

Эксплуатация кабельных линий

1. Приемка в кабельных линий (КЛ) в эксплуатацию и их осмотры.

Существующие методы электрических испытаний не позволяют выявить все дефекты в проложенной КЛ. Поэтому надежность работы КЛ в эксплуатации можно обеспечить только в том случае, если во время сооружения линии не нарушены правила прокладки и монтажа муфт.

Принимаемый в эксплуатацию проложенный силовой кабель по конструкции должен соответствовать условиям окружающей среды и принятому способу прокладки. Бесперебойная работа при эксплуатации КЛ в значительной степени зависит от правильно выбранного типа и марки проложенного кабеля.

К началу прокладки кабелей в подземных сооружениях обеспечивают окончание всех строительных работ. При приемке строительной части подземных сооружений проверяют:

- правильность расположения подземных сооружений;
- наличие в них уклонов для стока воды;
- состояние железобетонных конструкций;
- электрического освещения, водооткачки и вентиляции, соответствие внутренних размеров проекту, отсутствие газа и воды.

Сверяют с проектом оставленные в подземном сооружении посторонние подземные коммуникации и правильность способа их пересечения с кабельными сооружениями, например, в дополнительных трубах - футлярах, а также наличие теплоизоляции для теплопроводов и т. д.

Проверяют отметки люков колодцев (которые при усовершенствованном покрытии проездов не должны отличаться от их отметок больше чем на 1 см)

Проверка качества работ в процессе прокладки заключается:

- в определении глубины прокладки кабеля, допустимых радиусов изгиба;
- отсутствия в почве веществ, разъедающих оболочки кабелей;
- расстояний между кабелями в свету (не менее 100 мм);
- наличия песчаной постели под кабель и подушки;
- расстояний на пересечениях и сближениях прокладываемого силового кабеля с железнодорожными и трамвайными путями, теплофикационными трубами, кабелями связи и пр.;
- защитных покрытий;
- запасов кабеля перед муфтами для компенсации длины и соответствующих креплений муфт и кабеля в болотных и слабых грунтах.

Техническая документация, передаваемая монтажной организацией на проложенную линию, содержит:

- технический проект КЛ со всеми согласованиями на ее прокладку и отклонениями от проекта с указанием, с кем и когда эти отклонения согласованы;
- схему исполнительной трассы, заверенную техническим надзором предприятия электросети;
- протоколы заводских испытаний кабеля, необходимые для проверки соответствия кабеля требованиям ГОСТ;
- акты наружного осмотра кабеля на барабанах, необходимые для уверенности в том, что проложенный кабель не был поврежден при его транспортировке или хранении;
- результаты вскрытия и осмотра в лаборатории образцов для кабелей производства иностранных фирм, а также для кабелей, на которые отсутствуют протоколы заводских испытаний;
- протокол испытания всей кабельной линии после прокладки.

В акте на скрытые работы отражают следующее:

- осмотр проложенного кабеля;
- устройство «постели», «подушки», защиты кабельной линии от механических повреждений;
- соответствие габаритов взаимного сближения и пересечения с другими подземными коммуникациями;
- монтаж всех муфт.

Перед включением проложенной КЛ выполняют минимальный объем *пусковых испытаний*:

- определение целостности жил кабеля;
- измерение сопротивления изоляции между жилами кабеля и между жилами и землей,
- испытание КЛ высоким напряжением выпрямленного тока;
- проверке действия установленных на линии устройств антикоррозийной защиты от блуждающих токов;
- проверяют правильность соответствия жил по фазам от обоих концов линии независимо от их расцветки.

Периодические осмотры трасс кабелей напряжением:

- *свыше 1 кВ* проложенных в земле и туннелях, проводят в сроки, установленные местными инструкциями, но не реже 1 раза в три месяца, осмотры концевых муфт - 1 раз в шесть месяцев;
- *до 1 кВ* - 1 раз в год.

Сроки контрольных осмотров КЛ устанавливает инженерно-технический персонал с учетом местных условий.

При осмотрах необходимо также обращать внимание на кабель, проложенный открыто или в воде, кабельные колодцы (состояние антикоррозионных покрытий, наличие маркировки и т. п.).

При обходах необходимо:

- проверить состояние трассы кабельной линии, отсутствие промывов, провалов, повреждений креплений, угрожающих целостности кабелей в местах их пересечения с каналами, кюветами оврагами;
- убедиться в наличии и проверить состояние постоянных предохранительных плакатов, пикетов-ориентиров на трассе линии;
- в местах перехода кабелей на стены зданий или опоры воздушных линий электропередачи проверить защиту кабелей от механических повреждений, исправность концевых муфт, убедиться в отсутствии ржавчины, вмятин и забоин на броне и т. п.;
- осмотреть соединения стыков рельсов в местах пересечения сближения кабельных линий с электрифицированными железными дорогами на расстоянии не менее 100 м в обе стороны от пересечения или сближения.

Внеочередные обходы трасс проводят весной во время таяния снега, ледоходов, паводков, после ливней и в период осенних дождей, когда размягчение и размыв грунта наибольшие, в результате чего возможны повреждения кабелей.

Все дефекты, обнаруженные в результате обходов и осмотров трасс кабельных линий, записывают в журнал.

Во время обхода проверяют соблюдение *Правил по охране высоковольтных электрических сетей*, немедленно прекращают земляные работы, проводимые без разрешения и согласования с эксплуатирующей КЛ организацией, при этом составляют акт о нарушении правил и вызывают представителя инспекции или органов милиции.

В проектах работ, проводимых вблизи КЛ по согласованию с эксплуатирующей организацией, должны быть предусмотрены меры по обеспечению их сохранности.

2. Методы определения мест повреждения на КЛ. Прожигание кабелей.

Виды повреждения КЛ:

- замыкание на землю одной фазы;
- замыкание двух или трех фаз на землю либо между собой;
- обрыв одной, двух или трех фаз, с заземлением или без заземления;
- заплывающий пробой изоляции;
- сложные повреждения.

Для установления характера повреждения кабельную линию отключают от источника питания. От линии отключают все электроприемников и с обеих ее концов мегаомметром измеряют сопротивление изоляции каждой токоведущей жилы по отношению к земле и между каждой парой жил, а также убеждаются в отсутствии обрыва токоведущих жил.

Установив характер повреждения кабельной линии, выбирают метод наиболее подходящий для определения места повреждения в данном конкретном случае. *В первую очередь с погрешностью порядка 10...40 м определяют зону повреждения - границы в которых расположено место повреждения.*

Затем уточняют место повреждения непосредственно на трассе. *Для определения зоны повреждения линии применяют следующие относительные метода: импульсный, колебательного разряда, петлевой, емкостный.*

Импульсный метод основан на посылке в поврежденную линию зондирующего электрического импульса и измерении интервала времени между моментами подачи импульса и прихода отраженного импульса от места повреждения в кабеле.

Если скорость распространения импульса в кабельной линии обозначить через v , а расстояние от начала линии до места повреждения - через l_x , то время, за которое импульс проходит до точки повреждения и обратно, можно определить по формуле:

$$t_x = \frac{2l_x}{v}$$

Скорость распространения импульса по силовым кабелям примерно равна 160 м/мкс.

$$l_x = \frac{vt}{2} = 80t_x$$

Метод колебательного разряда позволяет определить зону повреждения кабельной линии при заплывающих пробоях. При измерении от испытательной установки напряжение постоянного тока подают на поврежденную жилу кабеля и плавно поднимают до напряжения пробоя. В момент пробоя в месте повреждения возникает искра, имеющая небольшое переходное сопротивление, и в кабеле происходит разряд колебательного характера. Период колебаний T этого разряда соответствует времени двукратного пробега волны до места повреждения и обратно.

$$T = 2t_x = \frac{4l_x}{v}$$

Где t_x — время пробега волны до места повреждения и обратно;

l_x — расстояние до места повреждения;

v — скорость распространения волны колебания в кабеле.

$$l_x = \frac{Tv}{4}$$

Продолжительность колебательного разряда измеряют осциллографом с однократной ждущей разверткой типа ОЖО или электронным миллисекундомером, присоединяемыми через делитель напряжения. Погрешность метода не более 5 % максимального значения шкалы, по которой проводят измерение.

Петлевой метод применяют для определения зоны повреждения кабельной линии в случаях, когда жила с поврежденной изоляцией не имеет обрыва и есть хотя бы одна жила с исправной изоляцией. Этот метод заключается в непосредственном измерении сопротивления постоянному току участка поврежденной жилы от места измерения до места повреждения при помощи измерительного моста.

Если с одной стороны кабеля соединить между собой поврежденную и здоровую жилы, а с другой стороны подключить регулируемые сопротивления плеч моста (см. рис. 7.1), то равновесие в схеме моста наступит при соблюдении условия

$$R_2 r_0 L = R_1 r_0 (2L_k - L)$$

где R_1 и R_2 - сопротивления плеч моста;

r_0 - удельное сопротивление материала жилы кабеля;

L_k - полная длина кабеля;

L — расстояние до места повреждения.

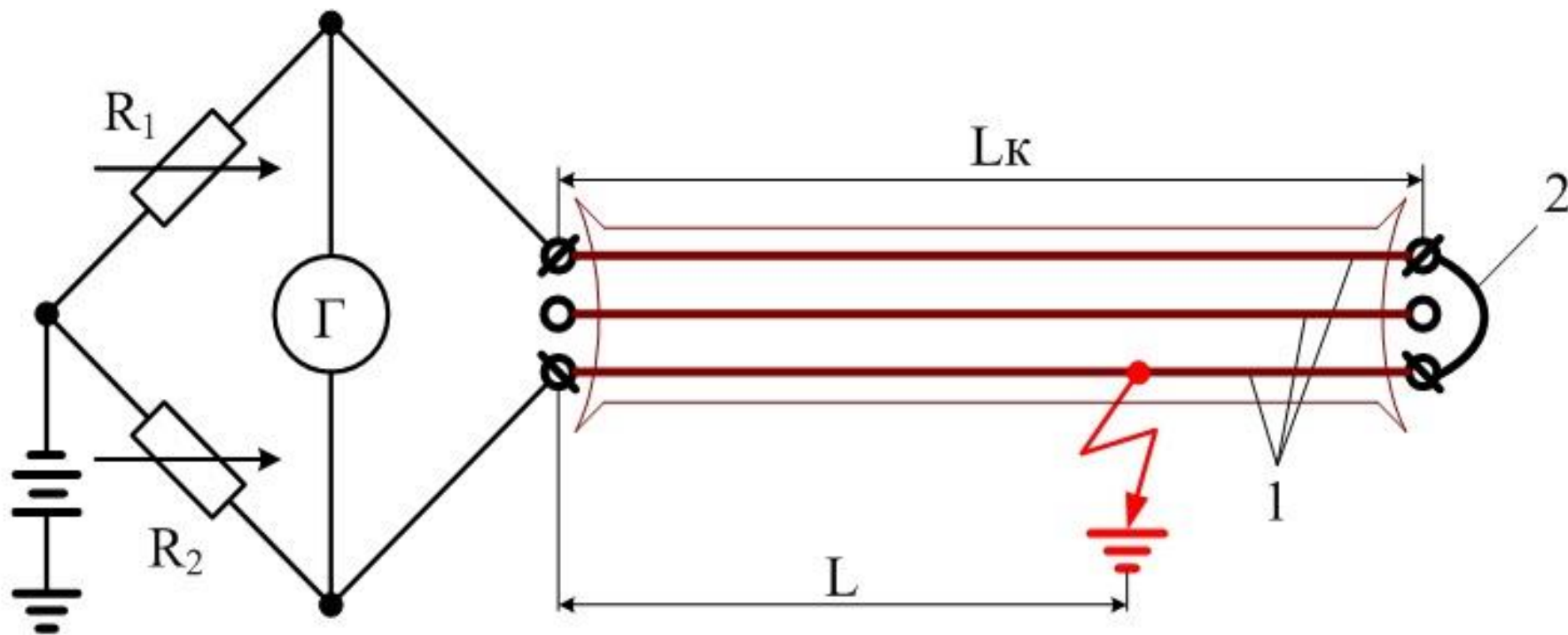


Рис. 7.1. Схема определения места повреждения *петлевым методом*:

1 - жилы кабеля; 2 - перемычка; R_1 , R_2 - сопротивления плеч моста; L_k - полная длина кабеля; L — длина кабеля до места повреждения.

$$l_x = 2L_k \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

$$L_k + L = 2L_k \frac{R'_1}{R'_1 + R'_2}$$

где L_k - полная длина кабеля;
 R'_1 и R'_2 - регулируемые сопротивления плеч.

$$0,997 < \left[\frac{R_1 / (R_1 + R_2)}{R'_1 / (R'_1 + R'_2)} \right] < 1,003$$

Петлевой метод применяют при небольших расстояниях до места повреждения ($L < 100 \dots 200$ м) и больших переходных сопротивлениях $1000 < R_n < 5000$ Ом. Погрешность определения места повреждения не более 0,1...0,3 % полной длины кабеля.

Ёмкостный метод используют для определения места повреждения с обрывом одной или нескольких жил кабеля и при сопротивлении изоляции поврежденной жилы не менее 5000 Ом. Метод заключается в измерении емкости оборванного участка жилы кабеля, которая пропорциональна его длине до места повреждения. Емкость можно измерять как на постоянном, так и на переменном токе. В практике применения емкостного метода встречаются три следующих принципиальных случая.

Случай 1 - обрыв одной жилы (рис. 7.2, *a*). Измеряют емкость оборванной жилы с одного C_1 и другого C_2 конца кабеля. Расстояние до места повреждения

$$l_x = L \frac{C_1}{C_1 + C_2}$$

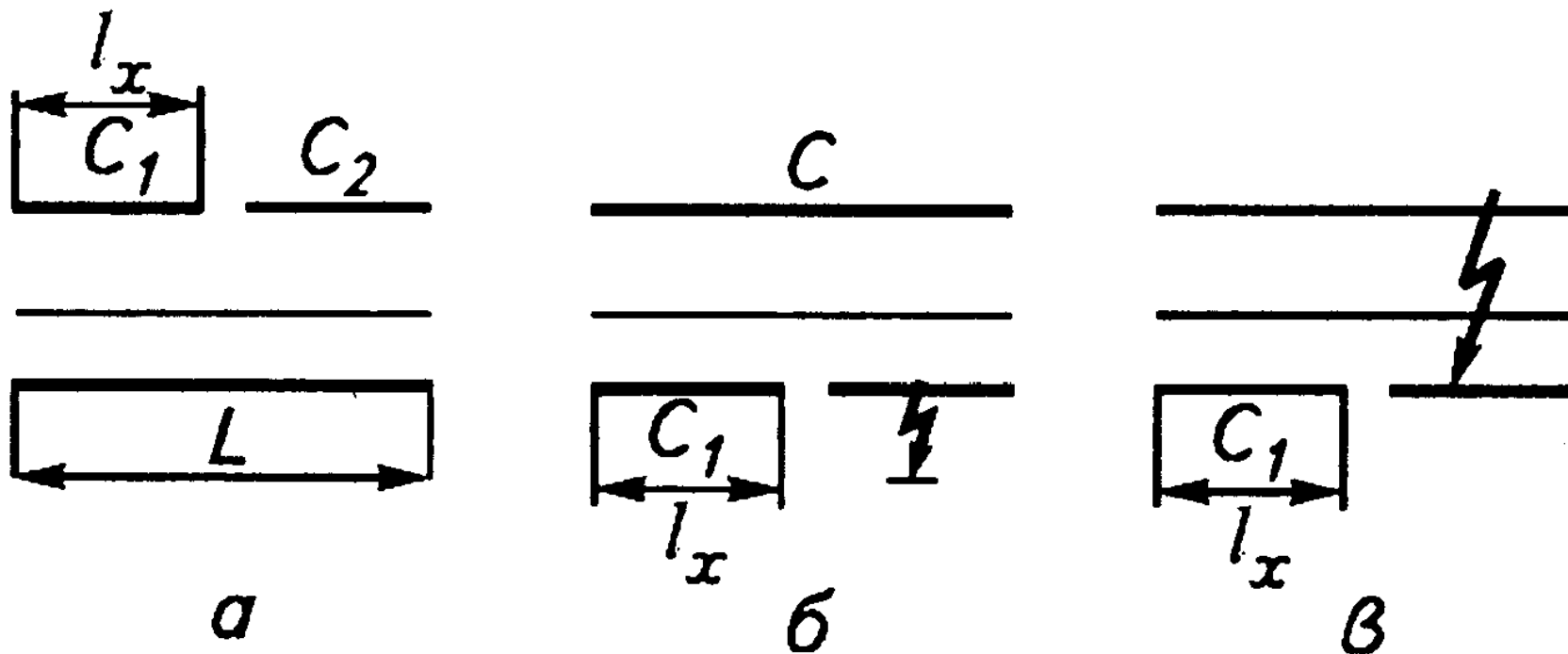


Рис. 8.2. Виды повреждений кабеля с обрывом жил:

a - обрыв одной жилы кабеля;

б - обрыв жилы с замыканием на землю ее половины;

в - обрыв одной жилы, все фазы имеют глухое заземление.

Случай 2 - обрыв одной жилы с замыканием на землю ее половины, $C_2 = 0$ (рис. 7.2, б). Измеряют емкость оборванной жилы и емкость целой жилы C . Расстояние до места повреждения

$$l_x = L \frac{C_1}{C}$$

Случай 3 - обрыв одной жилы, все фазы имеют глухое заземление, в том числе и один конец оборванной жилы (рис. 7.2, в). Расстояние до места повреждения

$$l_x = L \frac{C_1}{C_0}$$

где C_0 - удельная емкость 1 км кабеля, мкФ/км (из справочника).

Акустический метод применяют при условии, что в месте повреждения можно создать искусственный электрический разряд, прослушиваемый с поверхности земли или воды. При возникновении разряда в поврежденном месте одновременно с электромагнитными колебаниями возникает звуковая волна, которая может быть прослушана на поверхности земли или воды. Наибольшая слышимость будет непосредственно над местом повреждения кабеля. В качестве генератора импульсов разряда используют обычную испытательную установку высокого напряжения постоянного тока.

Индукционный метод применяют для определения места повреждения кабельной линии непосредственно на трассе. Он основан на принципе улавливания магнитного поля над кабелем, создаваемого током звуковой (тональной) частоты, пропускаемым по кабельной линии. По поврежденной жиле кабеля пропускают ток от генератора тональной частоты 800... 1000 Гц. При этом вокруг кабеля образуется магнитное поле, напряженность которого пропорциональна силе тока в кабеле, глубине залегания и расстоянию от его оси.

Оператор, продвигаясь вдоль трассы кабеля от места установки звукового генератора, при помощи испытательной рамки (антенны), усилителя и телефонных наушников определяет характер распространения этого поля и, следовательно, трассу кабельной линии, места расположения муфт, глубину заложения кабеля и место повреждения. Звук в наушниках слышен на участке трассы кабельной линии. В стороне от трассы или за местом повреждения слышимость в телефоне резко снижается.

Индукционный метод обеспечивает высокую точность определения места повреждения. Погрешность составляет не более 0,5 м. Применяют этот метод в тех случаях, когда переходное сопротивление в месте повреждения составляет не более 20...50 Ом.

Прожигание кабелей. При повреждении кабельных линий сопротивление изоляции продолжает оставаться большим, поэтому трудно подобрать методы для отыскания места повреждения. В этих случаях снижают переходное сопротивление до 10... 100 Ом путем прожигания изоляции в поврежденном месте с помощью специальных установок.

3. Ремонт КЛ.

Ремонт свинцовой или алюминиевой оболочек кабеля. Нарушение герметизации обычно происходит в результате механических повреждений при проведении земляных работ.

Такой ремонт выполняют в следующей последовательности:

- удаляют часть оболочки по обе стороны от места повреждения; осматривают и проверяют верхнюю ленту поясной изоляции на отсутствие влаги;
- выполняют разбортовку торцов заводской оболочки; восстанавливают герметизацию кабеля. Для этого на оголенный участок накладывают разрезанную вдоль свинцовую трубу и после обивки пропаивают продольный шов и шейки, а также заливочные отверстия после заполнения трубы кабельной массой;
- соединяют оболочку с броней кабеля и заключают кабель в защитный чугунный кожух для прокладки его в землю или в специальную стальную трубу для открытой прокладки.

Ремонт изоляции кабеля. В случае электрического пробоя изоляции при отсутствии повреждения токопроводящей жилы ремонт выполняют без разрезания жил кабеля, т. е. при помощи бесклеммной муфты. Для этого необходимо убедиться в полном отсутствии влаги в изоляции и наличии запаса кабеля, позволяющего развести жилы и выполнить подмотку дефектной изоляции. Для герметизации кабель закладывают в свинцовую трубу, заливают кабельной массой в том же порядке, что и при ремонте свинцовых и алюминиевых оболочек.

При капитальных ремонтах кабельных линий старые концевые муфты необходимо заменять новыми с герметической заделкой. В заделках, выполненных из эпоксидного компаунда, может нарушиться герметичность и вытекать пропиточный состав в нижней или верхней частях.

4. Профилактические испытания и измерения

В целях своевременного выявления и устранения дефектов изоляции кабеля, предупреждения аварийных повреждений КЛ в процессе эксплуатации подвергают *ежегодно профилактическим испытаниям.*

Кабели, находящиеся в *благоприятных условиях* по температурному режиму и способу прокладки, испытывают *не реже одного раза в три года.*

Внеочередные испытания кабельных линий проводят после ремонтных работ и окончания земляных работ на трассе. Основной метод - испытание кабеля повышенным напряжением постоянного тока.

КЛ напряжением до 1 кВ допускается испытывать только мегаомметром на напряжение 1000...2500 В.

В особо *ответственных кабелях* иногда измеряют диэлектрические потери. При профилактических испытаниях КЛ проверяют изоляцию каждой жилы кабеля по отношению к другим и оболочке.

Методы проведения отдельных видов испытаний. Для проведения испытаний КЛ отключают и заземляют. Затем с одной из фаз снимают заземление и подают испытательное напряжение. Напряжение поочередно подают на каждую жилу кабеля при заземлении двух других жил.

Состояние изоляции кабеля оценивают по значению тока утечки и его несимметрии по фазам.

Во время профилактических испытаний кабелей определяют:

- сопротивление изоляции;
- целостность жил и фазировку;
- температуру кабеля;
- сопротивление заземления концевых заделок;
- значение блуждающих токов.

Профилактические испытания проводят в теплое время года, в период наибольшей вероятности ухудшения изоляции.

Надежность работы кабельных линий зависит от состояния оболочек кабеля. Нарушение герметичности оболочек, проникновение воздуха и влаги во внутренние полости кабеля приводит к электрическому пробое изоляции.

Причины разрушения - химическое или электрическое взаимодействие окружающей среды.

Для определения коррозионной опасности и разработки мер защиты КЛ в первый год эксплуатации блуждающие токи измеряют не менее двух раз.

Для этого на КЛ проводят комплекс испытаний определяют :

- разность потенциалов между оболочками кабеля и землей;
- плотность тока, стекающего с кабеля в землю;
- ток протекающий по оболочке кабеля.

Периодичность измерений в последующие годы устанавливают на основании результатов первых измерений и анализа коррозионных зон.