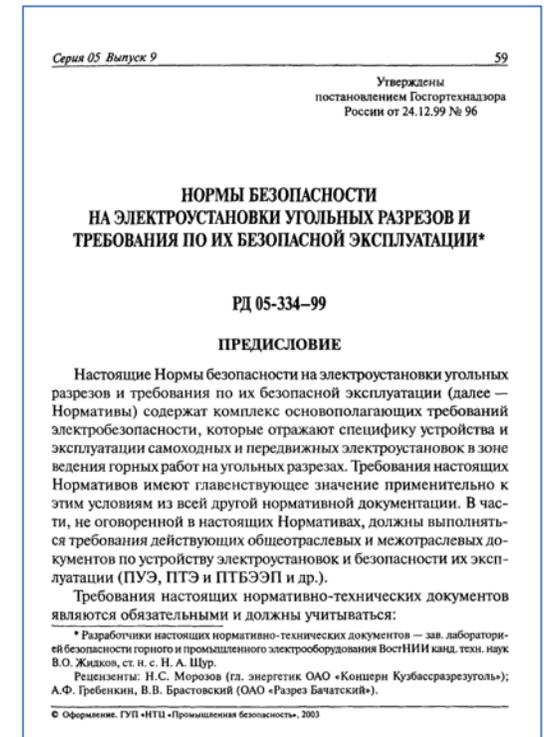
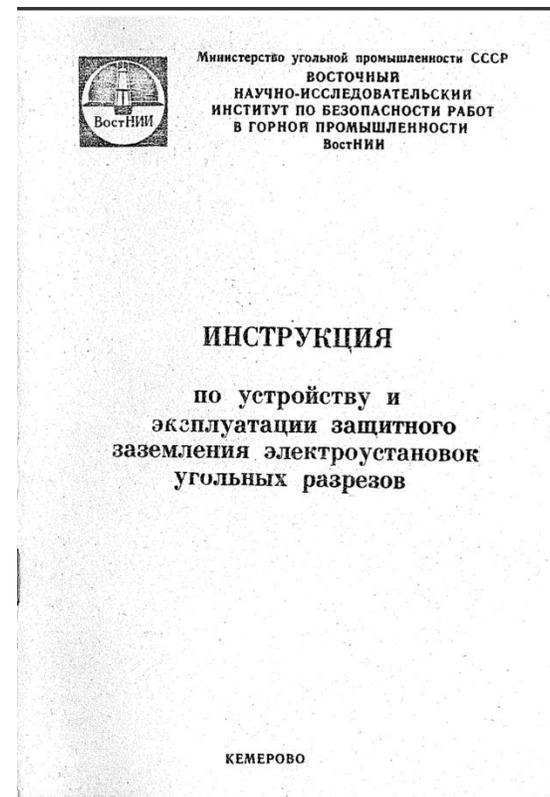
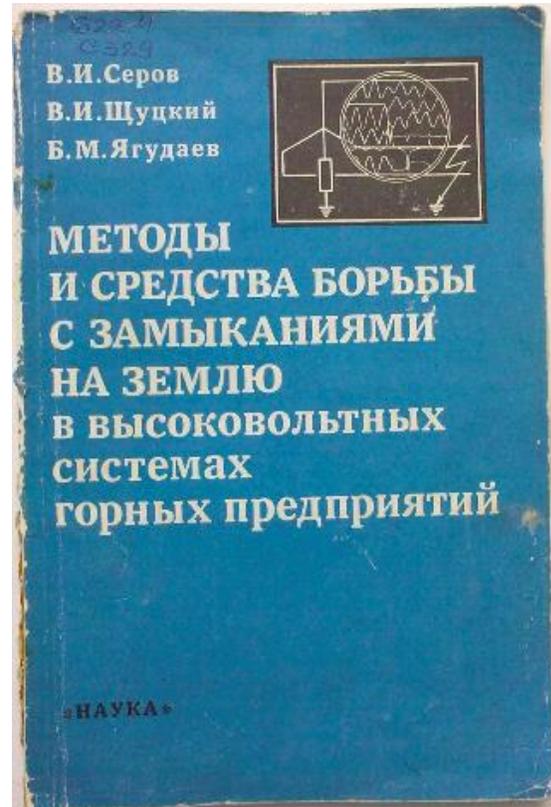
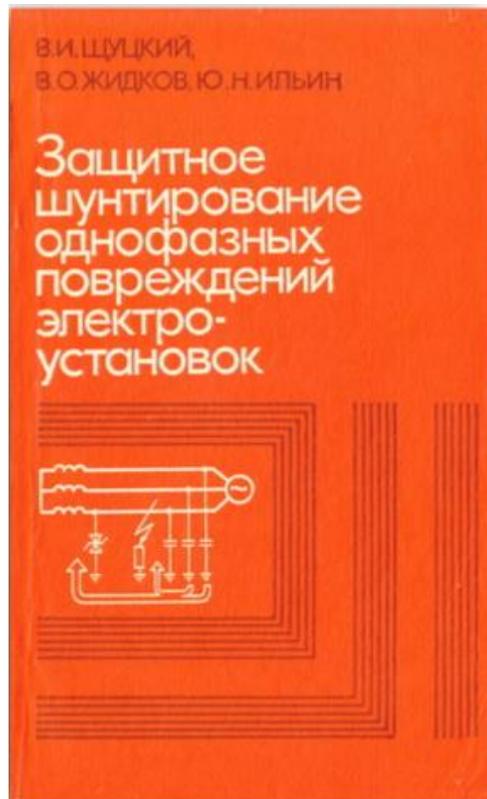


АО «НЦ ВостНИИ», г. Кемерово

Проблемы электробезопасности подземных сетей угольных шахт

Гришин Михаил Викторович, ведущий научный сотрудник, к.т.н.
Савинкин Андрей Александрович, главный специалист отдела проектирования угольных шахт.

Исследования 80-90 гг. по безопасности электроснабжения горных предприятий



**Система стандартов по безопасности
шахтного электрооборудования и кабелей,
разработанных в АО «НЦ ВостНИИ»**

```
graph TD; A[Система стандартов по безопасности шахтного электрооборудования и кабелей, разработанных в АО «НЦ ВостНИИ»] --> B[Заземление ГОСТ 28298-2016]; A --> C[Защита от сверхтоков и контроль изоляции ГОСТ 33968-2016]; A --> D[Системы электроснабжения и управления ГОСТ Р 58585-2019]; A --> E[Шахтные кабели ГОСТ Р 58717-2019, ГОСТ Р 58718-2019];
```

**Заземление
ГОСТ 28298–2016**

**Защита от сверхтоков
и контроль изоляции
ГОСТ 33968–2016**

**Системы
электроснабжения и
управления
ГОСТ Р 58585–2019**

**Шахтные кабели
ГОСТ Р 58717–2019
ГОСТ Р 58718–2019**

Условия эксплуатации подземных электроустановок

**Потенциально взрывоопасная среда: метан и угольная пыли
Воспламенение CH_4 при 5-15 %
минимальная энергия 0,28 мДж**

**Электрооборудование напряжением от 127 до 10000 кВ
во взрывобезопасных оболочках,
уровень взрывозащиты Mb (PB)
должно быть отключено при CH_4 более 1%,**

Кабель – наименее защищенный элемент шахтной электрической сети

Повреждения кабелей при авариях в шахтах

Бронированный кабель СБГ при взрыве на шахте «Тайжина»



Гибкий кабель КОГРЭС при взрыве на шахте «Листвяжная»



Риск открытого искрения от поврежденного кабеля



**Удар непроводящим клином по жиле кабеля КГЭШ
с поврежденной оболочкой**

Опасности электрических сетей в шахте

Возникновение открытого искрения при повреждении кабеля

Электропоражение

Повреждение
кабеля
под напряжением

Подача напряжения
на поврежденный
кабель

Прикосновение к
токоведущим
частям

Прикосновение
к корпусу

Меры защиты

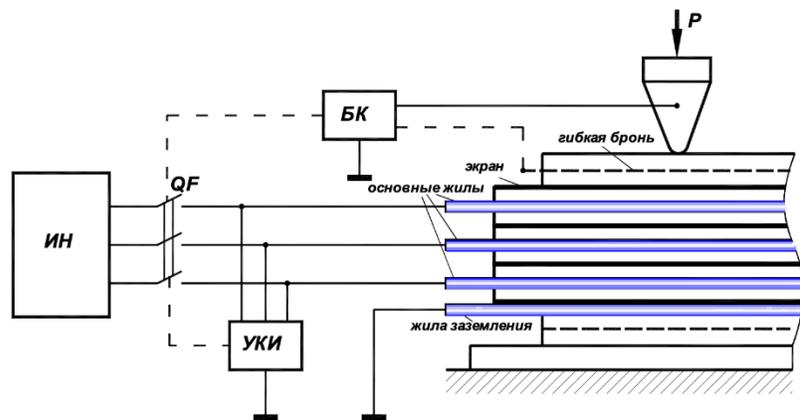
Конструкция
экранированного
кабеля

Методы ремонта
компаунд,
холодная усадка,
ленты

Высоковольтное
диагностическое
тестирование
изоляции

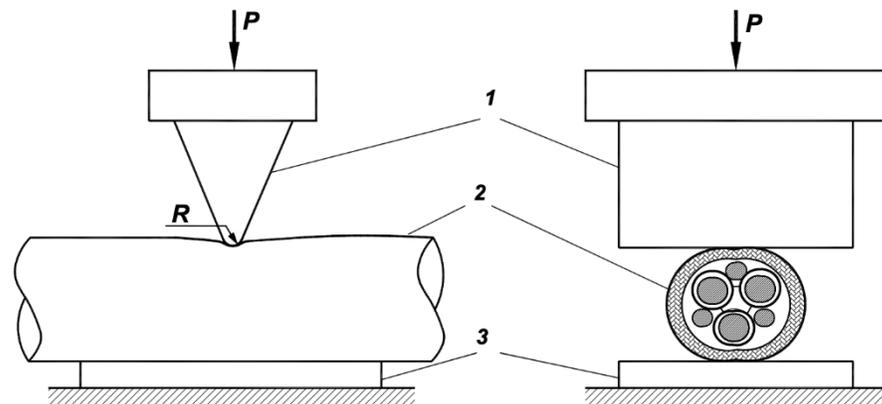
В шахте маловероятно.
Оборудование со степенью
защиты не ниже IP 54.
Кабели экранированные с
отключением

Опережающее отключение шахтных кабелей при их повреждении



ИН - источник напряжения; QF - автоматический выключатель;
УКИ - устройство контроля изоляции; БК - блок контроля; P - раздавливающая нагрузка

Рисунок 1 - Схема стенда на раздавливание шахтного гибкого кабеля

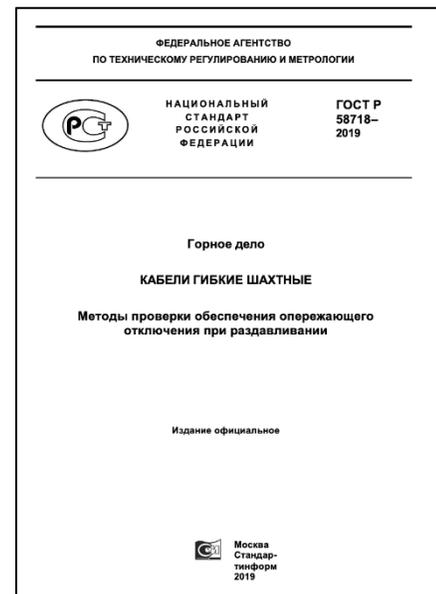


1 - верхняя матрица в виде клина; 2 - образец кабеля;
3 - нижняя матрица (плоскость)

Рисунок 2 - Схема раздавливания кабеля



Взрывная камера ВостНИИ
для испытаний системы
опережающего отключения



Предварительный контроль изоляции кабелей

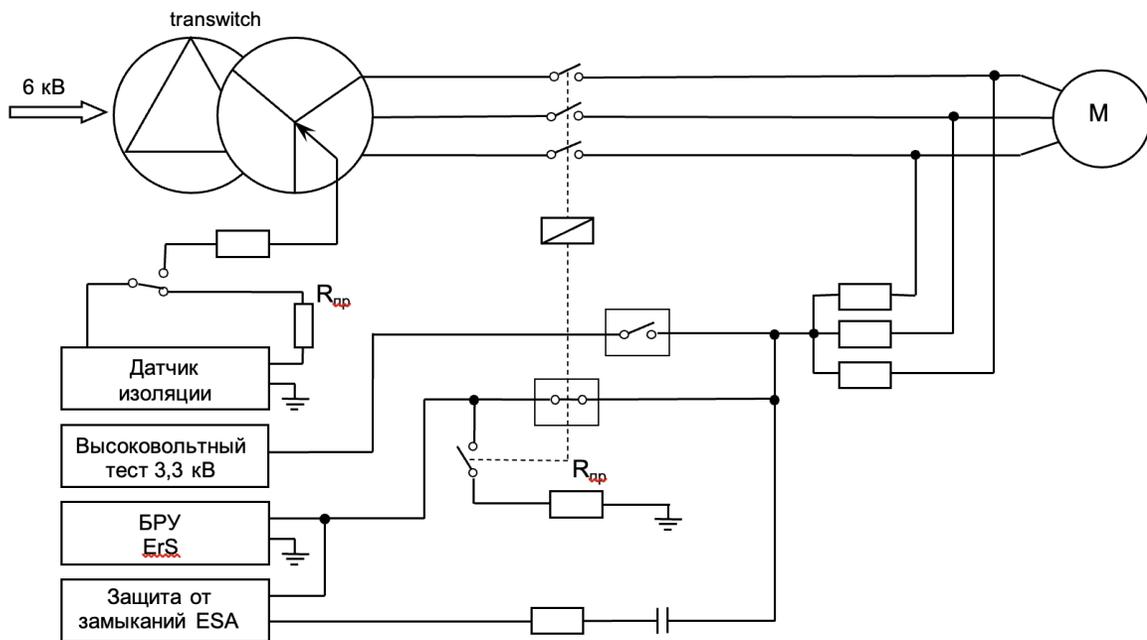


Рисунок 1 - Схема защитных устройств контроля электрической изоляции системы распределения энергии Endis фирмы Becker Mining Systems



Аппарат АШИК

Диагностическое высоковольтное тестирование

Эффективный контроль изоляции электрооборудования перед включением возможен только при напряжении не ниже U_n

Ремонт кабелей в шахте

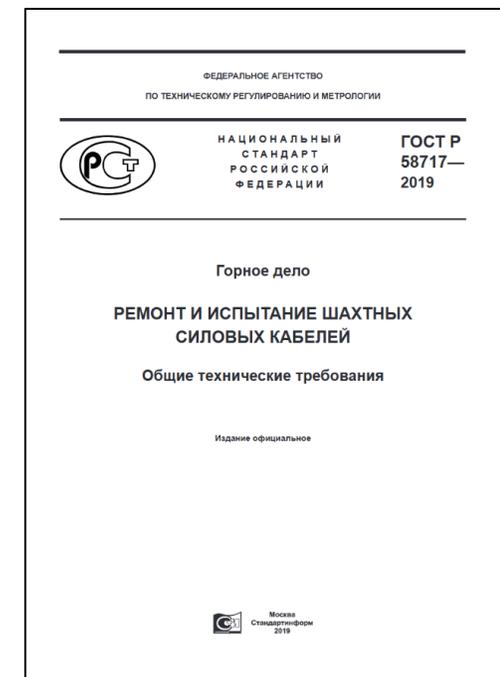
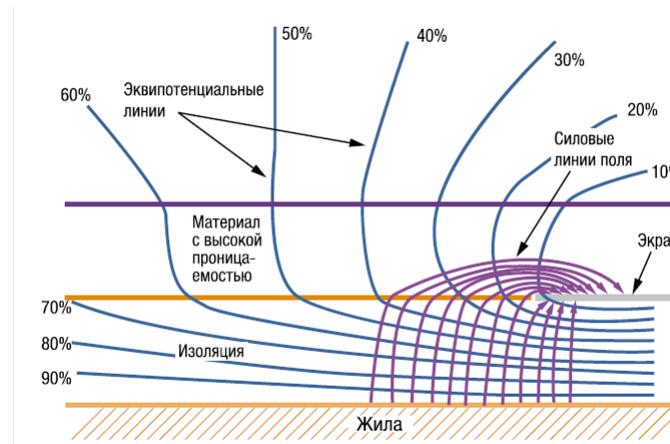
Заливка компаундом с высокой адгезией к любым современным типам оболочек кабелей, чего не всегда удается достичь посредством традиционной вулканизации



Холодная усадка

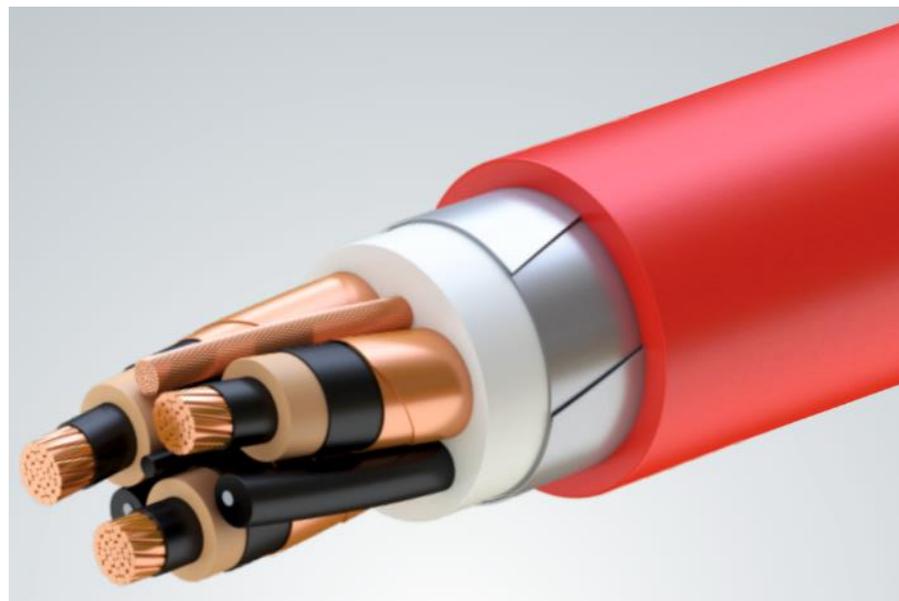
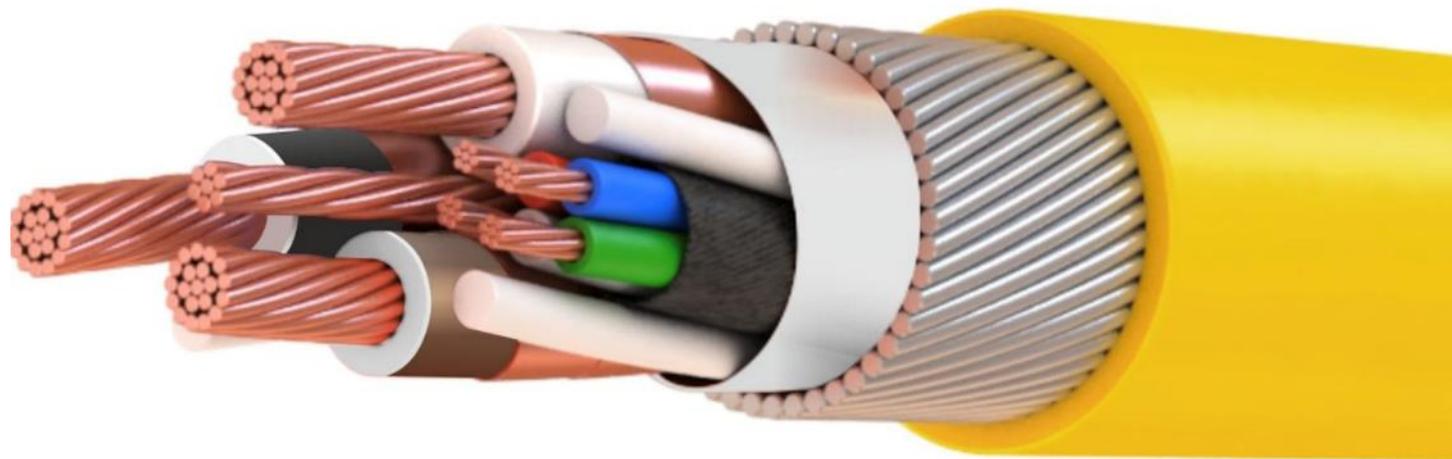


Ленты изоляционные, проводящие и выравнивающие поле

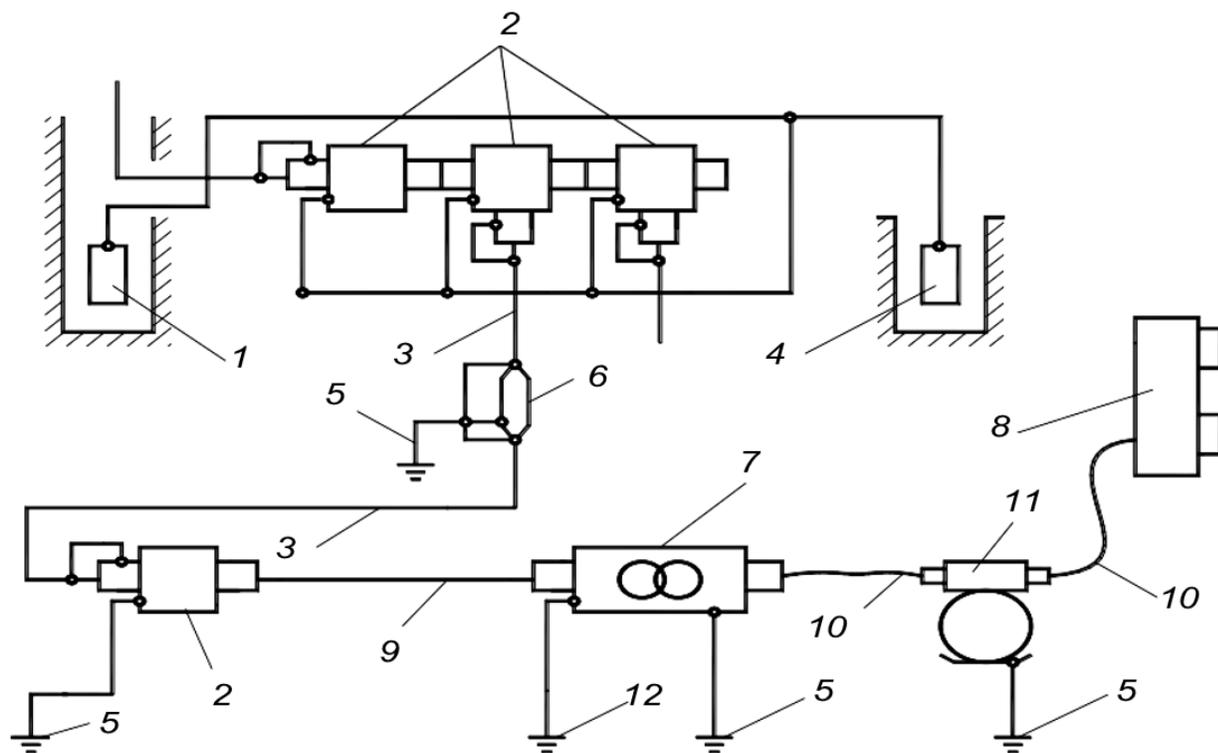


Отсутствие источников высокой температуры при данных технологиях позволяет безопасно и эффективно проводить ремонт кабелей непосредственно в подземных выработках шахт

Кабели шахтные бронированные стационарные с полимерной изоляцией экранированные, с заземляющей и контрольными жилами



Общее заземляющее устройство шахты



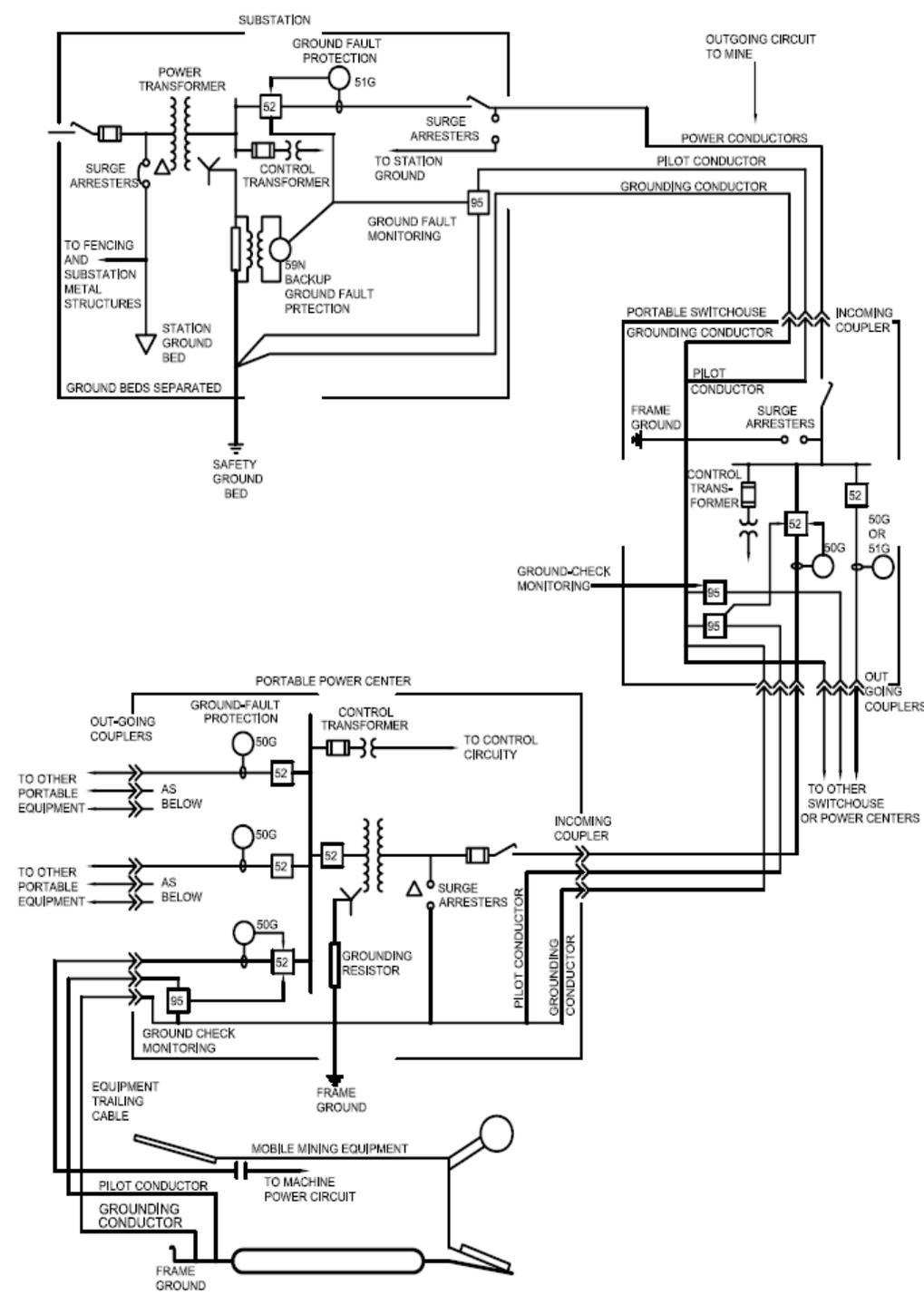
- 1 – главный заземлитель в водосборнике;
- 2 – комплектные распределительные устройства КРУ;
- 3 – бронированный кабель со свинцовой оболочкой;
- 4 – дополнительный заземлитель;
- 5 – местные заземлители;
- 6 – кабельная муфта;
- 7 – трансформаторная подстанция;
- 8 – комбайн;
- 9 – кабель бронированный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

461. Общую сеть заземления создают путем непрерывного электрического соединения между собой **всех металлических оболочек и заземляющих жил кабелей** независимо от величины напряжения с присоединением их к главным местным заземлителям.

IEEE Std 142-2007 Рекомендуемая практика по заземлению промышленных и коммерческих энергосистем

1.10 Системы питания передвижного горного оборудования

Если напряжение в системе превышает 1000 В, ток заземления ограничивается таким образом, чтобы потенциал корпуса в этой части системы не превышал 100 В в условиях замыкания на землю. Для практических целей (при условии импеданса заземляющего проводника 2 Ом) это ограничивает максимальный ток заземления до 50 А

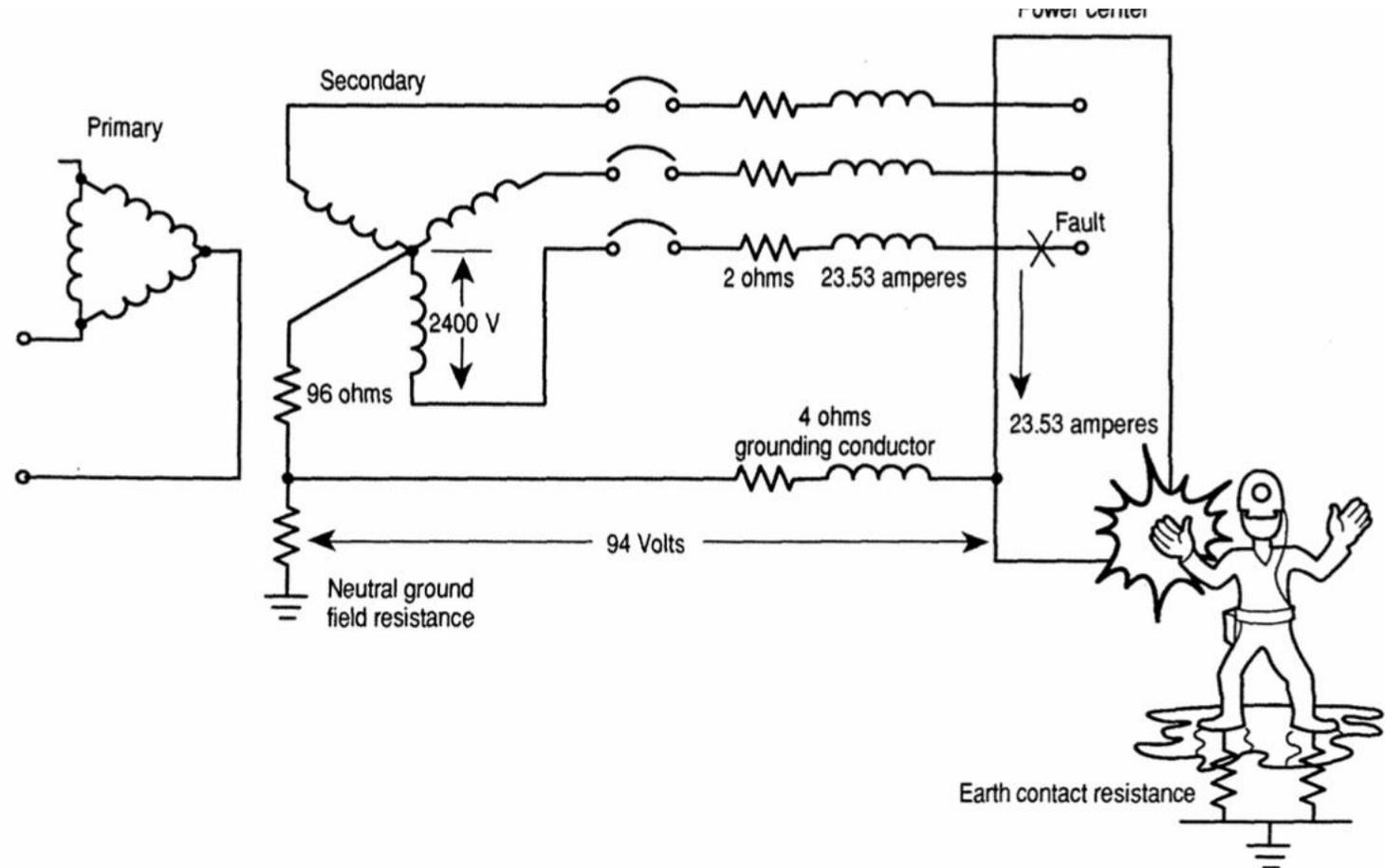


Резистор заземления нейтрали в участковой сети 3300 В

«Инструкция по электроснабжению угольных шахт» (Приказ 28.10.2020 № 429)

«Для повышения чувствительности защиты от однофазных утечек (замыканий) тока на землю и уменьшения вероятности ее ложных срабатываний допускается заземление нейтрали со стороны вторичной обмотки трансформатора ПУПП через ограничительный высоковольтный резистор. При этом ток, проходящий через указанный резистор при однофазном замыкании на землю в любой точке сети, не должен превышать 2 А».

PH93-V-7 Coal Mine Safety and Health Electrical Inspection Procedures Handbook



Режим резистивного заземления нейтрали для шахт

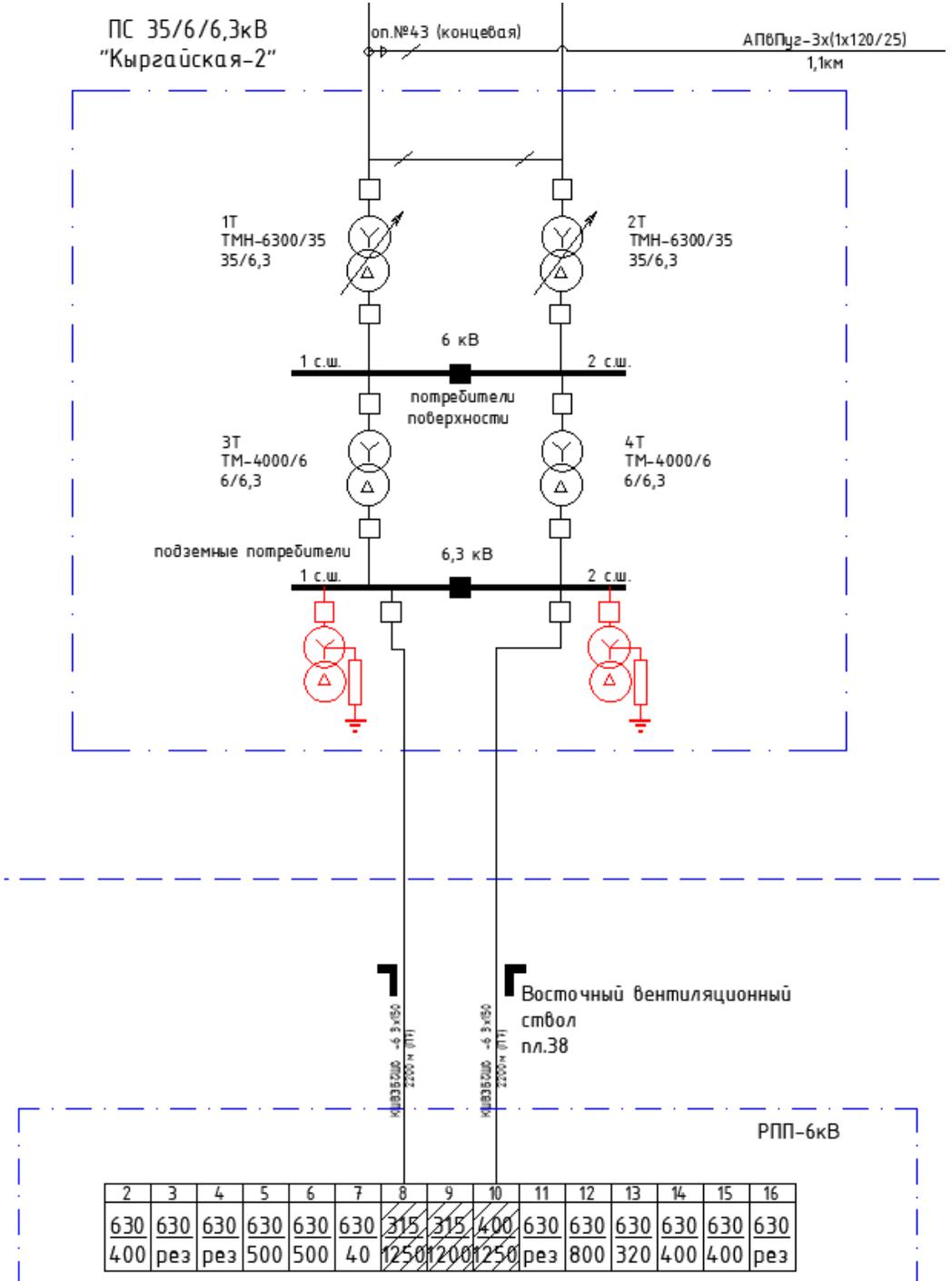
Правила безопасности в угольных шахтах

402. Для электроснабжения шахтных электроустановок используют сети с изолированной или **заземленной через резистор** нейтралью трансформаторов.

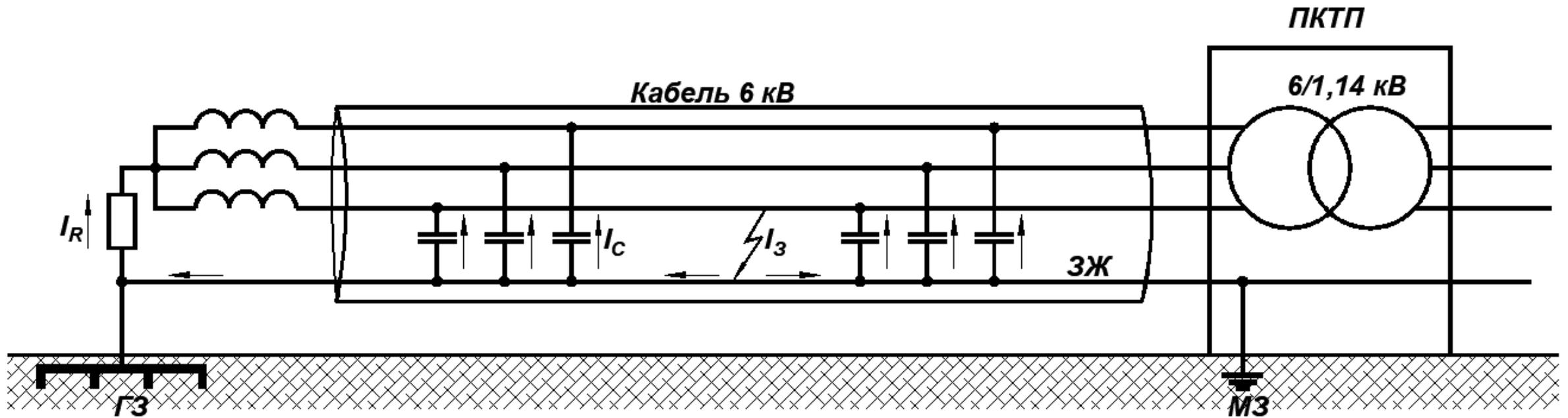
действуют с 2013 г., но практического применения пока нет

Токи однофазного замыкания в подземных сетях шахт Кузбасса в среднем 20-30 А.

Потребители поверхности отделены от подземных потребителей.



Распределение тока замыкания на землю в шахтной кабельной сети



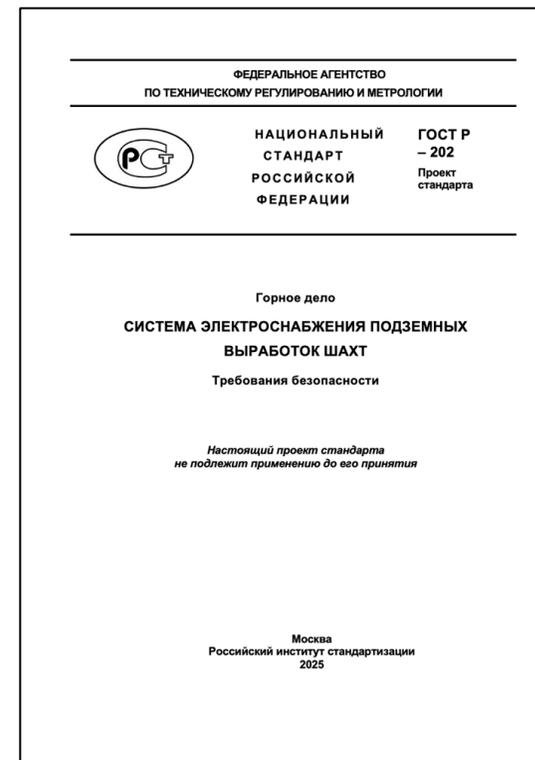
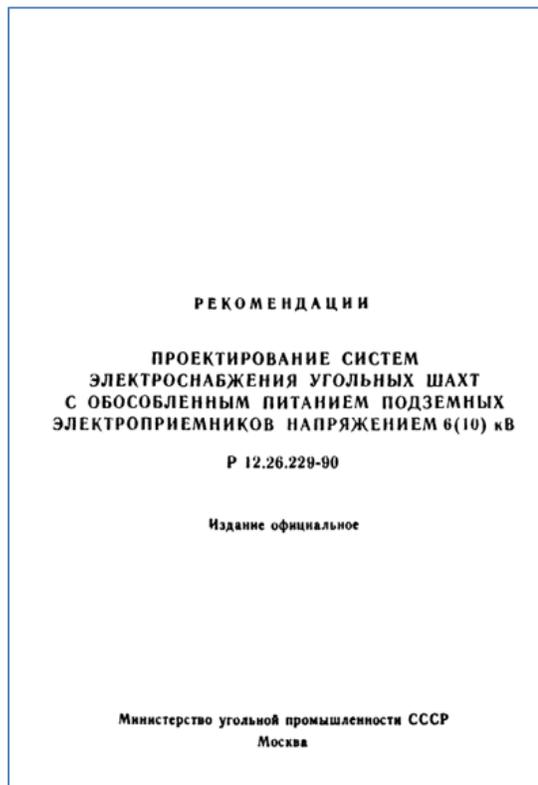
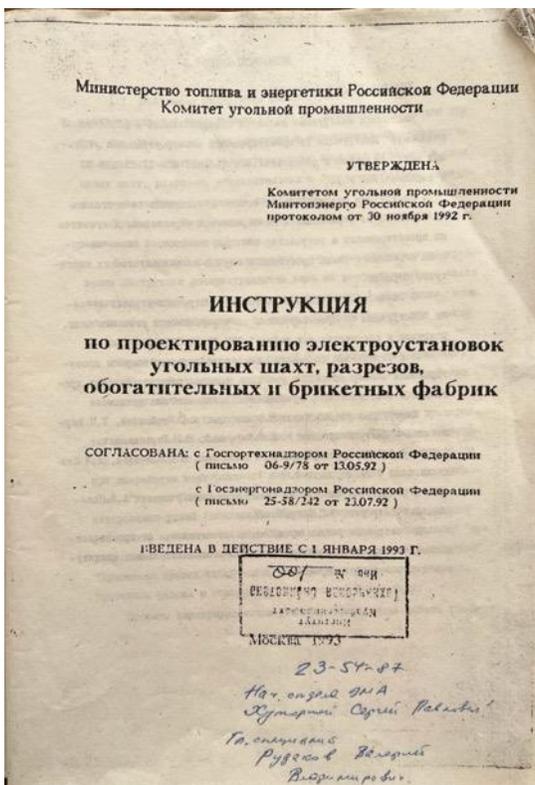
При непрерывности (целостности) заземляющих жил кабелей, имеющих контакт с экранами по изоляции жил, емкостный ток замыкания будет протекать в две неповрежденные фазы через их проводимости относительно общей сети заземления

Особенности резистивного заземления нейтрали в шахте

1. В подземных сетях напряжением 6(10) кВ осуществляется защита *на отключение* линий, трансформаторов (передвижных подстанций) и электродвигателей от токов однофазных замыкания на землю .
2. Значительная часть тока замыкания на землю протекает в неповрежденные фазы по распределенной емкости кабелей, чем существенно снижается потенциал на заземляющем устройстве шахты.
3. Необходим автоматический контроль непрерывности заземляющих жил кабельных линий.
4. Для подземных сетей шахт и рудников напряжением 6(10) кВ, выполненных экранированными кабелями с заземляющими жилами и защитой от однофазных замыканий на землю с действием на отключение рекомендуется переход на заземление нейтрали через резистор, обеспечивающий дополнительный активный ток равный 0,6-1,0 суммарного значения емкостного тока замыкания на землю.
5. Напряжение на заземляющем устройстве при протекании полного тока ОЗЗ шахтной электрической сети с учетом емкостной и активной составляющих не должно превышать нормируемых значений напряжения прикосновения по ГОСТ Р 12.1.038-2024

Разработка проекта стандарта

Система электроснабжения подземных выработок шахт





Горное дело

**СИСТЕМА ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ
ВЫРАБОТОК ШАХТ**

Требования безопасности

*Настоящий проект стандарта
не подлежит применению до его принятия*

Москва
Российский институт стандартизации
2025

5.4 Режим заземления нейтрали электрической сети шахты

5.4.1 Для электроснабжения шахтных электроустановок используют сети с изолированной или заземленной через резистор нейтралью трансформаторов [1]. С целью повышения селективности и надежности действия релейной защиты от замыканий на землю, а также для снижения уровня перенапряжений при дуговых замыканиях на землю рекомендуется выполнять заземление нейтрали электрической сети через резистор, обеспечивающий создание дополнительного активного тока замыкания на землю.

5.4.2 Величину сопротивления, создающего дополнительный активный ток замыкания на землю следует выбирать на основе выполнения следующих условий:

а) селективное отключение присоединения с ОЗЗ путем применения как простых токовых защит от замыканий на землю (код ANSI 51G), так и более сложных направленных защит по току нулевой последовательности (код ANSI 67N) или активной мощности нулевой последовательности («ваттметрические», код ANSI 32);

б) напряжение на заземляющем устройстве при протекании полного тока ОЗЗ шахтной электрической сети с учетом емкостной и активной составляющих за время отключения до 0,7 с не должно превышать 100 В (ГОСТ Р 12.1.038, [10]).

5.4.3 При отказе защит по отключению повреждённого присоединения должно быть выполнено резервное действие защит от ОЗЗ по отключению секции (ввода), к которой присоединено поврежденное присоединение, с целью защиты низкоомного резистора от термического повреждения и предотвращению работы сети в режиме ОЗЗ с большим током повреждения. При этом должен быть выполнен запрет АВР. При ОЗЗ непосредственно на секции шин, к которой подключен низкоомный резистор, защита должна отключать секцию (ввод) с запретом АВР [11].



НАЦИОНАЛЬНЫЙ
СТАНДАРТ
РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р
– 202
Проект
стандарта

Горное дело

**СИСТЕМА ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ
ВЫРАБОТОК ШАХТ**

Требования безопасности

*Настоящий проект стандарта
не подлежит применению до его принятия*

Москва
Российский институт стандартизации
2025

5.3 Защита шахтных электроустановок от однофазных замыканий на землю

5.3.1 Все отходящие линии электроснабжения напряжением 6(10) кВ, питающие ЦПП и РПП шахты, должны быть оснащены устройствами релейной защиты от междуфазных коротких замыканий и ОЗЗ, действующими на отключение.

5.3.2 Селективная защите от ОЗЗ должна выполняться двухступенчатой. Первая степень защиты должна устанавливаться в ячейках распределительных устройств на ЦПП и РПП, питающих шахтные электроустановки 6(10) кВ, и выполняться без выдержки времени. Вторая степень защиты, устанавливаемая на шинах 6(10) кВ главной понизительной подстанции (ГПП) шахты, должна иметь выдержку времени не более 0,7 с.

5.3.3 Общее время отключения поврежденного присоединения первой степени защиты от ОЗЗ должно быть не более 0,1 с, второй степени защиты – не более 0,6 с.

5.3.4 Защиту от ОЗЗ первой и второй степени для обеспечения селективности рекомендуется выполнять направленной (коды ANSI 67N и 32P согласно [9]). Для этого следует применять микропроцессорные защиты, использующие различные алгоритмы действия на основе непрерывного контроля напряжения и тока нулевой последовательности с целью выявления и определения поврежденного фидера как при устойчивых (металлических), так и при перемежающихся дуговых замыканиях.

Спасибо за внимание

Гришин Михаил Викторович
АО «НЦ ВостНИИ»
mkmr@mail.ru