

**УДК 621.315**

А.В. ИВАНИНА, студент гр. ЭПб-221.2 (филиал КузГТУ в г. Прокопьевске)  
Научный руководитель М.А. ИНОЗЕМЦЕВ, старший преподаватель  
(филиал КузГТУ в г. Прокопьевске)  
г. Прокопьевск

## **ОБЗОР ВИДОВ ПОВРЕЖДЕНИЙ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ**

К современным системам электроснабжения предъявляются высокие требования надежности и бесперебойности. Ряд объектов энергетической инфраструктуры относится к объектам первой и особой категории надежности, так как их отключение может привести к аварийным событиям. Требования к электроснабжению подобных объектов приведены в [1]. Нарушение надежности и бесперебойности электроснабжения потребителей второй категории приводит к простоям, а, следовательно, и недополученной прибыли предприятия.

Кабельные сети применяют для электроснабжения различных объектов – жилых и общественных зданий, промышленных предприятий, различных сооружений. Условия эксплуатации кабельных сетей могут значительно отличаться, что сказывается на состоянии изоляции кабеля. В Кемеровской области крупными потребителями электрической энергии являются угледобывающие предприятия – шахты и разрезы.

Электрические сети шахт представлены воздушными и кабельными линиями различного класса напряжения. В подземных выработках используются только кабельные линии напряжением до 6 кВ. Переход на более высокий класс напряжения описан в работе [2]. Сложные условия эксплуатации, обусловленные наличием угольной пыли, движущимися технологическими комплексами, повышенной влажностью и другими факторами, приводят к большей вероятности возникновения повреждений кабельных линий. Наличие метана в атмосфере шахт предъявляет повышенные требования к конструкции кабелей для снижения вероятности их механического повреждения.

Кабели, используемые для электроснабжения на открытых горных работах, подвергаются воздействию атмосферных явлений (температура воздуха, атмосферные осадки, грозовые перенапряжения), технологического оборудования. Также имеет место человеческий фактор.

Статистика повреждений в системе электроснабжения разреза «Нерюнгринский» по данным за 2004 – 2009 годы показала, что 68% приходится на кабельные линии напряжением 6 кВ [3].

Согласно [3] различают механические и электрические повреждения кабельных линий. Механические повреждения кабелей вызываются, в основном, движущимся технологическим оборудованием, электрические – в результате пробоя изоляции.

В работе [4] приведены данные по дефектам кабельных линий напряжением 1 – 10 кВ (рис. 1). К дефектам кабелей относят: механические повреждения, дефекты в соединительных муфтах и концевых заделках, повреждения кабеля и муфт, коррозия, технологические дефекты, нарушения при прокладке кабеля, старение изоляции, осушение изоляции [Однофазные короткие замыкания].



Рис. 1. Диаграмма распределения дефектов кабелей

Далее рассмотрены основные повреждения кабельных линий.

**1. Замыкания фаз на землю.** Являются наиболее частыми повреждениями кабелей, и происходит в большинстве случаев между одной из жил кабеля и его оболочкой. Причиной данного повреждения могут быть как нарушения правил эксплуатации (токовая нагрузка, превышающая допустимую величину для данного кабеля), перенапряжения, вызванные грозовыми разрядами или коммутацией индуктивных нагрузок. В условиях подземных выработок часто наблюдается повышенная влажность, что приводит к накоплению влаги в изоляции кабеля и приводит к вероятности появления пробоя.

**2. Междофазные замыкания.** Как правило, возникают в результате возникновения однофазного замыкания на землю (ОЗЗ). В сетях с изолированной нейтралью при возникновении ОЗЗ может происходить увеличение величины фазных напряжений относительно земли до значения

линейного напряжения (при металлических замыканиях), что приведет к пробое изоляции между фазами.

**3. Обрыв токоведущих жил кабеля** – происходит чаще всего в результате значительных механических воздействий на кабель. Различают обрыв с заземлением оборванных и необорванных жил кабеля.

**4. Заплывающий пробой** – замыкание через переходное сопротивление, величина которого зависит от приложенного напряжения. При большом напряжении сопротивление снижается, что ведет к образованию пробоя, а при малом – возрастает, и пробой исчезает [5].

**5. Повреждение оболочки кабеля** как правило вызывается механическими воздействиями и с течением времени может привести к повреждению междуфазной изоляции и возникновению замыканий [6].

**6. Повреждения кабельных муфт** – представлены обрывами жил кабеля, электрическими пробоями, вызываемыми перенапряжениями и грозовыми разрядами, отсыревaniem муфт.

При замыкании на землю или между фазами в месте повреждения образуется проводящий участок, который характеризуется величиной переходного сопротивления. Средние значения переходных сопротивлений для различных видов повреждений кабельных линий приведены в таблице 1. Таким образом, при известном значении переходного сопротивления можно сделать вывод о типе повреждения кабеля.

Таблица 1

Средние значения переходных сопротивлений при различных типах замыканий [7]

Тип повреждения	Переходное сопротивление, Ом
Замыкания фаз на оболочку кабеля	$10^2 \dots 10^4$
Междуфазные замыкания	не более $10^2$
Обрыв жил кабеля с заземлением	более $10^6$
Обрыв жил кабеля без заземления	до $5 \cdot 10^3$
Заплывающий пробой	более $10^6$

Статистика по видам повреждений кабельных линий показывает различные соотношения между механическими и электрическими повреждениями кабелей. Так, в работе [3] механические повреждения возникают в 17% случаев, а электрические – в 83% случаев. В работе [4] отмечается, что механические повреждения, вызывающие пробой изоляции, встречаются в 60% случаев, а электрические – в 40%. Столь существенная разница в статистике повреждений может быть объяснена

тем, что описанные в данных работах кабельные линии находятся в различных условиях эксплуатации.

Таким образом, анализ повреждений кабельных линий представляет собой актуальную задачу, для решения которой требуется сбор достаточно большого количества данных по типам повреждений, возникающих в различных условиях эксплуатации конкретных кабельных сетей. Увеличение числа диагностических критериев позволит повысить достоверность оценки надежности конкретной системы электроснабжения и прогнозирования ее технического состояния [8].

#### Список литературы:

1. Правила устройства электроустановок [Текст]: Все действующие разделы ПУЭ-6 и ПУЭ-7. – Новосибирск: Норматика, 2022. – 462 с.
2. Возможность реализации перехода на повышенное напряжение в подземных распределительных сетях угольных шахт / Е. Г. Кузин, О. Е. Махалесова, М.Д. Богомолов, М.С. Полянский // Рекультивация выработанного пространства: проблемы и перспективы : Сборник статей участников VII Международной научно-практической Интернет-конференции, Белово, 10–17 декабря 2021 года. – Кемерово: Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 2022. – С. 63-66.
3. Стефанов, В. К. Анализ надежности кабельных линий 6 кв системы электроснабжения угольного разреза "Нерюнгринский" / В. К. Стефанов, Д. В. Антоненков // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2011. – № S4. – С. 242-249.
4. Гоманова, В. А. Жизненный цикл кабельной линии / В. А. Гоманова, А. А. Григорчук ; науч. рук. Е. В. Мышковец // Актуальные проблемы энергетики [Электронный ресурс] : материалы 75-й научно-технической конференции студентов и аспирантов: секция "Электроэнергетические системы и сети" / сост. Т. Е. Жуковская. – Минск : БНТУ, 2019. – С. 135-139.
5. Зацепина, В. И. Однофазные короткие замыкания и способы их обнаружения / В. И. Зацепина, А. Н. Кустов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2021. – № 12. – С. 87-93. – DOI 10.24412/2071-6168-2021-12-87-94. – EDN PSIUPK.
6. Анализ видов и причин повреждения высоковольтных кабелей горного производства / Д. Д. Джумаева, О. З. Тоиров, Ш. Дархонова, С. Бойкаров // Universum: технические науки. – 2023. – № 5-4(110). – С. 52-55. – DOI 10.32743/UniTech.2023.110.5.15474. – EDN GLTYUP.

7. Общая информация. Классификация повреждений кабеля [Электронный ресурс]. – URL: <https://angstrem.tech/knowledge/obshchaya-informatsiya-klassifikatsiya-povrezhdeniy-kabelya.htm> (дата обращения 05.10.2023).

8. Кузин, Е. Г. Оценка технического состояния редукторов шахтных ленточных конвейеров методами неразрушающего контроля : специальность 05.05.06 "Горные машины" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Кузин Евгений Геннадьевич. – Кемерово, 2020. – 141 с. – EDN LOCCJ.

Информация об авторах:

Иванина Арина Владимировна, студент гр. ЭПб-221.2 (филиал КузГТУ в г. Прокопьевске), 653039, г. Прокопьевск, ул. Ноградская, 19а.

Иноземцев Максим Александрович, старший преподаватель, филиал КузГТУ в г. Прокопьевске, 653039, г. Прокопьевск, ул. Ноградская, 19а, [inozemcevma@kuzstu.ru](mailto:inozemcevma@kuzstu.ru)