I_n$ включительно
- тип **D**: свыше $10 \cdot I_n$ до $20 \cdot I_n$ включительно

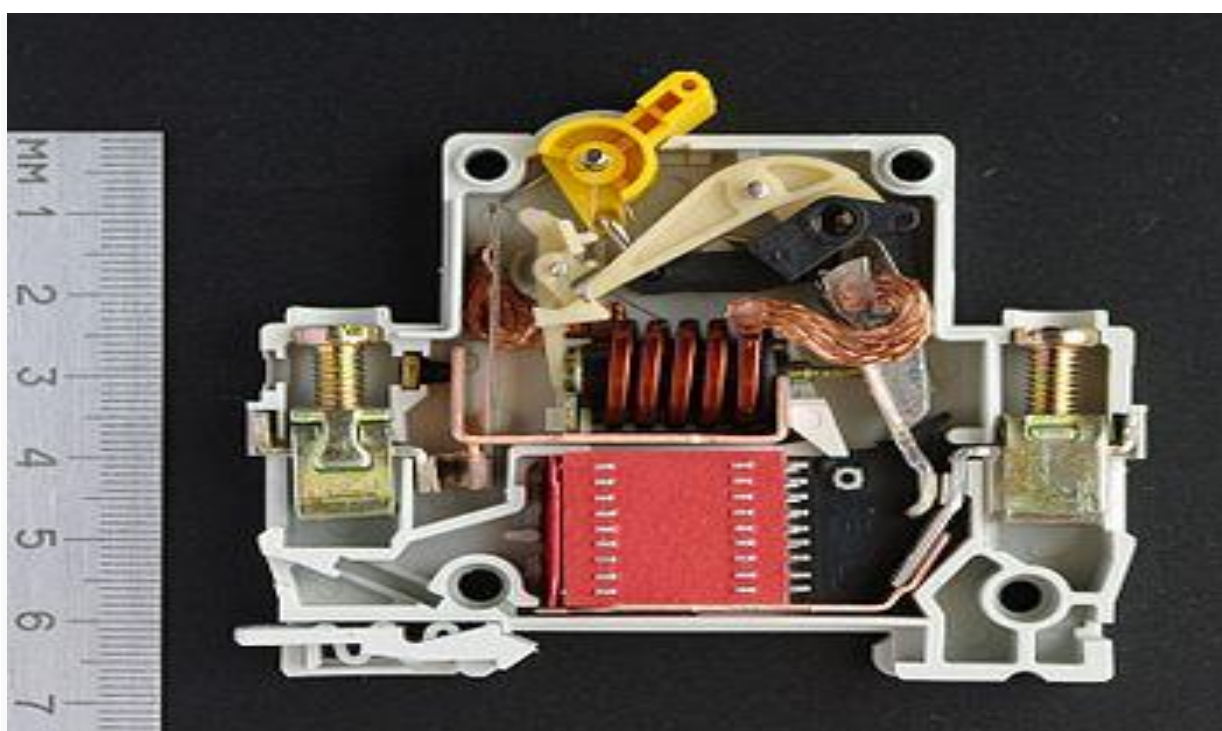
У европейских производителей классификация может несколько отличаться. В частности, имеется дополнительный тип **A** (свыше $2 \cdot I_n$ до $3 \cdot I_n$).

У отдельных производителей существуют дополнительные кривые отключения. Например, у *ABB* имеются автоматические выключатели с кривыми *K* ($8 — 14 \cdot I_n$) и *Z* ($2 — 4 \cdot I_n$), соответствующие стандарту МЭК 60947-2.

8.1.4. Модульный автоматический выключатель [21, 23]

Автоматический выключатель, рассчитанный на небольшие токи, в настоящее время, чаще всего имеет модульную конструкцию, которая предназначена для крепления на DIN-рейку. Внутреннее устройство модульного автоматического выключателя показано на рисунке справа. Включение-выключение производится рычажком 1, провода подсоединяются к винтовым клеммам 2. Защелка 9 фиксирует корпус выключателя на DIN-рейке и позволяет при необходимости легко его снять (для этого нужно оттянуть защелку, вставив плоскую отвёртку в петлю защелки).

Коммутацию цепи осуществляют подвижный (3) и неподвижный (4) контакты. Подвижный контакт подпружинен, пружина обеспечивает усилие нажатия контактов во включённом состоянии и быстрое их отключение при срыве собачки механизма расцепления посредством одного из двух расцепителей: теплового или электромагнитного. Во время расцепления контактов может возникнуть электрическая дуга, поэтому контакты имеют особую форму и находятся рядом с дугогасительной решёткой.



Внутреннее устройство модульного автоматического выключателя

Литература

1. Цапенко Е.Ф, Шакундин С.З. Электробезопасность на горных предприятиях (для студентов высших учебных заведений)/ Цапенко Е.Ф., Шакундин С.З. [2-е изд.] – М. – 2008. – 103 с.
2. Электротехнический справочник. Том 1. Общие вопросы. Электротехнические материалы/Алиев И.И.- М.: Энергия, 2006. – 480 с., ил.
3. Электротехнический справочник. В 3-х т. Т. 1. Общие вопросы. Электротехнические материалы / Под общей редакцией профессоров МЭИ В. Г. Герасимова, П. Г. Грудинского, Л. А. Жукова и др. - 6-е изд., испр. и доп. - М.: Энергия, 1980. - 520 с., ил.
4. Правила устройства электроустановок (ПУЭ).-К.: Форт, 2009.-704 с.
5. Правила безопасности в угольных шахтах, утверждённые совместным приказом Государственного Комитета и технического надзора ДНР и Министерства угля и энергетики ДНР от 18.04.2016 года № 36/208 .
6. Плащанский Л.А. Основы электроснабжения горных предприятий. Учебник для вузов. – 2-е изд. исправ. – М.: Издательство МГГУ, 2006. – 499 с: ил.
7. ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление.
8. . Справочник по проектированию электрических сетей и электрооборудования / Под ред. Ю.Г. Барыбина и др. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 464 с.
9. Безопасная эксплуатация электроустановок: справ. пособие / под общ. ред. Е.Н. Татарова. - Н. Новгород: Вента-2, 1999. - 160 с.
10. ГОСТ Р МЭК 61140-2000. Защита от поражения электрическим током. Общие положения по безопасности, обеспечиваемой электрооборудованием и электроустановками в их взаимосвязи.
11. Долин, П.А. Электробезопасность. Задачник: учеб. пособие / П.А. Долин, В.Т. Медведев, В.В. Корочков. - М.: Гардарики, 2003. - 213 с.
12. Защитное заземление и защитное зануление электроустановок: справочник / В.Д. Маньков, С.Ф. Заграничный. - М.: Политехника, 2006 - 440 с.
13. Иванов, Е.А. Безопасность электроустановок и систем автоматики: учеб. пособие для студентов / Е.А. Иванов, В.Л. Галка, К.Р. Малаян. - СПб.: ЭЛ-МОР, 2003. - 381 с.
14. Кудрин, Б.И. Электроснабжение промышленных предприятий: учеб. для вузов. - М.: Интермет инжиниринг, 2007. - 670 с.

15. Охрана труда: Межотраслевые правила по охране труда (правила безопасности) при эксплуатации электроустановок: ПОТ РМ 016-2001, РД 153-34.0-03.150-00: правила вводятся в действие с 1 июля 2001 г. - М.: Инфра-М, 2005. - 152 с.
16. Электротехнический справочник. В 4 т. Т. 2. Электротехнические изделия и устройства / под общ. ред. В.Г. Герасимова. - М.: Издательство МЭИ, 2003. - 518 с.
17. ГОСТ 9098—78. Выключатели автоматические низковольтные. Общие технические условия.
-
18. ГОСТ Р 50345—2010. Аппаратура малогабаритная электрическая. Автоматические выключатели для защиты от сверхтоков бытового и аналогичного назначения. Часть 1. Автоматические выключатели для переменного тока.
19. Маренич К.М. Автоматическая защита электрооборудования шахт от аварийных состояний и опасностей: учеб, пособ. для высш. учеб. завед./К.М. Маренич, И.В. Ковалёва. – Донецк: ГВУЗ «ДОННТУ», 2013. – 209 с.
20. ГОСТ Р 50030.2—99. Аппаратура распределения и управления низковольтная. Часть 2. Автоматические выключатели.
21. Харечко Ю. В. Защитные устройства модульного исполнения. — М. : ООО «АББ Индустрия и стройтехника», 2008. — 336 с.
22. Пищур А. П. Оборудование в эксплуатации. Ремонт, ретрофит или полная замена автоматических выключателей? // Журнал «Новости ЭлектроТехники». — 2010. — № 4 (64).
2. Пищур А. П. Современные автоматические выключатели // Журнал «Энерго-Инфо». — ООО «АЗБУКА ЭЛЕКТРИЧЕСТВА» (официальное представительство TERA-SAKI), 2012. — № 1 (60).