



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ЭКОЛОГИЧЕСКОМУ, ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМУ И АТОМНОМУ НАДЗОРУ
(РОСТЕХНАДЗОР)**

П Р И К А З

22 июня 2021 г.

№ 226

Москва

**Об утверждении руководства по безопасности
«Рекомендации по электроснабжению угольных шахт»**

В соответствии с пунктом 5 статьи 3 Федерального закона от 21 июля 1997 г. № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов», а также в целях содействия соблюдению требований Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Инструкция по электроснабжению угольных шахт», утвержденных приказом Ростехнадзора от 28 октября 2020 г. № 429, приказываю:

Утвердить прилагаемое руководство по безопасности «Рекомендации по электроснабжению угольных шахт».

Руководитель

А.В. Трёмбицкий

УТВЕРЖДЕНО
приказом Федеральной службы
по экологическому, технологическому и
атомному надзору
от «22» июня 2021 г. № 226

РУКОВОДСТВО ПО БЕЗОПАСНОСТИ «РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЮ УГОЛЬНЫХ ШАХТ»

I. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1. Руководство по безопасности «Рекомендации по электроснабжению угольных шахт» (далее – Руководство по безопасности) разработано в соответствии с требованиями пункта 5 статьи 3 Федерального закона от 21 июля 1997 г. № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов».

2. Руководство по безопасности рекомендовано к использованию при эксплуатации электротехнических изделий и электрического оборудования в условиях шахт угольной промышленности (далее – шахта) и предназначено для работников шахт, проектных организаций, заводов-изготовителей горно-шахтного оборудования, а также для работников иных организаций, деятельность которых связана с посещением шахт.

3. Руководство по безопасности содержит рекомендации Ростехнадзора к Федеральным нормам и правилам в области промышленной безопасности «Инструкция по электроснабжению угольных шахт», утвержденным приказом Ростехнадзора от 28 октября 2020 г. № 429 (далее – Инструкция).

II. РАСЧЕТ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ ШАХТНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 1200 В

4. Расчет токов короткого замыкания (далее – КЗ) осуществляется с целью определения максимального значения тока трехфазного КЗ, необходимого для проверки коммутационной аппаратуры на отключающую способность.

5. Начальное действующее значение периодической составляющей тока трехфазного КЗ, кА, определяется по формуле:

$$I_{\text{к.з.}}^{(3)} = \frac{1,05 \cdot U_{\text{н.н.}} \cdot K_{\text{от.т.}}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_{\text{к.з.}}^2 + X_{\text{к.з.}}^2}}, \quad (1)$$

где:

$U_{н.н.}$ – номинальное напряжение сети, подключенное к обмотке низкого напряжения трансформатора передвижной участковой трансформаторной подстанции (далее - ПУПП), принимаемое равным 0,133; 0,23; 0,4; 0,69 или 1,2 кВ;

$K_{о.т.}$ – коэффициент, определяющий изменение напряжения на вторичной обмотке трансформатора ПУПП при использовании отпаек на первичной обмотке этого трансформатора; в зависимости от положения отпаек принимает следующие значения:

отпайка	-10%	-5%	0	+5%;
---------	------	-----	---	------

$K_{о.т.}$	1,1	1,05	0	0,95;
------------	-----	------	---	-------

$R_{к.з.}$ – суммарное активное сопротивление цепи КЗ, мОм;

$X_{к.з.}$ – суммарное индуктивное сопротивление цепи КЗ, мОм.

Значения $R_{к.з.}$ и $X_{к.з.}$ определяются по формулам:

$$R_{к.з.} = R_T + R_K + R_{кб} \cdot l_{кб} ; \quad (2)$$

$$X_{к.з.} = X_C + X_T + X_{кб} \cdot l_{кб} , \quad (3)$$

где:

X_C – эквивалентное индуктивное сопротивление энергосистемы, мОм, определяемое по формуле:

$$X_C = \frac{U_{н.н.}}{S_K} \cdot 10^3 , \quad (4)$$

где:

S_K – условная мощность короткого замыкания у выводов обмотки высокого напряжения трансформатора, МВ·А;

R_T, X_T – активное и индуктивное сопротивления понижающего трансформатора, приведенные к ступени низкого напряжения сети, мОм, значения которых рассчитывают по формулам:

$$R_T = \frac{P_{к.ном} \cdot U_{н.н.}^2}{S_{т.ном}^2}, \quad (5)$$

$$X_T = \sqrt{U_K^2 - \left(\frac{100 \cdot P_{к.ном}}{S_{т.ном}} \right)^2} \cdot \frac{U_{н.н.}^2}{S_{т.ном}} \cdot 10^4, \quad (6)$$

где:

$S_{т.ном}$ – номинальная мощность трансформатора, кВ·А;

$P_{к.ном}$ – потери короткого замыкания в трансформаторе, кВт;

u_k – напряжение короткого замыкания трансформатора, %;

R_k – суммарное активное сопротивление различных контактов и контактных соединений. При приближенном учете сопротивление контактов следует принимать: $R_k = 0,1$ мОм – для контактных соединений кабелей, $R_k = 1,0$ мОм – для коммутационных аппаратов;

$l_{кб}$ – длина кабельной сети от ПУШ до точки короткого замыкания;

$R_{кб}, X_{кб}$ – активное и индуктивное сопротивления прямой последовательности кабелей (при температуре нагрева жил 65°C), Ом/км, принимаются согласно технической информации (техническим условиям) на кабели.

6. Нормированные значения напряжения и потерь КЗ принимают из их технических характеристик (указываются в инструкциях или руководстве по эксплуатации).

7. Расчет минимального значения тока двухфазного КЗ необходим для выбора уставок средств защиты.

Расчетный минимальный ток двухфазного металлического короткого замыкания $I_{к.з.min}^{(2)}$, кА, следует определять по формуле:

$$I_{к.з.min}^{(2)} = \frac{0,95 \cdot U_{н.н.} \cdot K_{от.}}{2 \cdot \sqrt{R_{к.з.}^2 + X_{к.з.}^2}}. \quad (7)$$

Расчетный минимальный ток КЗ в наиболее удаленной точке отходящего от аппарата искроопасного присоединения напряжением до 42 В определяют по формуле:

$$I_{к.з.min}^{(2)} = \frac{U_H}{r_T + 2r_K \cdot l_k}, \quad (8)$$

где:

U_H – номинальное напряжение вторичной обмотки трансформатора, В;

r_T – сопротивление трансформатора, приведенное к вторичной обмотке, Ом (указывается в инструкциях или руководстве по эксплуатации аппаратов);

r_k – сопротивление одной жилы кабеля, Ом/км, указывается в технической информации (технических условиях) на кабели;

l_k – длина кабельной линии напряжением до 42 В, в которой произошло короткое замыкание.

III. ВЫБОР И ПРОВЕРКА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ АППАРАТУРЫ И УСТАВОК ЗАЩИТЫ ШАХТНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 1200 В

8. Автоматические выключатели выбирают по назначению, номинальному напряжению сети исходя из условия:

$$I_{\text{ном.ав}} \geq I_{\phi}, \quad (9)$$

где:

$I_{\text{ном.ав}}$ – номинальный ток выключателя, А.

Номинальное напряжение $U_{\text{ном.кат}}$ отключающей катушки независимого расцепителя выбранного выключателя должно быть равно номинальному напряжению сети U_c , т.е.:

$$U_{\text{ном.кат}} = U_c. \quad (10)$$

9. Для обеспечения надежного отключения защитным аппаратом максимальных токов КЗ, которые могут возникнуть в защищаемом присоединении:

$$I_o \geq 1,2 I_{\text{к.з.мах}}^{(3)}, \quad (11)$$

где:

I_o – предельный отключаемый ток защитного аппарата, А;

$I_{\text{к.з.мах}}^{(3)}$ – расчетный максимальный ток трехфазного КЗ, А.

10. В случае, если условие формулы (11) не выполняется, т.е. отключающая способность проверяемого аппарата оказывается меньше величины, указанной в формуле (11), но выполняется условие формулы (12), то уставку тока

защищаемого аппарата выставляют в соответствии с инструкцией или руководством по эксплуатации аппарата:

$$I_y \leq \frac{I_o}{1,2K_q} = 0,55 I_o , \quad (12)$$

где:

K_q – коэффициент чувствительности защиты ($K_q = 1,5$);

I_y – уставка тока срабатывания реле максимального тока другого аппарата, находящегося на том же присоединении и отключающая способность которого удовлетворяет условию формулы (12), А.

В случае, если условие формулы (12) не соблюдается, то перед проверяемым аппаратом устанавливается дополнительный аппарат, удовлетворяющий условиям формул (11) и (12).

11. Требование о проверке аппаратов по предельно отключаемому току не распространяется на автоматические выключатели, установленные в передвижных подстанциях и пусковых агрегатах.

12. Пускатели (станции управления) выбирают по назначению, номинальному напряжению сети U_c , фактическому номинальному току I_ϕ , подключаемой нагрузке, мощности и режиму работы потребителя электроэнергии, для управления которыми служит пускатель (станция управления):

$$I_{\text{ном.п}} \geq I_\phi ; \quad (13)$$

$$U_{\text{ном.п}} = U_c , \quad (14)$$

где:

$I_{\text{ном.п}}$ – номинальный ток пускателя (станции управления), А;

$U_{\text{ном.п}}$ – номинальное напряжение пускателя (станции управления), В.

Выбранные пускатели (станции управления) проверяют на способность отключать трехфазные токи КЗ в защищаемой сети в месте их подключения. Проверку производят по тем же условиям, что и для автоматических выключателей формулы (10).

13. При наличии в коммутационном аппарате реле максимальной токовой защиты (далее - МТЗ) ее ток уставки I_y предварительно выбирают из условия:

для защиты магистрали:

$$I_y \geq I_{\text{пуск.ном}} + \sum I_{\text{ном}} , \quad (15)$$

где:

I_y – уставка срабатывания реле, А. Уставку тока защищаемого аппарата выставляют в соответствии с инструкцией или руководством по эксплуатации аппарата;

$I_{\text{пуск.ном}}$ – номинальный пусковой ток наиболее мощного электродвигателя, подключенного к защищаемой сети, А;

$\sum I_{\text{ном}}$ – сумма номинальных токов остальных токоприемников;

для защиты ответвлений, питающих группу одновременно включаемых электродвигателей:

$$I_y \geq \sum I_{\text{пуск.ном}} , \quad (16)$$

для защиты ответвления, питающего осветительную нагрузку с лампами накаливания:

$$I_y \geq 3 \cdot I_{\text{ном}} , \quad (17)$$

а с люминесцентными лампами:

$$I_y \geq 1,25 \cdot I_{\text{ном}} , \quad (18)$$

$I_{\text{ном}}$ – номинальный рабочий ток.

14. Выбранную уставку тока срабатывания реле проверяют по расчетному минимальному току двухфазного КЗ. При этом отношение (кратность) расчетного минимального тока двухфазного КЗ к уставке тока срабатывания реле должно удовлетворять условию:

$$\frac{I_{\text{к.з.мин}}^{(2)}}{I_y} \geq K_{\text{ч}} , \quad (19)$$

где:

$K_{\text{ч}}=1,5$ – коэффициент чувствительности защиты.

V. ПОРЯДОК ОПРЕДЕЛЕНИЯ НОМИНАЛЬНОГО ТОКА ПЛАВКОЙ ВСТАВКИ ПРЕДОХРАНИТЕЛЕЙ В ШАХТНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 1200 В

15. Номинальный ток плавкой вставки предохранителей определяют по формулам:

для защиты магистрали:

$$I_B \geq \frac{I_{\text{пуск.ном}}}{1,6 \div 2,5} + \sum I_{\text{ном}}, \quad (20)$$

где:

I_B – номинальный ток плавкой вставки, А;

$1,6 \div 2,5$ – коэффициент, обеспечивающий условия запуска асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором.

16. Для легких условий пуска электродвигателя (редкие пуски и быстрый разгон) значение этого коэффициента следует принимать равным 2,5, а для тяжелых условий пуска (частые пуски при длительном разгоне) – $1,6 \div 2,0$.

17. Занижать номинальный ток плавкой вставки не следует, так как последняя может перегореть при пусках, что является одной из причин выхода из строя электродвигателей в режиме их однофазной работы:

для защиты ответвления – в случае применения электродвигателя с короткозамкнутым ротором:

$$I_B \geq \frac{I_{\text{пуск.ном}}}{1,6 \div 2,5}, \quad (21)$$

а в случае осветительной нагрузки:

$$I_B \geq I_{\text{ном}}. \quad (22)$$

18. Отношение (кратность) расчетного минимального тока двухфазного КЗ к номинальному току плавкой вставки должно удовлетворять условию:

$$\frac{I_{\text{к.з.мин}}^{(2)}}{I_B} \geq 4 \div 7. \quad (23)$$

При этом кратность, равная 4, допускается в сетях напряжением 380-1200 В, где требуется плавкая вставка на номинальный ток 160 и 200 А, а также в сетях напряжением 127 и 220 В, независимо от величины тока плавкой вставки.

19. Плавкую вставку для защиты искроопасных цепей напряжением до 42 В проверяют по условию:

$$\frac{I_{к.з.min}^{(2)}}{I_B} \geq 5, \quad (24)$$

где:

I_B – номинальный ток плавкой вставки, А.

V. ВЫБОР И ПРОВЕРКА УСТАВОК ТОКА СРАБАТЫВАНИЯ РЕЛЕ И ПЛАВКИХ ВСТАВОК ПРЕДОХРАНИТЕЛЕЙ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ТРАНСФОРМАТОРОВ ШАХТНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 1200 В

20. Выбор и проверку уставок тока срабатывания указанных реле производят по формулам:

для трансформаторов с одинаковыми схемами соединения первичной и вторичной обмоток (например, Δ/Δ , Y/Y):

$$\frac{I_{к.з.min}^{(2)}}{K_T I_y} \geq 1,5, \quad (25)$$

где:

$I_{к.з.min}^{(2)}$ – расчетный минимальный ток двухфазного КЗ на стороне вторичной обмотки трансформатора, А;

I_y – уставка тока срабатывания реле аппаратов со стороны первичной обмотки трансформатора, А;

K_T – коэффициент трансформации;

1,5 – коэффициент чувствительности защиты;

для трансформаторов с различными схемами соединения первичной и вторичной обмоток (например, Δ/Y , Y/Δ):

$$\frac{I_{к.з.min}^{(2)}}{K_T I_y \sqrt{3}} \geq 1,5. \quad (26)$$

21. Величину уставки тока срабатывания максимальных реле аппаратов на стороне первичной обмотки для защиты вторичной обмотки осветительных трансформаторов, питающих лампы накаливания и люминесцентные лампы, определяют соответственно:

$$I_y = \frac{3 \cdot I_{\text{НОМ}}}{K_T}; \quad (27)$$

$$I_y = \frac{1,25 \cdot I_{\text{НОМ}}}{K_T}. \quad (28)$$

22. Номинальный ток плавкой вставки предохранителей, встроенных в аппараты, установленные на первичной стороне осветительных трансформаторов, определяют по формуле:

$$I_B \geq \frac{1,2+1,4}{K_T} \cdot I_{\text{НОМ}}. \quad (29)$$

Принимается плавкая вставка с ближайшим к расчетному значению номинальным током.

23. Отношение (кратность) расчетного минимального тока двухфазного КЗ к номинальному току плавкой вставки должно удовлетворять условиям:

для трансформаторов с одинаковой схемой соединения первичной и вторичной обмоток:

$$\frac{I_{\text{кз.мин}}^{(2)}}{K_T I_B} \geq 4, \quad (30)$$

для трансформаторов с различной схемой соединения первичной и вторичной обмоток:

$$\frac{I_{\text{кз.мин}}^{(2)}}{K_T I_B \sqrt{3}} \geq 4, \quad (31)$$

где:

$I_{\text{кз.мин}}^{(2)}$ – расчетный минимальный ток двухфазного КЗ, определенный для случая замыкания на вводных зажимах следующего после вторичной обмотки защитного аппарата, А.

VI. ВЫБОР И ПРОВЕРКА КАБЕЛЬНОЙ СЕТИ НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 1200 В

24. Сечение магистрального кабеля от ПУПП до распределительного пункта низкого напряжения (РП НН) выбирают из условия:

$$I_{\text{доп}} \geq I_{\text{ф}}, \quad (32)$$

где:

$I_{\text{доп}}$ – длительно допустимый ток (по нагреву) кабеля, определяемый

по техническим условиям на кабель соответствующего сечения, А;

I_{ϕ} – фактический ток сети, А.

25. Сечение гибких кабелей для отдельных токоприемников участка (кроме многоприводных машин) выбирают из условия допустимого нагрева кабеля данного сечения его номинальным током $I_{\text{ном}}$:

$$I_{\text{доп}} \geq I_{\text{ном}} . \quad (33)$$

26. Если одним кабелем подключены несколько асинхронных двигателей, то ток, проходящий через кабель, принимают как $\sum I_{\text{ном}}$ этих асинхронных двигателей:

$$I_{\text{доп}} \geq \sum I_{\text{ном}} . \quad (34)$$

27. Параметры схемы электроснабжения выбраны правильно, если соблюдены условия:

фактическое напряжение на зажимах асинхронного двигателя в рабочем (номинальном) режиме:

$$U_{\phi} \geq 0,95 \cdot U_{\text{ном}} , \quad (35)$$

напряжение на зажимах комбайновых асинхронных двигателей при их пуске:

$$U_{\text{пуск}} \geq 0,8 \cdot U_{\text{ном}} , \quad (36)$$

напряжение на зажимах комбайновых асинхронных двигателей при их перегрузке:

$$U_{\text{пг}} \geq 0,85 \cdot U_{\text{ном}} . \quad (37)$$

VII. РАСЧЕТ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ В ШАХТНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ НАПРЯЖЕНИЕМ 6000 (10000) В

28. Ток трехфазного КЗ $I_{\text{к.з.}}^{(3)}$, кА, для любой точки сети может быть определен по формуле:

$$I_{\text{к.з.}}^{(3)} = \frac{U_{\text{вн}}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{x^2 + r^2}} , \quad (38)$$

где:

$U_{\text{вн}}$ – высокое напряжение сети, принимаемое равным 6,3 или 10 кВ;

x и r – соответственно индуктивное и активное сопротивления цепи КЗ, Ом.

Определение индуктивного сопротивления цепи короткого замыкания следует производить с учетом сопротивления всех элементов цепи, активного – только сопротивления кабельной линии, т.е.:

$$x = x_c + x_{\text{тр}} + x_p + l_{\text{л}} \cdot x_{\text{л}}; \quad (39)$$

$$r = l_{\text{л}} \cdot r_{\text{л}}, \quad (40)$$

где:

x_c – индуктивное сопротивление энергосистемы, приведенное к расчетному напряжению сети; при глубоком вводе 110/6 кВ (110/10 кВ) рекомендуется принимать $x_c = 0$, а при 35/6 кВ (35/10 кВ) – $x_c = 0,08$ Ом или определять по формуле, Ом:

$$x_c = \frac{U_{\text{ВН}}^2}{S_c^{(3)}}, \quad (41)$$

где:

$S_c^{(3)}$ – мощность трехфазного КЗ энергосистемы, МВ·А (принимается по данным энергоснабжающей организации);

$x_{\text{тр}}$ – индуктивное сопротивление трансформатора, определяется по формуле, Ом:

$$x_{\text{тр}} = \frac{10 \cdot u_{\text{к}} \cdot U_{\text{ВН}}^2}{S_{\text{ном}}}, \quad (42)$$

где:

$S_{\text{ном}}$ – номинальная мощность трансформатора, кВ·А;

$u_{\text{к}}$ – напряжение КЗ трансформатора, %. Принимается из технической информации на трансформатор (инструкция или руководство по эксплуатации);

x_p – индуктивное сопротивление токоограничивающего реактора, Ом, определяется по формуле:

$$x_p = \frac{10 \cdot x_{\text{р.р}} \cdot U_p}{\sqrt{3} \cdot I_p}, \quad (43)$$

где:

$x_{\text{р.р}}$ – относительная реактивность реактора, %;

U_p – номинальное напряжение реактора, кВ;

I_p – номинальный ток реактора, А;

l_L – длина кабельной линии до точки КЗ, км;

x_L, r_L – соответственно индуктивное и активное сопротивление линии, Ом/км, указываются в технической информации (технических условиях) на кабели.

Мощность трехфазного короткого замыкания сети (МВ·А) определяется по формуле:

$$S_{к.з.}^{(3)} = \sqrt{3} \cdot U_{вн} \cdot I_{к.з.}^{(3)}. \quad (44)$$

Ток двухфазного короткого замыкания (кА), определяется из соотношения:

$$I_{к.з.}^{(2)} = 0,87 \cdot I_{к.з.}^{(3)}. \quad (45)$$

VIII. ВЫБОР И ПРОВЕРКА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АППАРАТОВ И РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ СЕТИ ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

29. Номинальный ток $I_{ном.я}$ и напряжение $U_{ном.я}$ комплексного распределительного устройства (далее – КРУ) определяют из условий:

$$I_{ном.я} \geq I_{вн}, U_{ном.я} \geq U_{вн}, \quad (46)$$

где:

$I_{вн}$ – ток нагрузки, проходящий через выбираемое КРУ;

$U_{вн}$ – номинальное напряжение сети.

Проверку выбранного КРУ по предельному току отключения и отключаемой мощности производят по условиям:

$$I_o \geq I_{к.з.}^{(3)} \text{ и } S_o \geq S_{к.з.}^{(3)}, \quad (47)$$

где:

I_o, S_o – соответственно предельно отключаемые ток и мощность отключения аппарата;

$I_{к.з.}^{(3)}, S_{к.з.}^{(3)}$ – соответственно расчетный ток и мощность трехфазного КЗ сети в месте установки КРУ.

IX. ВЫБОР И ПРОВЕРКА УСТАВОК СРАБАТЫВАНИЯ МАКСИМАЛЬНОЙ ТОКОВОЙ ЗАЩИТЫ СЕТИ ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

30. Выбор и проверка уставок срабатывания МТЗ для КРУ для токовых реле мгновенного действия (без выдержки времени), включенных по схеме неполной звезды, определяются по формулам:

$$I_{\text{ср.2}} = \frac{K_{\text{н}} \cdot I_{\text{р.мах}}}{K_{\text{т.т.}}} ; \quad (48)$$

$$I_{\text{ср.1}} = K_{\text{т.т.}} \cdot I_{\text{у}} ; \quad (49)$$

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{к.з.}}^{(2)}}{I_{\text{ср.1}}} , \quad (50)$$

где:

$I_{\text{ср.2}}$ – расчетный ток срабатывания реле, А;

$K_{\text{н}}$, $K_{\text{ч}}$ – коэффициенты, соответственно, надежности и чувствительности защиты;

$I_{\text{р.мах}}$ – максимальный рабочий ток защищаемой линии, А;

$K_{\text{т.т.}}$ – коэффициент трансформации трансформаторов тока;

$I_{\text{ср.1}}$ – первичный ток срабатывания защиты, А;

$I_{\text{у}}$ – ток уставки реле, принимается ближайшее большее к расчетному току значение, А;

$I_{\text{к.з.}}^{(2)}$ – расчетный ток двухфазного короткого замыкания, А.

Максимальный рабочий ток защищаемой линии следует определять:

для питающих линий центральной подземной подстанции (далее – ЦПП) и распределительной подземной подстанции (далее – РПП), а также для сборных шин этих подстанций:

$$I_{\text{р.мах}} = I_{\text{р}} + I_{\text{п.мах}} = \sum I_{\text{н}} + K_{\text{п}} \cdot I_{\text{н.мах}} ; \quad (51)$$

для электродвигателей:

$$I_{\text{р.мах}} = I_{\text{п}} = K_{\text{п}} \cdot I_{\text{н.дв}} ; \quad (52)$$

для силовых трансформаторов:

$$I_{\text{р.мах}} = I_{\text{н.тр}} + \frac{I_{\text{п.мах}}}{K_{\text{т}}} ; \quad (53)$$

где:

$I_{н.мах}, I_{п.мах}$ – ток наиболее мощных электроприемников, присоединенных к шинам подстанции или силовому трансформатору, А;

$I_p, I_{п}$ – соответственно номинальный и пусковой ток электроприемников, А;

$K_{п}$ – кратность пускового тока;

$K_{т}$ – коэффициент трансформации силового трансформатора.

Коэффициент надежности токовой защиты принимают равным 1,2–1,4.

Коэффициент чувствительности защиты определяют по минимальному значению тока двухфазного металлического короткого замыкания, который может возникнуть в предусматриваемой зоне действия защиты, с учетом резервирования защиты смежного последующего участка сети.

Коэффициент чувствительности не должен быть ниже двух, а для защит, установленных на питающих линиях ЦПП и РПП, – не ниже 1,5.

Проверка чувствительности МТЗ КРУ, питающих ПУПП, имеющих силовые трансформаторы с одинаковыми схемами соединения обмоток ВН (далее – высокое напряжение) и НН (далее – низкое напряжение), производится по условию:

$$I_y \cdot K_{т.т} < \frac{I_{к.з.нн}^{(2)}}{1,5}, \quad (54)$$

где:

I_y – уставка МТЗ КРУ, А;

$I_{к.з.нн}^{(2)}$ – расчетный ток двухфазного КЗ на стороне НН участковой трансформаторной подстанции (ПУПП).

Для ПУПП, имеющих силовые трансформаторы с различными схемами обмоток ВН и НН, проверка чувствительности максимальной токовой защиты КРУ производится по условию:

$$I_y \cdot K_{т.т} \cdot \sqrt{3} < \frac{I_{к.з.}^{(2)}}{1,5}. \quad (55)$$

Х. ВЫБОР И ПРОВЕРКА КАБЕЛЬНОЙ СЕТИ ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

31. Сечение кабеля ВН, питающего ПУПП, определяется исходя из ее тока нагрузки $I_{ф}$, А, по следующей формуле:

$$I_{\text{ВН}} = 1,1 \cdot K_{\text{от}} \cdot K_{\text{т.пушп}} \cdot I_{\text{ф}}, \quad (56)$$

где:

1,1 – коэффициент резерва;

$K_{\text{от}}$ – коэффициент, определяющий изменение напряжения на вторичной обмотке трансформатора ПУШП при использовании отпаек на первичной обмотке этого трансформатора; в зависимости от положения отпаек принимает следующие значения:

отпайка –10% –5% 0 +5%;

$K_{\text{от}}$ 1,1 1,05 0 0,95;

$K_{\text{т.пушп}}$ – коэффициент трансформации ПУШП.

При нагрузке ПУШП, близкой к номинальной, ток кабеля ВН равен:

$$I_{\text{ВН}} = 1,1 \cdot I_{\text{В.п}}, \quad (57)$$

где:

$I_{\text{В.п}}$ – номинальный ток ВН участковой трансформаторной подстанции, А.

Если кабелем ВН подключены две и более ПУШП, то ток его нагрузки равен:

$$I_{\text{ВН}} = \sum I_{\text{В.п}}. \quad (58)$$

По полученному току кабеля ВН выбирают его сечение, определяемое из технических условий на кабель соответствующего сечения, по длительно допустимому (по нагреву) току кабеля $I_{\text{доп}}$, А.

Выбранное по длительно допустимому (по нагреву) току нагрузки сечение кабеля ВН в зависимости от его типа проверяют на термическую устойчивость при КЗ, исходя из условия:

$$I_{\text{пр}} \geq 1,2 \cdot I_{\text{к.з.}}^{(3)}, \quad (59)$$

где:

$I_{\text{пр}}$ – предельно допустимый кратковременный ток КЗ, в кабеле, А;

$I_{\text{к.з.}}^{(3)}$ – ток трехфазного КЗ в начале проверяемого кабеля, А.

Значения тока $I_{\text{пр}}$ определяют по формуле:

$$I_{\text{пр}} = \frac{cF}{\sqrt{t_n}}, \quad (60)$$

где:

c – коэффициент, учитывающий конечную температуру нагрева жил и напряжение кабеля при КЗ, $A \cdot c^{1/2} \cdot \text{мм}^{-2}$. Значение коэффициента c для кабелей с бумажной изоляцией номинальным напряжением 6000 (10000) В принимают равным 134, для кабелей с ПВХ изоляцией – 115, а для гибких кабелей с резиновой изоляцией принимают равным $105 A \cdot c^{1/2} \cdot \text{мм}^{-2}$;

F – принятое сечение основной (силовой) жилы кабеля, мм^2 ;

t_n – приведенное время отключения КЗ защищаемого КРУ, с.

Значение времени t_n указывается в технических характеристиках КРУ (указывается в инструкциях или руководстве по эксплуатации). При отсутствии данных значение t_n принимают равным 0,12–0,17 секунд, причем большее время относится к КРУ, установленным в ЦПП, а меньшее – в РПП

XI. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ В ШАХТНЫХ УЧАСТКОВЫХ СЕТЯХ НАПРЯЖЕНИЕМ 3300 В

32. Расчет эффективных значений токов КЗ в сетях напряжением 3300 В осуществляется с целью определения максимального значения тока трехфазного КЗ, необходимого для проверки коммутационной аппаратуры на отключающую способность и кабелей на термическую стойкость, минимального значения тока двухфазного КЗ, необходимого для проверки уставок средств защиты.

33. Расчетный максимальный ток трехфазного КЗ для любой точки сети $I_{\text{к.з.мах}}^{(3)}$, А, определяется по формуле:

$$I_{\text{к.з.мах}}^{(3)} = \frac{1,05 U_{\text{нн}} K_{\text{от}}}{\sqrt{3} \sqrt{R_{(3)\text{к.з.}}^2 + X_{(3)\text{к.з.}}^2}}, \quad (61)$$

где:

$U_{\text{нн}}$ – низкое напряжение ПУПП, В;

$K_{\text{от}}$ – коэффициент, определяющий изменение напряжения на вторичной обмотке трансформатора ПУПП при использовании отпаек на первичной обмотке этого трансформатора;

$R_{(3)к.з.}$, $X_{(3)к.з.}$ – соответственно активное и индуктивное сопротивление цепи трехфазного КЗ, Ом.

34. В зависимости от положения отпаек коэффициент $K_{о.т.}$ принимает следующие значения:

отпайка	-10%	-5%	0	+5%;
$K_{о.т.}$	1,1	1,05	0	0,95.

Значения $R_{(3)к.з.}$ и $X_{(3)к.з.}$ определяются по формулам:

$$R_{(3)к.з.} = \left(R + 0,375 \frac{50L_{в.мин}}{F_B} \right) \cdot \left(\frac{K_{о.т.}}{K_T} \right)^2 + 0,375 \sum_1^n \frac{50L_i}{F_i}, \quad (62)$$

$$X_{(3)к.з.} = (X + 0,08L_{в.мин}) \cdot \left(\frac{K_{о.т.}}{K_T} \right)^2 + X_{тр} + \sum_1^n x_{ki}L_i, \quad (63)$$

где:

R , X – соответственно активное и индуктивное сопротивление распределительной сети шахты до сборных шин РПП-6, от которых получает питание ПУПП, Ом;

F_B , $L_{в.мин}$ – соответственно сечение основных (силовых) жил (мм^2) и длина (км) кабеля на напряжение 6 кВ от РПП-6 до ПУПП;

$X_{тр}$ – индуктивное сопротивление трансформатора ПУПП, приведенное к вторичной обмотке трансформатора, Ом;

F_i , L_i – соответственно сечение основных (силовых) жил (мм^2) и длина (км) последовательно включенных i -х кабелей, составляющих радиальную линию от ПУПП до точки трехфазного короткого замыкания;

n – количество кабелей длиной L_i и сечением F_i ;

0,375 – активное сопротивление основной жилы 1 км кабеля с номинальным сечением 50 мм^2 при температуре 20°C , Ом/км;

x_{ki} – индуктивное сопротивление 1 км кабеля на напряжение 3300 В сечением F_i (Ом/км), которое указывается в технической информации (технических условиях) на кабели, а при отсутствии справочных данных принимается равным $0,08 \text{ Ом/км}$;

K_T – коэффициент трансформации для междуфазных напряжений трансформатора ПУПП, определяемый по формуле:

$$K_T = \frac{U_{ВН}}{U_{НН}}, \quad (64)$$

где:

$U_{ВН}$ – высокое напряжение трансформатора ПУПП, В.

Значение $X_{тр}$ определяется из выражения:

$$X_{тр} = \frac{10U_{НН}^2 \cdot u_{к.з.}}{S_{ном}}, \quad (65)$$

где:

$U_{НН}$, $u_{к.з.}$ – соответственно номинальное напряжение на стороне низкого напряжения (кВ) и напряжение КЗ (%) трансформатора ПУПП номинальной мощностью $S_{ном}$, кВ·А.

35. Значения R и X определяются по формулам:

$$R = 0,375 \sum_1^n \left(\frac{50L_j}{F_j} \right), \quad (66)$$

$$X = X_c + X_{гпп.тр} + X_p + 0,08 \sum_1^n L_j, \quad (67)$$

где:

L_j , F_j – соответственно сечение основных (силовых) жил (мм^2) и длина (км) последовательно включенных j -х кабелей, составляющих радиальную линию распределительной сети шахты от сборных шин главной понизительной подстанции (далее – ГПП) до сборных шин РПП-6;

n – количество кабелей длиной L_j и сечением F_j ;

X_c – индуктивное сопротивление энергосистемы, приведенное к расчетному напряжению сети: при глубоком вводе 110/6 кВ (110/10 кВ) принимается $X_c=0$, а при 35/6 кВ (35/10 кВ) – $X_c=0,08$ Ом или определяется по ниже приведенной формуле (70);

$X_{\text{ГПП.тр}}$ – индуктивное сопротивление трансформатора, установленного на ГПП, приведенное к вторичной обмотке трансформатора (Ом), определяемое по формуле:

$$X_{\text{ГПП.тр}} = 10U_{\text{ГПП.нн}}^2 \cdot \frac{u_{\text{ГПП.кз}}}{S_{\text{ГПП.ном}}}, \quad (68)$$

где:

$U_{\text{ГПП.нн}}$, $u_{\text{ГПП.кз}}$ – соответственно номинальное напряжение на низкой стороне (кВ) и напряжение КЗ (%) трансформатора, установленного на ГПП, номинальной мощностью $S_{\text{ГПП.ном}}$, кВ·А;

X_p – индуктивное сопротивление токоограничивающего реактора, установленного на ГПП (Ом), определяемое по формуле:

$$X_p = \frac{10X_{\text{о.р}}U_p}{\sqrt{3}I_p}, \quad (69)$$

где:

$X_{\text{о.р}}$ – относительная реактивность реактора, %;

U_p – номинальное напряжение реактора, кВ;

I_p – номинальный ток реактора, А.

36. Индуктивное сопротивление энергосистемы (X_c), приведенное к расчетному напряжению сети при глубоком вводе 35/6 кВ (35/10 кВ), определяется также по формуле:

$$X_c = \frac{U^2}{S_c^{(3)}}, \quad (70)$$

где:

U – напряжение распределительной сети шахты, принимаемое равным 6,3 или 10,5 кВ;

$S_c^{(3)}$ – мощность трехфазного КЗ энергосистемы (МВ·А), принимается по данным энергоснабжающей организации.

37. Для расчета $I_{\text{кз}}^{(3)}$ значение $L_{\text{в.мин}}$ принимают минимальным исходя из наименьшего удаления ПУПП от РПП-6, предусмотренного схемой подготовки выемочного или проходческого участка.

38. Расчетный минимальный ток двухфазного КЗ для любой точки сети $I_{к.з.min}^{(2)}$ (А) определяется по формуле:

$$I_{к.з.min}^{(2)} = \frac{0,95U_{нн}K_{от}}{\sqrt{R_{(2)к.з.}^2 + X_{(2)к.з.}^2}}, \quad (71)$$

где:

$R_{(2)к.з.}, X_{(2)к.з.}$ – соответственно активное и индуктивное сопротивление цепи двухфазного КЗ, Ом.

Значения $R_{(2)к.з.}$ и $X_{(2)к.з.}$ определяются по формулам:

$$R_{(2)к.з.} = \left(R + 0,423 \frac{50L_B}{F_B} \right) \left(\frac{K_{от}}{K_T} \right)^2 + 0,423 \sum_1^n \left(\frac{50L_i}{F_i} \right), \quad (72)$$

$$X_{(2)к.з.} = (X + 0,08L_B) \left(\frac{K_{от}}{K_T} \right)^2 + X_{тр} + \sum_1^n x_{ki} L_i, \quad (73)$$

где:

F_B, L_B – соответственно сечение основных (силовых) жил (мм^2) и длина (км) кабеля на напряжение 6 кВ от РПП-6 до ПУШ (для расчета $I_{(2)к.з.}$ значение L_B принимается исходя из фактического удаления ПУШ от РПП-6 в соответствии технологической схемой ведения горных работ на выемочном или проходческом участке);

0,423 – активное сопротивление основной жилы 1 км кабеля с номинальным сечением 50 мм^2 , пересчитанное для температуры нагрева 65°C, Ом/км.

39. При двухфазном коротком замыкании на зажимах вторичной обмотки силового понижающего трансформатора, первичная обмотка которого подключена к сети напряжением 3300 В, расчетный минимальный ток КЗ в сети 3300 В $I_{к.з.min}^{(2)}$ (А), определяется по формуле:

$$I_{к.з.min}^{(2)} = \frac{0,95U_{нн}K_{от}}{\sqrt{R_{(2)к.з.т}^2 + X_{(2)к.з.т}^2}}, \quad (74)$$

где:

$R_{(2)к.з.т}$, $X_{(2)к.з.т}$ – соответственно активное и индуктивное сопротивление цепи двухфазного КЗ в сети 3300 В при двухфазном коротком замыкании на зажимах вторичной обмотки этого трансформатора, Ом.

Значения $R_{(2)к.з.т}$ и $X_{(2)к.з.т}$ определяются по формулам:

$$R_{(2)к.з.т} = R_{(2)к.з.} + R_{т.п.}, \quad (75)$$

$$X_{(2)к.з.т} = X_{(2)к.з.} + X_{т.п.}, \quad (76)$$

где:

$R_{(2)к.з.}$, $X_{(2)к.з.}$ – соответственно активное и индуктивное сопротивление цепи двухфазного КЗ в сети 3300 В до зажимов первичной обмотки силового понижающего трансформатора (Ом), определяемое по формулам (72) и (73);

$R_{т.п.}$, $X_{т.п.}$ – соответственно активное и индуктивное сопротивление этого трансформатора, приведенное к первичной обмотке, Ом.

Значения $R_{т.п.}$ и $X_{т.п.}$ определяются по формулам:

$$R_{тп} = \frac{P_{к.з.т.п.} U_{вн.т.п.}^2}{S_{ном.т.п.}^2}; \quad (77)$$

$$X_{тп} = \sqrt{Z_{тп}^2 - R_{тп}^2}; \quad (78)$$

$$Z_{тп} = \frac{10 U_{вн.т.п.}^2 u_{к.з.т.п.}}{S_{ном.т.п.}^2}, \quad (79)$$

где:

$P_{к.з.т.п.}$, $U_{вн.т.п.}$, $u_{к.з.т.п.}$ – соответственно потери КЗ (Вт), номинальное напряжение на стороне ВН (кВ) ($U_{вн.тп}=3,3$ кВ.) и напряжение КЗ (%) трансформатора номинальной мощностью $S_{ном.т.п.}$, кВ·А.

Значения $P_{к.з.т.п.}$, $u_{к.з.тп}$ и должны быть указаны в руководстве по эксплуатации комбайна, на котором установлен трансформатор.

ХII. ВЫБОР И ПРОВЕРКА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АППАРАТОВ И КАБЕЛЕЙ ПО РЕЖИМУ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ

40. Выбор электрических аппаратов и кабелей на напряжение 3300 В производится по номинальному напряжению и рабочему току цепи без учета токов кратковременных перегрузок, а их проверка – по режиму короткого замыкания.

41. Проверка электрических аппаратов на коммутационную способность в целях обеспечения надежного отключения максимальных токов короткого замыкания, которые могут возникнуть в защищаемом присоединении, производится исходя из условия:

$$I_0 \geq 1,2 \cdot I_{к.з.мах}^{(3)}, \quad (80)$$

где:

I_0 – предельно отключаемый ток защитного аппарата, А;

$I_{к.з.мах}^{(3)}$ – расчетный максимальный ток трехфазного КЗ на выходе этого аппарата (А), определяемый по формуле (61).

Отключение максимальных токов короткого замыкания на выходе контакторов на напряжение 3300 В, установленных на комбайне, для которых условие (80) не выполняется, должно осуществляться выключателем (контактором) в распреустройстве низкого напряжения ПУПП (комплектном устройстве (станции) управления).

42. Ток нагрузки высоковольтного кабеля, питающего несколько ПУПП ($I_{кв}$), определяется по формуле:

$$I_{кв} = \sum_1^n \beta_i I_{н.пуппi}, \quad (81)$$

где:

β_i – коэффициент загрузки трансформатора i -й ПУПП;

$I_{н.пуппi}$ – номинальный ток на стороне высокого напряжения трансформатора i -й ПУПП, А;

n – количество ПУПП.

43. Проверка кабелей по термической стойкости в целях обеспечения пожаробезопасности кабелей при дуговых коротких замыканиях в подземных выработках посредством выбранных защитных аппаратов с заданным быстродействием отключения максимальных токов трехфазного КЗ производится исходя из условия:

$$I_{пр} \geq 1,2 I_{к.з.}^{(3)}, \quad (82)$$

где:

$I_{\text{пр}}$ – предельно допустимый кратковременный ток КЗ в кабеле, А;

$I_{\text{к.з.мах}}^{(3)}$ – расчетный максимальный ток трехфазного КЗ в начале проверяемого кабеля (на выводе аппарата) (А), определяемый по формуле (61).

Значение тока $I_{\text{пр}}$ определяется по формуле:

$$I_{\text{пр}} = \frac{cF}{\sqrt{t_n}}, \quad (83)$$

где:

c – коэффициент, учитывающий конечную температуру нагрева жил кабеля при коротком замыкании, $\text{А} \cdot \text{с}^{1/2} \cdot \text{мм}^{-2}$;

F – принятое сечение основной (силовой) жилы кабеля, мм^2 ;

t_n – приведенное время отключения короткого замыкания, с.

Значение коэффициента c для кабелей с резиновой изоляцией принимают равным 105–143 (соответственно при допустимых температурах нагрева жил: длительной – 75–90 °С и кратковременной – 150–250 °С), для кабелей с поливинилхлоридной (ПВХ) изоляцией – $115 \text{ А} \cdot \text{с}^{1/2} \cdot \text{мм}^{-2}$.

44. Для выключателей напряжением 3300 В, установленных в распредустройстве низкого напряжения ПУШ, и контакторов на это напряжение, установленных в комплектных устройствах (станциях) управления (магнитных станциях, пускателях, многоконтакторных центрах) (далее – комплектные устройства (станции) управления) с защитой от токов короткого замыкания, время t_n определяется по формуле:

$$t_n = t_{\text{отк}}, \quad (84)$$

где:

$t_{\text{отк}}$ – время отключения токов короткого замыкания, включая время действия основной защиты, установленной у ближайшего к месту КЗ выключателя (контактора), и полное время отключения этого выключателя (контактора) с учетом времени горения дуги, с.

45. Значение времени $t_{отк}$ указывается в руководстве по эксплуатации (техническом описании) ПУПП, комплектных устройств (станций) управления напряжением 3300 В, а при их отсутствии – принимают равным 0,2 с.

46. Кабели на напряжение 3300 В при их присоединении к ПУПП мощностью 1250-2000 кВ·А с временем отключения защитой от токов короткого замыкания не более 0,2 с удовлетворяют требованиям по термической стойкости, если сечение их основных (силовых) жил принято не меньше чем 25 мм².

ХIII. ВЫБОР И ПРОВЕРКА УСТАВОК ТОКА СРАБАТЫВАНИЯ РЕЛЕ ЗАЩИТЫ ОТ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ

47. Величина уставки тока срабатывания защиты от токов короткого замыкания для токовых реле мгновенного действия (без выдержки времени) определяется исходя из следующих условий:

для токовых реле, у которых значения тока уставки проградуированы на шкале или устанавливаются на электронном индикаторе (экране дисплея) по первичному току срабатывания защиты (I_y):

$$I_y \geq I_{p.max} , \quad (85)$$

где:

$I_{p.max}$ – максимальный рабочий ток защищаемого присоединения, А;

для токовых защит, у которых значения тока уставки проградуированы на шкале по собственному току срабатывания реле (I_{y2}) (вторичному току):

$$I_y = k_{т.т.} I_{y2} , \quad (86)$$

$$I_{y2} \geq \frac{k_n I_{p.max}}{k_{т.т.}} , \quad (87)$$

где:

$k_{т.т.}$ – коэффициент трансформации трансформаторов тока;

k_n – коэффициент надежности защиты, принимается равным 1,2;

для токовых защит, у которых на шкале проградуированы значения кратности тока отсечки (k_o) реле защиты от токов КЗ по отношению к уставке защиты от перегрузки (по первичному току) ($I_{y.п.}$):

$$I_y = k_o I_{y.п.} \geq I_{p.max} \cdot \quad (88)$$

Если значения тока уставки от перегрузки устанавливаются по шкале с учетом поправочных коэффициентов в зависимости от номинального тока трансформаторов тока, к которым подключены токовые защиты ($I_{y.п.шк.}$), значения $I_{y.п.}$ определяются по формуле:

$$I_{y.п.} = k_{шк} k_{попр.} I_{y.п.шк.} \cdot \quad (89)$$

где:

$$k_{шк} = \frac{I_{т.т.}}{I_{т.т.норм.}} \cdot \quad (90)$$

$I_{т.т.}$ — номинальный ток трансформатора тока, к которому подключены защиты от токов КЗ и перегрузки, А;

$I_{т.т.норм.}$ — номинальный ток трансформатора тока, по которому проградуирована шкала значений тока срабатывания реле защиты от перегрузки, А;

$k_{попр.}$ — поправочный коэффициент масштабности.

48. Уставки от перегрузки $I_{y.п.шк.}$ с учетом поправочных коэффициентов $k_{шк}$ и $k_{попр.}$ выставляются по шкале реле защиты от перегрузки в соответствии с руководством по эксплуатации.

Для защиты присоединений к ПУПП, которые питают выемочный комбайн и лавный скребковый конвейер напряжением 3300 В, значения тока $I_{p.max}$ определяются по формулам:

$$I_{p.max} = I_{ком.пуск} + \sum I_{раб.ном} \cdot \quad (91)$$

или при

$$\begin{aligned} \sum I_{скр.пуск} &> I_{ком.пуск} : \\ I_{p.max} &= \sum I_{скр.пуск} + \sum I_{раб.ном} ; \end{aligned} \quad (92)$$

где:

$I_{ком.пуск}$ — начальный пусковой ток одного из электродвигателей исполнительных органов выемочного комбайна при раздельном пуске этих двигателей, А;

$\sum I_{\text{раб.ном}}$ – сумма номинальных токов всех остальных работающих электроприемников (электродвигателей), подключенных к тому же присоединению, что и выемочный комбайн или лавный конвейер, А;

$\sum I_{\text{скр.пуск}}$ – сумма начальных пусковых токов одновременно включаемых электродвигателей скребкового лавного конвейера, подключенных к данному присоединению, А.

49. При раздельном пуске электродвигателей скребкового лавного конвейера значения тока $I_{\text{р.мах}}$, определяются по формуле (92), если $I_{\text{скр.пуск}} > I_{\text{ком.пуск}}$.
(93)

50. Для ПУШ с одним выключателем на два присоединения принимается большее из значений $I_{\text{ком.пуск}}$, рассчитанное по формулам (91) или (92). Для ПУШ с двумя выключателями значения $I_{\text{ком.пуск}}$ определяются по формулам (91) или (92) для каждого присоединения.

51. Если от ПУШ получает питание только выемочный комбайн или только лавный скребковый конвейер, значения $I_{\text{р.мах}}$, определяются по формулам:

$$I_{\text{р.мах}} = I_{\text{ком.пуск}} ; \quad (93)$$

или

$$I_{\text{р.мах}} = \sum I_{\text{скр.пуск}} . \quad (94)$$

52. При раздельном пуске электродвигателей лавного скребкового конвейера значения $I_{\text{р.мах}}$ определяются по формуле:

$$I_{\text{р.мах}} = I_{\text{скр.пуск}} + \sum I_{\text{раб.ном}} . \quad (95)$$

При одновременном включении нескольких электродвигателей скребкового конвейера, сумма начальных пусковых токов которых превышает 1000 А, допускается при определении тока $I_{\text{р.мах}}$ по формулам (92) или (94) в расчет принимать сумму их фактических пусковых токов.

53. Выбранная уставка тока срабатывания реле проверяется по минимальному току двухфазного КЗ в защищаемом присоединении. При этом отношение (кратность) расчетного минимального тока двухфазного КЗ к уставке тока срабатывания реле должно удовлетворять условию:

$$\frac{I_{к.з.min}^{(2)}}{I_y} \geq k_{\text{ч}}, \quad (96)$$

где:

$k_{\text{ч}}$ – коэффициент чувствительности защиты.

54. Выбор тока срабатывания реле защиты с ограниченно зависимой от тока выдержкой времени и токовой отсечкой мгновенного действия, у которых значения тока уставки от перегрузки проградуированы на шкале по первичному току срабатывания защиты от перегрузки $I_{y.п.}$, производится исходя из условий (97), (98) и проверяется по формуле (96):

$$I_y = k_0 I_{y.п.} \geq I_{p.max}, \quad (97)$$

$$I_{y.п.} \geq \frac{k_n I_p}{100}, \quad (98)$$

где:

k_0 – кратность тока отсечки реле защиты;

$I_{y.п.}$ – уставка тока срабатывания реле защиты от перегрузки по первичному току, А;

k_n – принятая кратность тока перегрузки (%) относительно рабочего тока электроприемников I_p в защищаемом присоединении, А.

Значение рабочего тока I_p определяется как:

$$I_p \leq \sum I_{\text{ном}}, \quad (99)$$

где:

$\sum I_{\text{ном}}$ – сумма номинальных токов электроприемников (электродвигателей), подключенных к защищаемому присоединению, А.

55. Числовые значения кратности тока отсечки (дискретные или в % от тока уставки $I_{y.п.}$) указываются в руководстве по эксплуатации ПУШ, комплектных устройств (станций) управления или приводятся в технической характеристике аппарата защиты. Для фазочувствительных реле, различающих ток короткого замыкания и пусковой ток наибольшего по мощности электродвигателя, кратность тока отсечки k_0 следует принимать не менее 2.

56. Значение тока уставки защиты от токов короткого замыкания I_y указывается на схеме электроснабжения участка в условном обозначении ПУПП, комплектного устройства (станции) управления, а также обозначается четкой надписью на самих ПУПП и коммутационных аппаратах.

57. При изменении параметров схемы электроснабжения участка (увеличении длины, уменьшении или увеличении сечения кабелей, питающих РПП-6, РП-3300 или электродвигатели забойных машин) принятое значение тока уставки проверяется по формуле (96).

XIV. ВЫБОР И ПРОВЕРКА УСТАВОК ТОКА СРАБАТЫВАНИЯ РЕЛЕ МАКСИМАЛЬНОГО ТОКА И ПЛАВКИХ ВСТАВОК ПРЕДОХРАНИТЕЛЕЙ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ТРАНСФОРМАТОРОВ, УСТАНОВЛЕННЫХ НА КОМБАЙНАХ

58. Защита вторичной обмотки (обмоток) силового понижающего трансформатора и участка цепи от зажимов этой обмотки до подключенного к ним защитного аппарата (выключателя) от минимальных токов короткого замыкания должна осуществляться аппаратом защиты, установленным со стороны первичной обмотки этого трансформатора. Защита этого трансформатора и указанного участка цепи напряжением до 1200 В осуществляется реле максимального тока или предохранителями.

59. Выбор и проверка уставок тока срабатывания реле максимального тока производится по формулам:

$$I_y \geq I_{\text{вн.т.п.}} + \frac{I_{\text{пуск}}}{k_{\text{т.п.}}}, \quad (100)$$

$$\frac{I_{\text{кз.мах}}^{(2)}}{I_y} \geq 1,5, \quad (101)$$

где:

I_y – уставка реле максимального тока (А), указывается в руководстве по эксплуатации комбайна;

$I_{\text{вн.т.п.}}$ – номинальный ток на стороне первичной обмотки силового понижающего трансформатора, А;

$I_{\text{пуск}}$ – начальный пусковой ток наиболее мощного электродвигателя с короткозамкнутым ротором, присоединенного к вторичной обмотке этого трансформатора, А;

$k_{\text{т.п.}}$ – коэффициент трансформации:

$$k_{\text{т.п.}} = \frac{U_{\text{вн.т.п.}}}{U_{\text{вн.т.п.}}} ; \quad (102)$$

$U_{\text{вн.т.п.}}$, $U_{\text{вн.т.п.}}$ – соответственно номинальное высокое и низкое напряжение трансформатора, кВ; $U_{\text{вн.т.п.}} = 3,3$ кВ;

$I_{\text{к.з.}min}^{(2)}$ – расчетный минимальный ток двухфазного КЗ на вторичной обмотке трансформатора, приведенного к первичной стороне (А), определяется по формуле (74).

60. При отсутствии каталожных (справочных) значения $I_{\text{вн.т.п.}}$ и $I_{\text{пуск}}$ определяются по формулам:

для трансформатора номинальной мощностью $S_{\text{ном.т.п.}}$ (кВ·А):

$$I_{\text{вн.т.п.}} = \frac{S_{\text{ном.т.п.}}}{\sqrt{3}U_{\text{вн.т.п.}}} ; \quad (103)$$

для электродвигателя с короткозамкнутым ротором:

$$I_{\text{пуск}} = 6,5I_{\text{ном}} , \quad (104)$$

где:

6,5 – кратность пускового тока;

$I_{\text{ном}}$ – номинальный ток электродвигателя, А.

61. Номинальный ток плавкой вставки предохранителей, установленных со стороны первичной обмотки силовых понижающих трансформаторов для защиты вторичной обмотки (обмоток) от минимальных токов двухфазного КЗ, определяют исходя из условия:

$$I_{\text{в}} \geq I_{\text{вн.т.п.}} + \frac{I_{\text{пуск}}}{2,5k_{\text{т.п.}}} , \quad (105)$$

где:

$I_{\text{в}}$ – номинальный ток плавкой вставки, А;

2,5 – коэффициент, обеспечивающий неперегорание плавкой вставки при редких пусках и быстром разворачивании электродвигателей с короткозамкнутым ротором.

Для установки принимается плавкая вставка со значением ее номинального тока, ближайшим к расчетному, которая указывается на электрической схеме или в руководстве по эксплуатации выемочного комбайна.

62. Отношение (кратность) расчетного минимального тока двухфазного короткого замыкания на вторичной обмотке (обмотках) трансформатора, приведенного к первичной стороне, к номинальному току плавкой вставки должно удовлетворять условию:

$$\frac{I_{к.з.мин}^{(2)}}{I_B} \geq 7, \quad (106)$$

где:

$I_{к.з.мин}^{(2)}$ – ток, который определяется по формуле (74).

XV. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ КОНТАКТЫ В ЦЕПЯХ ЗАЗЕМЛЕНИЯ И МЕХАНИЧЕСКАЯ ПРОЧНОСТЬ ЗАЗЕМЛЯЮЩЕЙ ПРОВОДКИ

63. Рекомендуемая схема общего заземляющего устройства шахты приведена на рисунке 1.

Присоединение заземляющих проводников к заземлителям осуществляют сваркой, выполняемой на поверхности.

64. Присоединение заземляющих проводников к корпусам машин и аппаратов и к различным конструкциям, которые в процессе эксплуатации подвергаются перемещению или замене, выполняют с помощью специальных заземляющих зажимов (болтов, шпилек), предусмотренных для этой цели на корпусах электрооборудования и конструкциях.

Рекомендуемый образец журнала регистрации состояния электрооборудования и заземления приведен в приложении № 1.

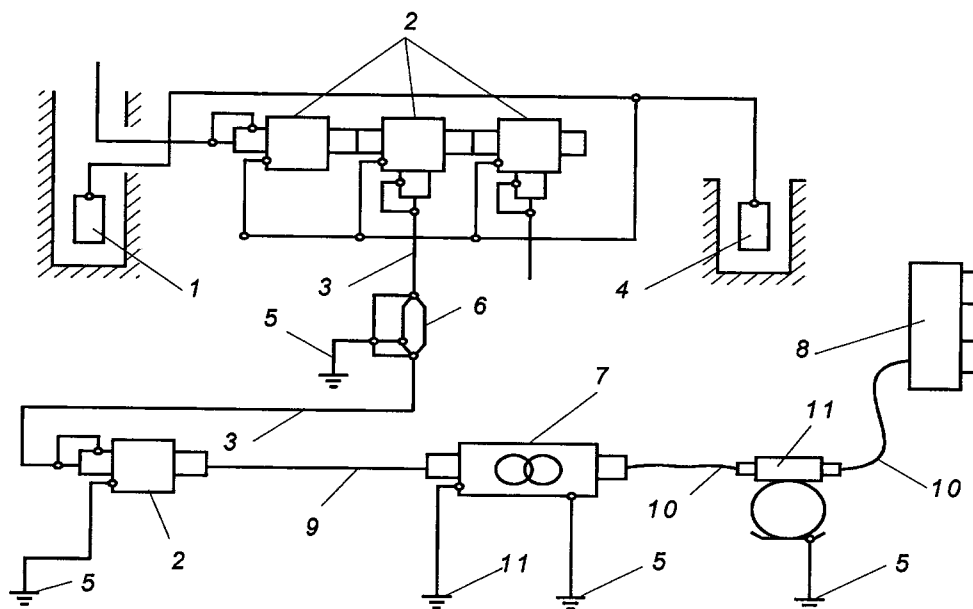


Рисунок 1. Схема общего заземляющего устройства шахты:

1 – главный заземлитель в водосборнике; 2 – комплектные распределительные устройства КРУ; 3 – бронированный кабель со свинцовой оболочкой; 4 – дополнительный заземлитель; 5 – местные заземлители; 6 – кабельная муфта; 7 – трансформаторная подстанция; 8 – комбайн; 9 – кабель бронированный с заземляющей жилой; 10 – главный заземлитель в зумпфе (жилой); 11 – магнитный пускатель; 12 – дополнительный заземлитель (ДЗ)

65. Присоединение заземляющих проводников к заземляющей шине осуществляется сваркой (если позволяют условия) или с помощью болтового соединения (рисунки 2 и 3), или другими равноценными способами. Пример соединения двух отрезков заземляющих тросов показан на рисунке 4.

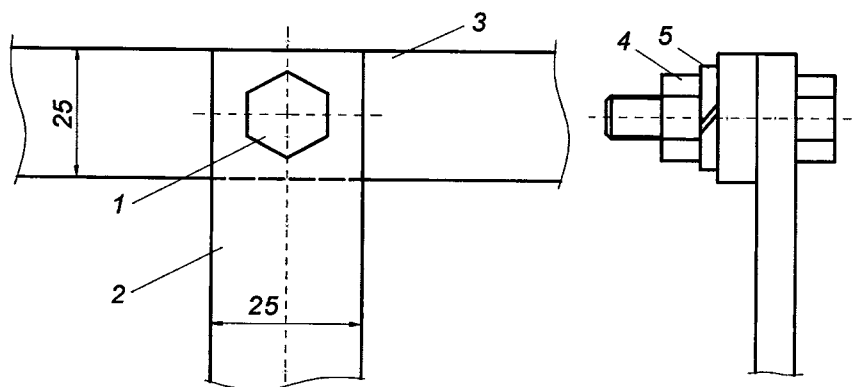


Рисунок 2. Схема присоединения заземляющего проводника из полосовой стали к заземляющему контуру или сборной заземляющей шине: 1 – болт; 2 – заземляющий проводник; 3 – контур или сборная шина; 4 – гайка; 5 – шайба

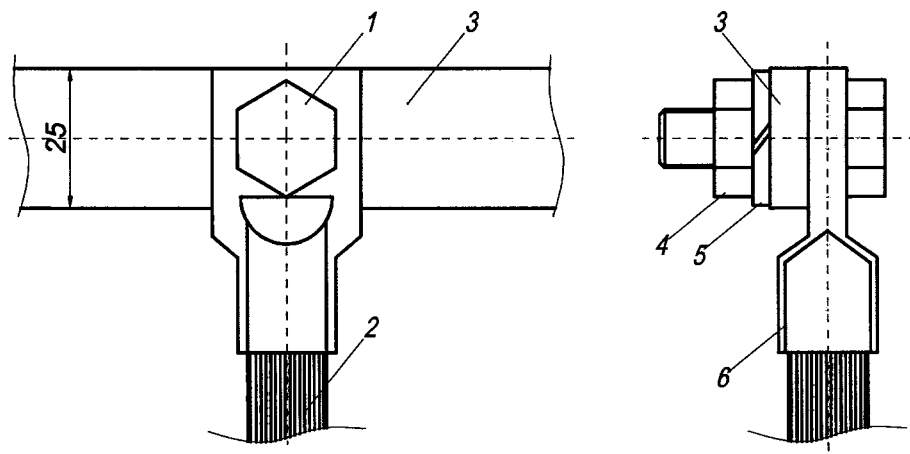


Рисунок 3. Схема присоединения заземляющего проводника из троса к заземляющему контуру или сборной заземляющей шине: 1 – болт; 2 – трос; 3 – контур или сборная шина; 4 – гайка; 5 – шайба; 6 – наконечник

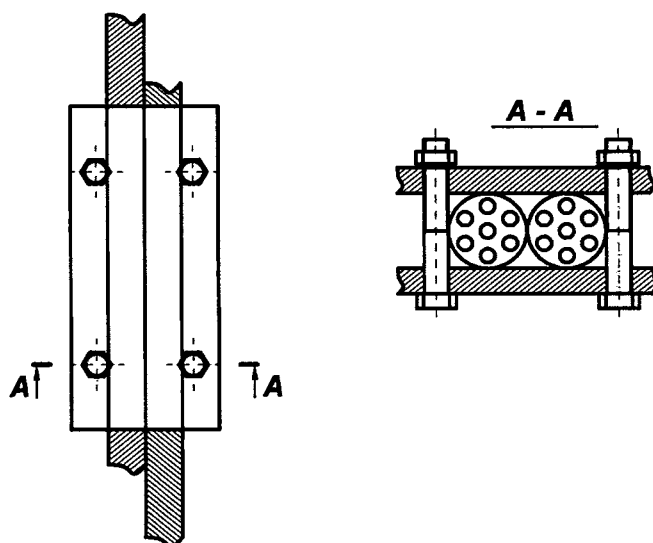


Рисунок 4. Схема соединения двух отрезков заземляющих тросов

66. В машинных камерах и прочих выработках с бетонной крепью заземляющие контуры и проводники поддерживаются специальными штырями или скобами (рисунок 5).

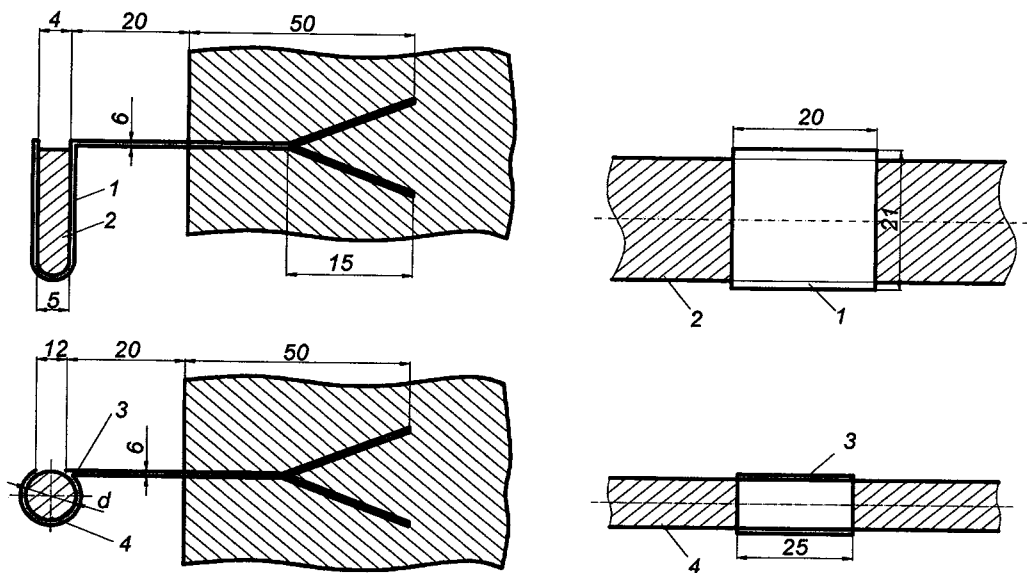


Рисунок 5. Схема крепления заземляющих проводников в камере с бетонной крепью: 1 – штырь для крепления плоских шин; 2 – шина; 3 – штырь для крепления троса; 4 – трос

67. В выработках с деревянной крепью заземляющие проводники укрепляют стальными скобами (рисунок 6).

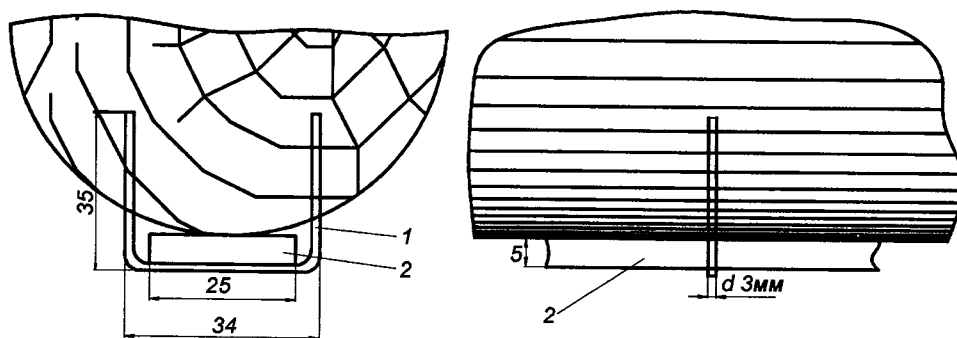


Рисунок 6. Схема крепления заземляющих проводников в выработке с деревянной крепью: 1 – стальная скоба; 2 – заземляющий проводник

XVI. СПОСОБЫ ВЫПОЛНЕНИЯ МЕСТНОГО ЗАЗЕМЛЕНИЯ

68. Монтаж искусственных местных заземлителей в сточных канавах производят стальными полосами площадью не менее $0,6 \text{ м}^2$, толщиной не менее 3 мм и длиной не менее 2,5 м.

69. Заземлитель укладывают в горизонтальном положении в углубленном месте сточной канавы на «подушку» толщиной не менее 50 мм из песка или мелких

кусков породы и сверху засыпают слоем в 150 мм из такого же материала (рисунок 7).

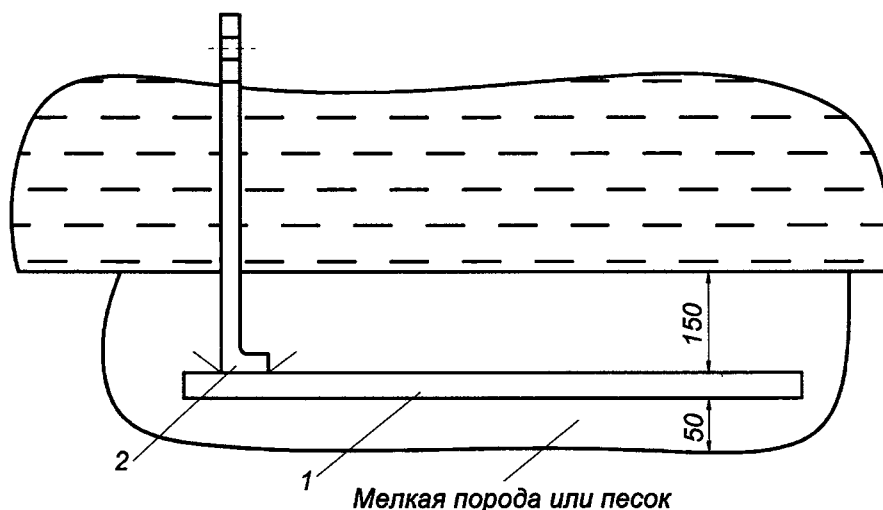


Рисунок 7. Схема расположения заземлителей в сточной канаве:
1 – заземлитель; 2 – заземляющий проводник

70. Для заземлителей в выработках, в которых нет сточной канавы, применяют стальные трубы диаметром не менее 30 мм и длиной не менее 1,5 м. Стенки труб имеют на разной высоте не менее 20 отверстий диаметром не менее 5 мм.

Трубу помещают в шпур, пробуренный вертикально или под углом до 30° от вертикальной оси на глубину не менее 1,4 м (рисунок 8).

При необходимости устраивают несколько заземлителей.

Трубу, а также пространство между наружной стенкой трубы и стенкой шпура заполняют гигроскопичным материалом (песком, золой), периодически увлажняемым.

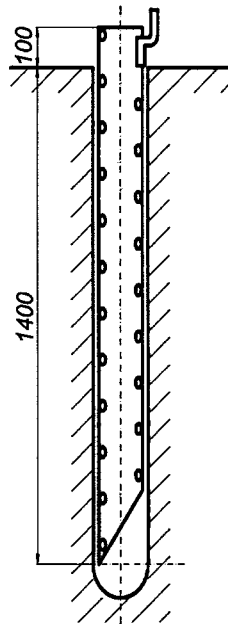


Рисунок 8. Схема расположения заземлителя в шпуре

71. В качестве естественного местного заземления используют анкерную или рамную металлокрепь подземных выработок.

Цепь заземления, собранная из анкерной крепи в качестве местного заземлителя, по длине выработки на протяжении не менее 10 м не должна иметь видимых разрывов, а металлические подхваты и решетка должны быть плотно прижаты к горным породам. Для заземления используют анкерную крепь, установленную как в кровле, так и в бортах выработок. Запрещается выполнять заземлитель из отдельных анкеров, не связанных между собой металлической решеткой.

Перед использованием анкерной крепи для устройства заземлителя подтягивают болтовое соединение так, чтобы металлический верхняк плотно прижимал затяжку к кровле.

Присоединение заземляемого объекта или шины заземления к анкеру производят с помощью заземляющих проводников из стали или меди сечением не менее соответственно 50 и 25 мм² (рисунок 9).

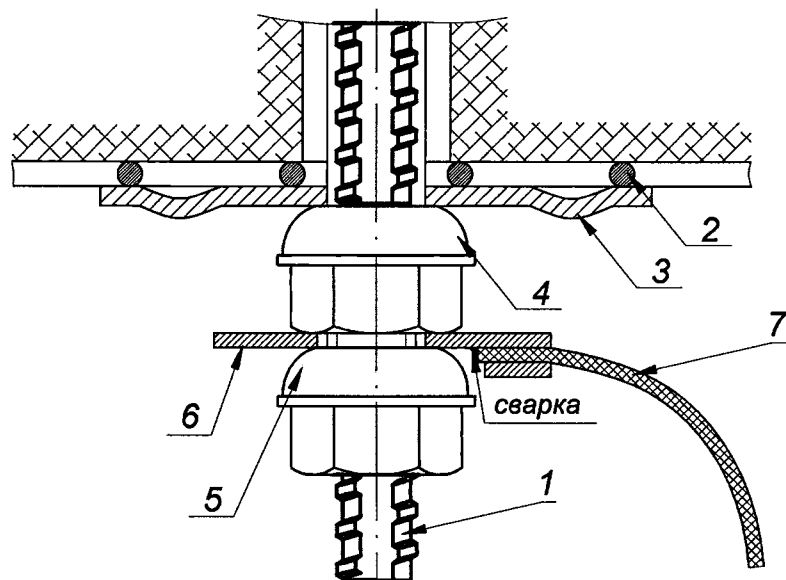


Рисунок 9. Пример присоединения заземляющего проводника к анкерной крепи:
 1 – анкер; 2 – металлическая сварная решетка из проволоки; 3 – металлический верхняк; 4 – натяжная гайка; 5 – дополнительная гайка; 6 – стальной наконечник;
 7 – заземляющий проводник

Заземляющие проводники выполняют из стального троса, на концах которого на поверхности шахты приваривают стальные наконечники. В местах стационарной установки электрооборудования в качестве заземляющих проводников между анкерами используют специально изготовленные стяжки из уголков или полосы.

Заземляющие проводники между анкерами располагают так, чтобы ими не воспринимались усилия в случае деформации крепи под воздействием давления горных пород и не загромождались проходы для людей и транспортных средств.

72. Рамы металлокрепи, используемые в качестве местных заземлений, укомплектовывают крепежными и распорными элементами. Запрещается нарушать конструкцию металлокрепи (снимать зажимы, распорные элементы, рамы, скобы, хомуты и т.д.), а также использовать рамы крепи, подлежащие замене или демонтажу.

Используемая для этой цели рамная крепь имеет не менее 3-х секций. Заземляющий проводник присоединяют с помощью дополнительной гайки к скобе, закрепляющей звенья рамной металлокрепи (рисунок 10).

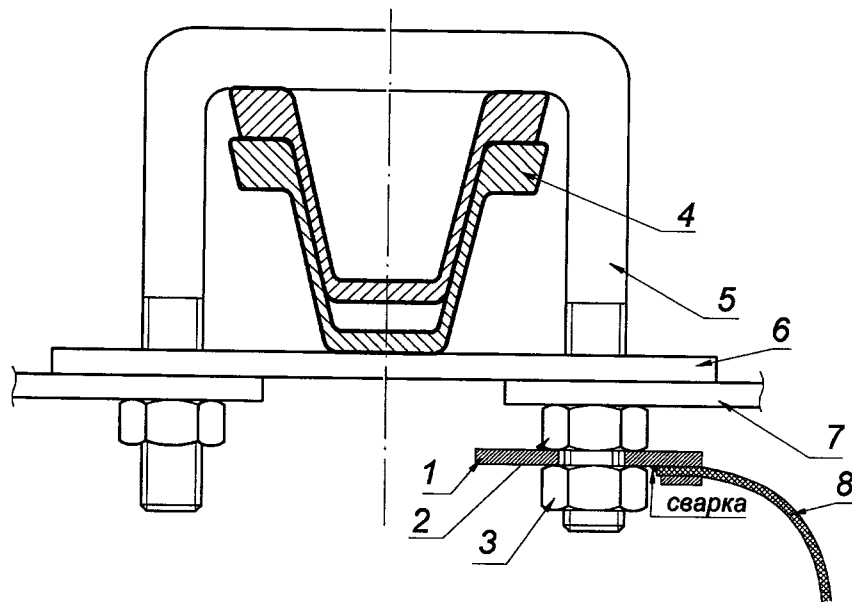


Рисунок 10. Пример присоединения заземляющего проводника к металлической рамной крепи: 1 – стальной наконечник; 2 – гайка; 3 – дополнительная гайка; 4 – специальный взаимозаменяемый профиль (СВП); 5 – скоба; 6 – планка; 7 – межрамная стяжка; 8 – заземляющий проводник

Перед использованием рам металлокрепи для устройства заземлителя обтягиваются резьбовые соединения крепежных элементов не менее 3-х секций, прилегающих к месту заземления электрооборудования (рисунок 11). Подготовку рам металлокрепи осуществляют лица электротехнического персонала, прошедшие специальный инструктаж по правилам выполнения таких работ, или горнорабочие по ремонту горных выработок.

73. Для дополнительного заземления аппаратов защиты от токов утечки используют в качестве заземлителя одну секцию рамной или анкерной металлокрепи, выбранную на удалении не менее 5 м от рам, используемых в качестве защитного заземления, или отдельный искусственный заземлитель (рисунок 12).

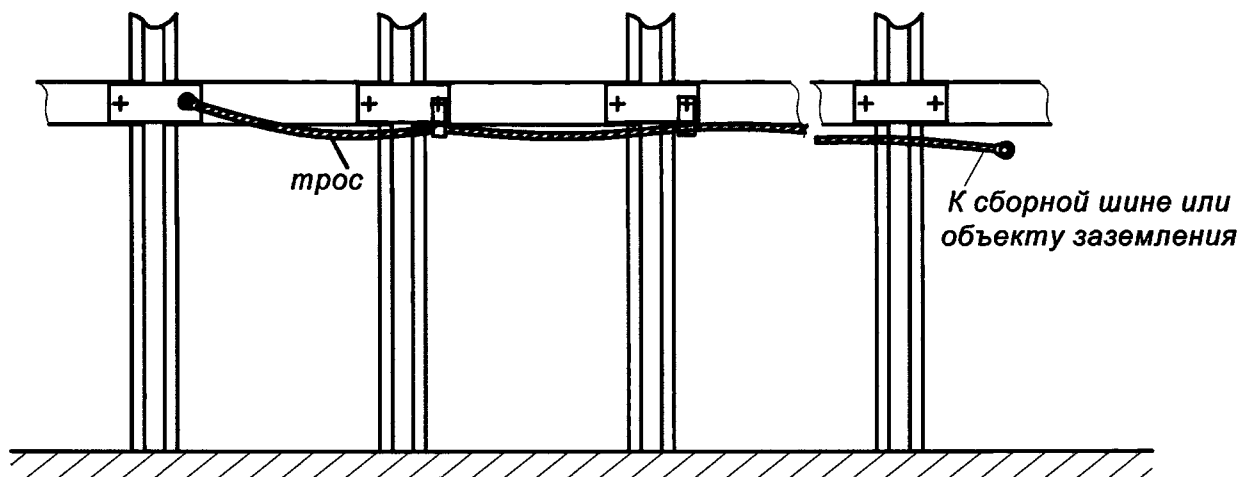


Рисунок 11. Устройства местного заземлителя с помощью рамной крепи

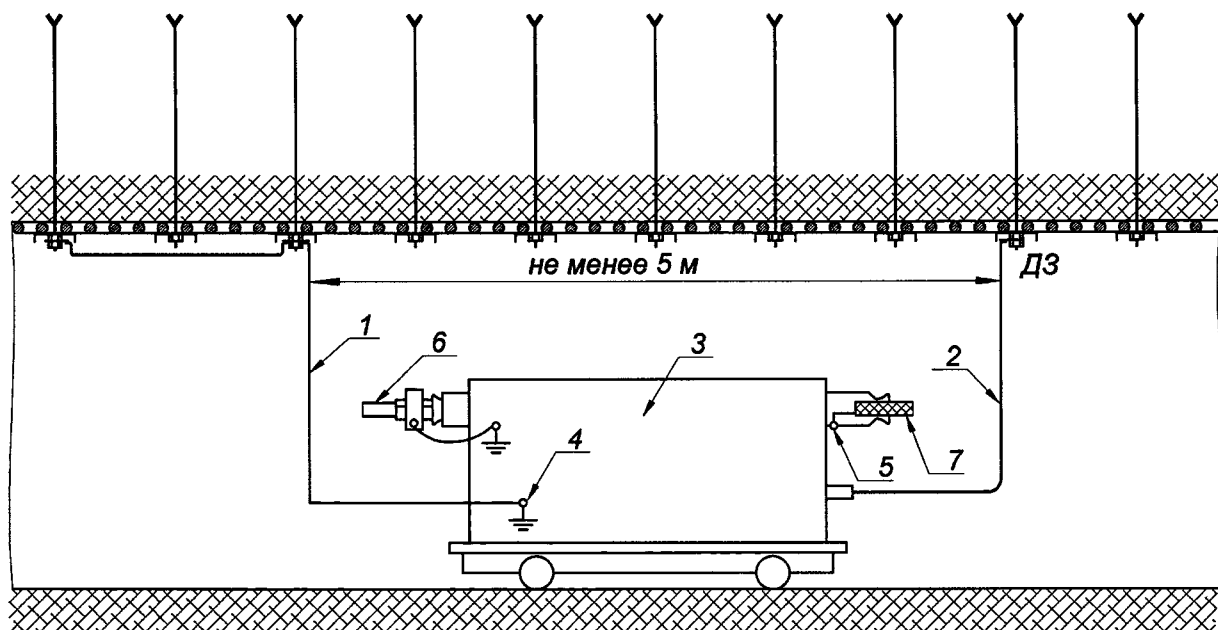


Рисунок 12. Устройства местного заземлителя с помощью анкерной крепи:
 1 – заземляющий проводник; 2 – изолированный проводник дополнительного заземления; 3 – передвижная трансформаторная подстанция; 4 – наружный заземляющий зажим; 5 – внутренний заземляющий зажим; 6 – бронированный кабель; 7 – гибкий кабель

74. При выполнении ремонтных работ на металлокрепи, используемой для заземления, элементы заземления присоединяют к другим рамам, на которых ремонтные работы не ведутся. Работы по перекреплению выработок в местах установки электрооборудования согласовывают с техническим руководителем шахты.

XVII. УСТРОЙСТВО ЗАЗЕМЛЕНИЯ КАБЕЛЕЙ И КАБЕЛЬНОЙ АРМАТУРЫ

75. В кабеле с бумажной изоляцией в качестве заземляющего проводника используются свинцовая оболочка и броня. При заделке данного кабеля в вводное устройство рудничного электрооборудования броню присоединяют к внешнему заземляющему зажиму, а свинцовую оболочку – к внутреннему (рисунок 13).

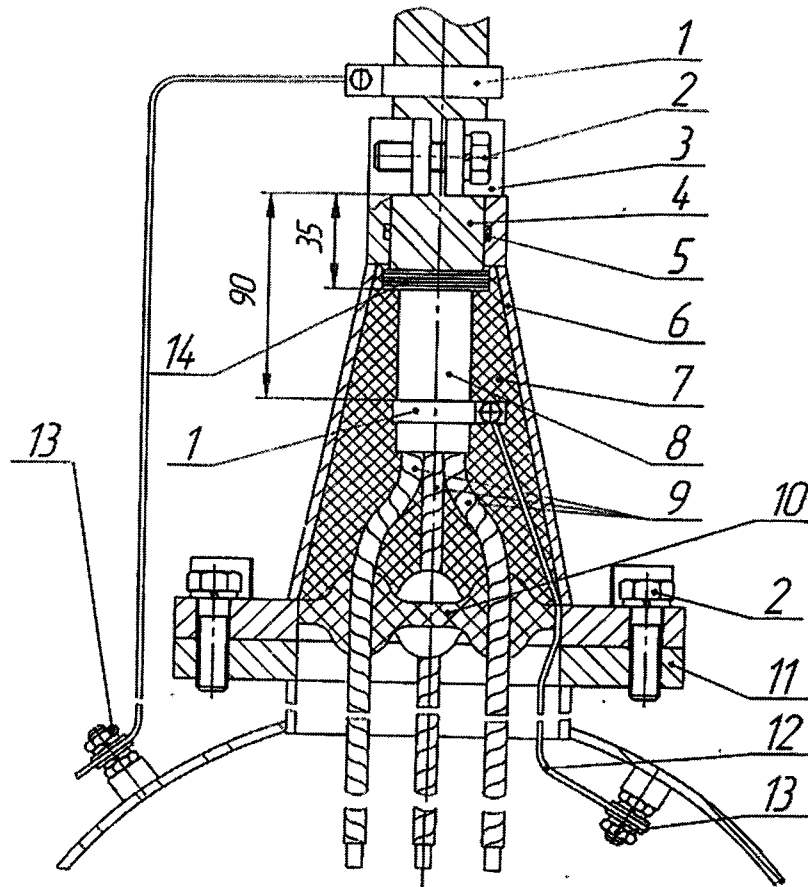


Рисунок 13. Заземление бронированного кабеля с бумажной изоляцией в вводном устройстве рудничного электрооборудования с заливкой кабельной мастикой:

- 1 – заземляющий хомут с зажимом; 2 – болты; 3 – зажим; 4 – стальная броня;
- 5 – кольцо уплотнительное; 6 – муфта; 7 – мастика; 8 – свинцовая оболочка;
- 9 – изоляция жилы; 10 – изоляционный диск; 11 – фланец вводной коробки;
- 12 – корпус вводной коробки; 13 – заземляющие зажимы; 14 – бандаж

76. Бронированные кабели с пластмассовой и резиновой изоляцией имеют заземляющую жилу, которую присоединяют к внутреннему заземляющему зажиму вводного устройства. При этом хомут на броне соединяется проводником с внутренним заземляющим зажимом (рисунок 14).

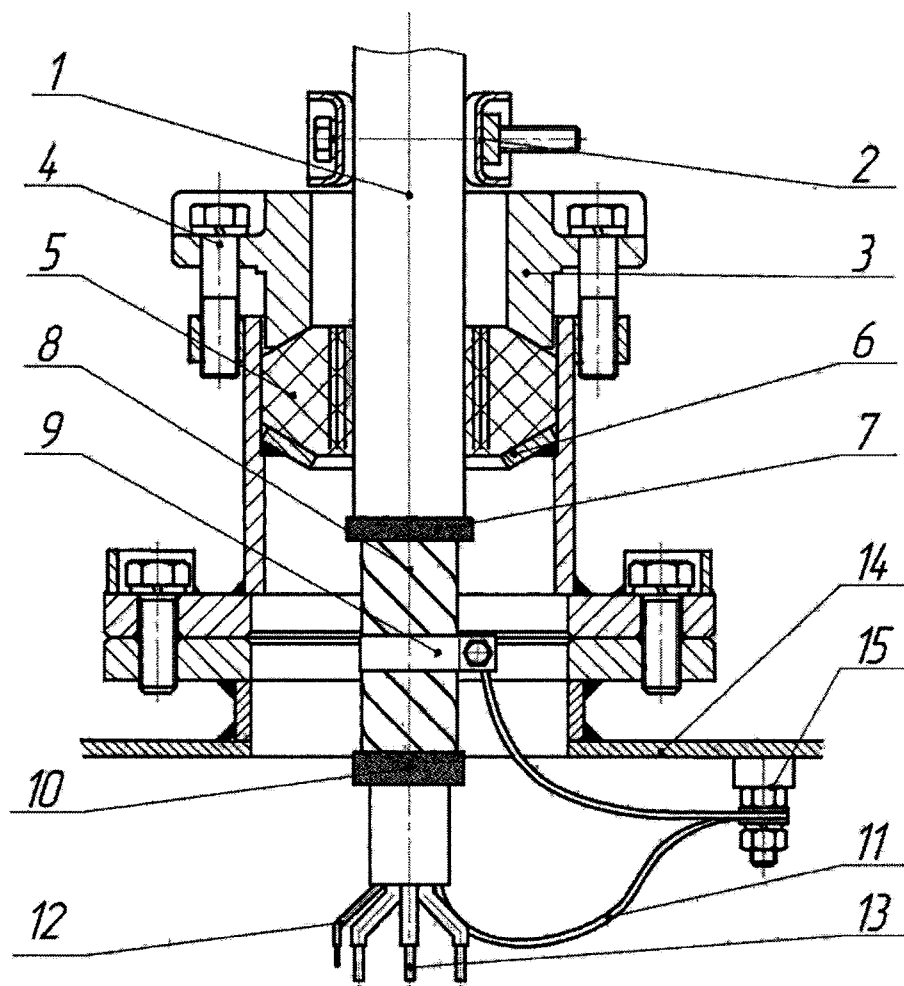


Рисунок 14. Заземление бронированного кабеля с пластмассовой изоляцией во вводимом устройстве рудничного электрооборудования:

- 1 – кабель; 2 – нажимная скоба; 3 – муфта; 4 – болт; 5 – кольцо уплотнительное; 6 – гнездо; 7 и 10 – бандаж; 8 – броня; 9 – хомут на броню для заземления; 11 – жила заземления; 12 – вспомогательная жила кабеля; 13 – силовая жила; 14 – корпус вводной камеры; 15 – внутренний зажим заземления

Схема расположения элементов во вводимом устройстве до момента сжатия уплотнительного кольца приведена в приложении № 2.

77. При соединении кабелей с бумажной изоляцией хомуты с двух сторон соединительной муфты имеют между собой и корпусом муфты соединение, осуществляемое с помощью стальной перемычки сечением не менее 50 мм^2 или медной перемычки сечением не менее 25 мм^2 .

Для осветительных соединительных муфт, соединительных муфт контрольных кабелей и телефонных аппаратов перемычки выполняются сечением 12 мм^2 из стали или 6 мм^2 из меди.

Присоединение заземляющего проводника к соединительной муфте и к оболочкам соединяемых муфтой кабелей показано на рисунке 15.

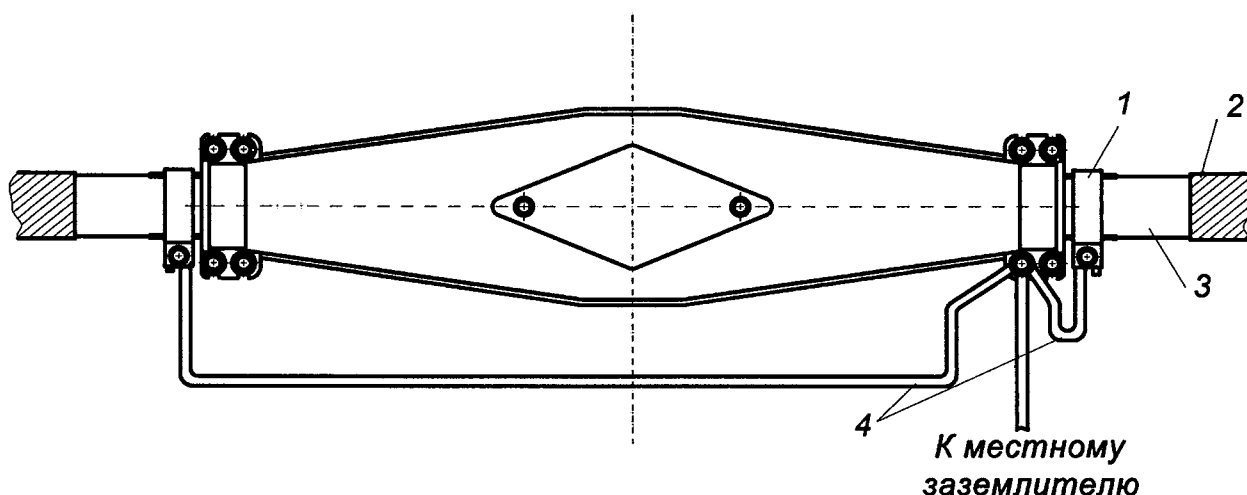


Рисунок 15. Схема заземления соединительной муфты для бронированного кабеля с бумажной изоляцией: 1 – свинцовая оболочка; 2 – защитный покров; 3 – стальная броня; 4 – перемычка (выполняется цельным проводником)

78. При отсутствии местного заземлителя устанавливают две перемычки с отдельными хомутами, обеспечивающие соединение оболочек соединяемых кабелей между собой и с корпусом муфты.

ХVIII. УСТРОЙСТВО ЗАЗЕМЛЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ ГИБКИХ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ ТРУБ

79. Заземление металлических элементов гибких вентиляционных труб, датчиков расхода воздуха и других объектов, на которых происходит накопление статического электричества, осуществляют подвешиванием этих элементов к стальной затяжке из сварной решетки или сетки с помощью крючков (петель, колец) из проволоки диаметром не менее 5 мм (рисунок 16).

Заземление металлических деталей (крючков, колец, петель, спиралей), предусмотренных в конструкции воздухопроводов из гибких вентиляционных труб, выполняют путем подвешивания их на металлическом, заземленном с обоих концов, тросе или проводе диаметром не менее 5 мм (рисунок 17).

В тупиковых выработках, проводимых в условиях многолетней мерзлоты, заземление троса (провода) производят только на одном конце, используя магистраль заземления.

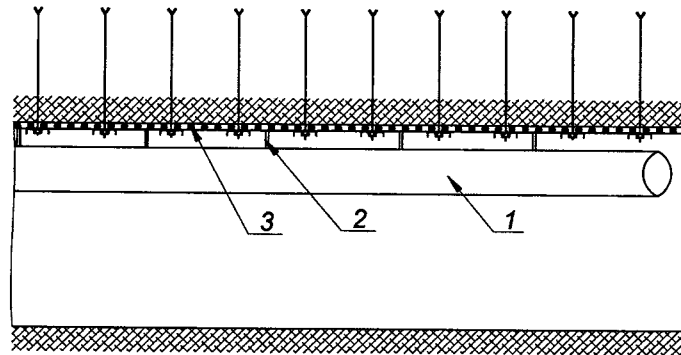


Рисунок 16. Пример устройства заземления вентиляционных труб:
 1 – гибкая шахтная вентиляционная труба; 2 – элементы подвески (крючки);
 3 – металлическая сварная решетка (сетка)

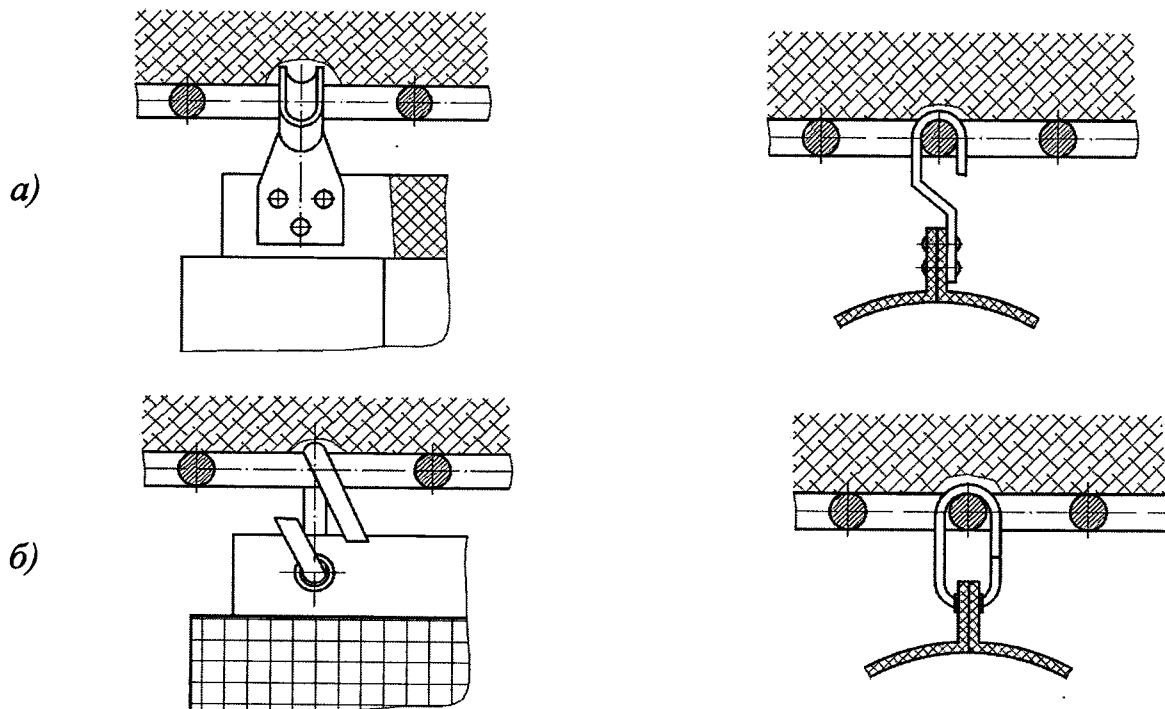


Рисунок 17. Схемы присоединения металлических деталей гибких вентиляционных труб: а) – типа М (прорезиненных); б) – типа К (капроновых)

80. Для заземления параллельных, пересекающихся или сближенных воздухопроводов используют общие заземлители и общие заземляющие проводники. Если на расстоянии не более 100 мм от воздухопровода расположены металлические конструкции, то их присоединяют к заземлению воздухопровода.

81. Сопротивление заземляющей цепи, предназначенной для защиты только от статического электричества, не должно превышать 100 Ом.

Приложение № 1
к руководству по безопасности
«Рекомендации по электроснабжению
угольных шахт», утвержденному
приказом Федеральной службы
по экологическому, технологическому
и атомному надзору

от «01» июня 2021 г. № 226

РЕКОМЕНДУЕМЫЙ ОБРАЗЕЦ ЖУРНАЛА РЕГИСТРАЦИИ СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ И ЗАЗЕМЛЕНИЯ

ЖУРНАЛ

регистрации состояния электрооборудования и заземления

Шахта _____

Организация _____

Начат « ____ » _____ 20__ г.

Окончен « ____ » _____ 20__ г.

Дата проверки	Наименование и место установки проверяемого объекта	Результаты осмотра и измерений с указанием заводских номеров неисправного оборудования и характера неисправностей	Необходимые меры по устранению неисправностей	Фамилия и подпись лица, производившего проверку	Распоряжение главного энергетика (главного механика) шахты об устранении нарушений с указанием лица, которому эта работа поручена	Отметка об устранении, подпись и ФИО лица, производившего устранение
1	2	3	4	5	6	7

В графе 2 записывается название объекта без указания отдельных видов электрооборудования, а также наименование выработки, в которой расположен объект.

В графе 3 указываются общая оценка состояния всего электрооборудования и заземления, величина переходного сопротивления заземления, время отключения сети от искусственной утечки тока на «землю», а также характер неисправностей,

наименование и заводской номер электрооборудования, в котором обнаружены неисправности (в том числе и снижение сопротивления изоляции ниже нормы).

Журнал хранится у главного энергетика шахты.

Приложение № 2
к руководству по безопасности
«Рекомендации по электроснабжению
угольных шахт», утвержденному
приказом Федеральной службы
по экологическому, технологическому
и атомному надзору

от «22» июня 2021 г. № 226

**СХЕМА РАСПОЛОЖЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ВО ВВОДНОМ УСТРОЙСТВЕ
ДО МОМЕНТА СЖАТИЯ УПЛОТНИТЕЛЬНОГО КОЛЬЦА**

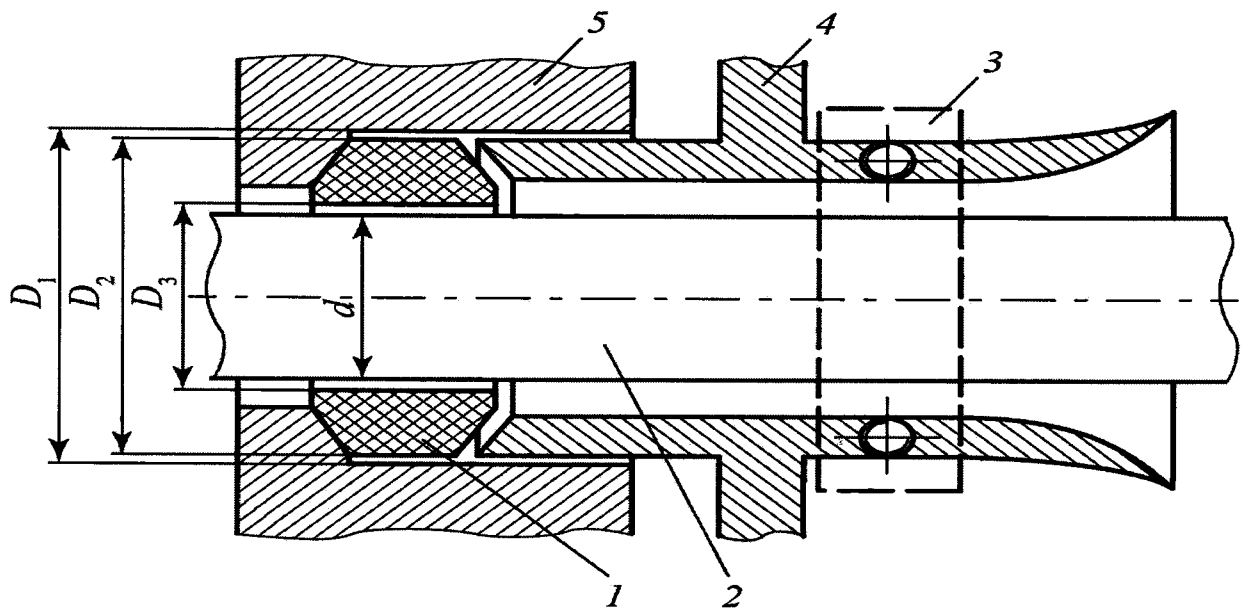


Рисунок. Схема расположения элементов во вводном устройстве до момента сжатия уплотнительного кольца: 1 – уплотнительное кольцо; 2 – кабель; 3 – закрепляющая планка; 4 – уплотняющий фланец; 5 – корпус оболочки

Внутренний диаметр уплотнительного кольца (D_3) не должен превышать наружный диаметр кабеля (d) более чем на 2 мм ($D_3 - d \leq 2$ мм).

При наружном диаметре уплотнительного кольца D_2 , не превышающем 20 мм, внутренний диаметр корпуса оболочки D_1 не должен превышать наружный диаметр уплотнительного кольца D_2 более чем на 1 мм ($D_1 - D_2 \leq 1$ мм);

при наружном диаметре уплотнительного кольца D_2 от 20 мм до 60 мм внутренний диаметр корпуса оболочки D_1 не должен превышать наружный диаметр уплотнительного кольца D_2 более чем на 2 мм ($D_1 - D_2 \leq 2$ мм);

при наружном диаметре уплотнительного кольца D_2 , превышающем 60 мм, внутренний диаметр корпуса оболочки D_1 не должен превышать наружный диаметр уплотнительного кольца D_2 более чем на 3 мм ($D_1 - D_2 \leq 3$ мм).
