

Основные методы определения места повреждения в силовых кабельных линиях.

После прокладки и монтажа, а так же в процессе эксплуатации, кабельные линии необходимо подвергать разнообразным испытаниям, в процессе которых выявляются ослабленные места или дефекты в изоляции и защитных оболочках кабелей, соединительной и концевой арматуры и других элементах кабельных линий.

Указанные дефекты могут возникать при изготовлении кабеля и арматуры на заводе - изготовителе из-за конструктивных недостатков кабеля и арматуры, несоблюдении технологии, при небрежной прокладке кабельных линий, при некачественном выполнении монтажных работ. Ослабленные места выявляются в



процессе эксплуатации кабельных линий. Кабельные линии, проложенные в земляной траншее, не смотря на дополнительную защиту и систематическое наблюдение за состоянием трассы, весьма подвержены внешним механическим повреждениям, которые могут возникать при прокладке и ремонте других городских подземных сооружений, проходящих по трассе кабельных линий.

За исключением прямых механических повреждений, ослабленные места и дефекты кабельных линий имеют скрытый характер. Своевременно не выявленные испытаниями они могут с той или иной скоростью развиваться под воздействием рабочего напряжения. При этом возможно полное разрушение элементов кабельных линий в ослабленном месте с переходом линии в режим короткого замыкания и ее отключение с соответствующим нарушением электроснабжения потребителей.

Полный перечень испытаний и поиска мест повреждений кабельных линий реализован на [электротехнических лабораториях](#), предлагаемых ООО «Энерго-Профиль».

При определении мест повреждения кабельных линий необходимо соблюдать основные требования:

- погрешность не должна превышать заданной величины (при этом учитываются трудности производства земляных работ на городских проездах с усовершенствованным покрытием);
- выполнение отыскания места повреждения должно ограничиваться несколькими часами;
- должны соблюдаться правила безопасности персонала.

Указанные требования усиливаются необходимостью быстрее ремонта кабельной линии при ее повреждении, так как при выводе линии в ремонт нарушается надежность электроснабжения потребителей и возрастают потери электроэнергии в сети.

При быстром определении места повреждения, ремонт линии ограничивается заменой участка кабеля длиной 3-5 м и монтажом двух соединительных муфт, в благоприятных случаях может быть установлена одна муфта. Если работы по определению места повреждения затягиваются, что ведет к проникновению влаги, то возникает необходимость замены участка кабеля с увлажненной изоляцией длиной уже в несколько десятков метров. Это, в свою очередь, увеличивает объем земляных работ и ведет к удорожанию ремонта линии.

В соответствии с установившейся практикой определяют место повреждения в два приема: сначала определяют зоны повреждения кабельной линии, затем уточняется место повреждения в пределах зоны. На первом этапе определение места повреждения производится с конца линии, на втором этапе - непосредственно на трассе линии. В связи с этим методы соответственно разделяются на дистанционные (относительные) и топографические (абсолютные). При сложных повреждениях необходимо сочетание различных методов определения мест повреждений.

К дистанционным (относительным) относятся: импульсный (рефлектометрия), **импульсно-дуговой метод**, **метод колебательного разряда** и мостовой, а к топографическим (абсолютным) - индукционный и акустический метод.

1. Импульсный метод (метод импульсной рефлектометрии).

Метод импульсной рефлектометрии успешно используется в практике определения мест повреждения в силовых кабельных линиях уже несколько десятилетий. На основе метода импульсной рефлектометрии работают современные приборы "Портативный цифровой рефлектометр РЕЙС-105М", "Рефлектометр цифровой РЕЙС-205" и "Рефлектометр цифровой РЕЙС-305".

Сущность метода импульсной рефлектометрии заключается в следующем:

1. Зондировании кабеля (двухпроводной линии) импульсами напряжения.
2. Приеме импульсов, отраженных от места повреждения и неоднородностей волнового сопротивления.
3. Выделении отражений от места повреждений на фоне помех (случайных и отражений от неоднородностей линий).
4. Определении расстояния до повреждения по временной задержке отраженного импульса относительно зондирующего.

С генератора импульсов зондирующие импульсы подаются в линию. Отраженные импульсы поступают с линии в приемник, в котором производятся необходимые преобразования над ними. С выхода приемника преобразованные сигналы поступают на графический индикатор. Все блоки импульсного рефлектометра функционируют по сигналам блока управления.

На графическом индикаторе рефлектометра воспроизводится рефлектограмма линии - распределение отраженных сигналов как реакция линии на зондирующий импульс.

Вид отраженного сигнала зависит от характера повреждения или неоднородности. Например, при обрыве отраженный импульс имеет ту же полярность, что и зондирующий, а при коротком замыкании отраженный импульс меняет полярность.

В идеальном случае, когда отражение от повреждения полное и затухание отсутствует, амплитуда отраженного сигнала равна амплитуде зондирующего импульса.

2. Импульсно-дуговой метод (Arc Reflection).

Этот метод применяется для определения зоны повреждения кабеля в любых случаях, кроме заплывающего пробоя, при переходном сопротивлении до 150 Ом. **Импульсно-дуговой метод** реализован в составе электротехнической лаборатории.

Сущность импульсно-дугового метода заключается в одновременном воздействии на кабельную линию высоковольтным импульсом от блока акустики и одновременном измерении методом импульсной рефлектометрии. При подаче импульса от источника высокого напряжения к кабельной линии, через комбинированное

устройство сопряжения с функцией поддержания горения дуги (**адаптер ИДМ**), в месте высокоомного дефекта возникает пробой, образуя дуговой разряд. За счет индуктивности устройства, ток дуги поддерживается в течение определенного времени. При этом электрическое сопротивление дуги близко к нулю (короткому замыканию). По времени пробега импульса до места повреждения и обратно определяют расстояние до точки повреждения кабеля. Скорость распространения импульсов в кабельных линиях высокого и низкого напряжения величина постоянная и равна 160 м/мкс.

Импульсный рефлектометр РЕЙС-305М подключается через комбинированное устройство сопряжения **ИДМ-20**. Зондирующие импульсы от рефлектометра поступают в кабельную линию, а отраженные - возвращаются в рефлектометр.

По форме отраженного импульса можно судить о характере повреждения. Отрицательное значение отраженный импульс имеет при коротких замыканиях и положительное при обрыве жил.

Преимуществом **импульсно-дугового метода** является использование его для определения расстояния до места сложного (высокоомного) или неустойчивого повреждения.

Структурная схема реализации импульсно-дугового метода представлена на рисунке.



3. Метод колебательного разряда с использованием бегущей волны напряжения.

Этот метод применяется при заплывающих пробоях кабелей. **Метод колебательного разряда** реализован в составе электротехнической лаборатории.

Сущность метода бегущей волны напряжения состоит в следующем: в кабельную линию от источника выпрямленного испытательного напряжения, через присоединительное устройство КР-70, подают напряжение, которое плавно повышается до напряжения пробоя. В момент пробоя в кабеле возникает разряд колебательного характера, образуется две волны, одна из которых распространяется от места пробоя к началу кабеля, а другая - к концу кабеля. Величина сопротивления сопрягающего устройства КР-70 значительно больше волнового сопротивления линии. Первая волна, достигнув начала кабеля, отражается от большого сопротивления устройства и, не изменяя полярности, распространяется к месту повреждения. В месте повреждения вновь возникает пробой и отражение с обратным знаком, и так далее до тех пор, пока энергии волны достаточно для пробоя в месте повреждения.

Период колебаний определяет расстояние до точки повреждения, так как скорость электромагнитной волны распространяется в кабеле с постоянной скоростью. Измерение выполняется рефлектометром РЕЙС-305М.

Структурная схема реализации метода бегущей волны напряжения представлена на рисунке.



4. Мостовой метод (метод петли).

Этот метод основан на измерении сопротивлений при помощи моста постоянного тока.

Применение метода возможно при повреждении одной или двух жил кабеля и наличии одной здоровой жилы. При повреждении трех жил можно использовать жилу рядом проложенного кабеля. Для этого поврежденную жилу накоротко соединяют с целой с одной стороны кабеля, образуя петлю. К противоположным концам жил присоединяю регулируемые сопротивления моста.

Равновесие моста будет выполняться при условии:

$$R1 / R2 = Lx / L + (L - Lx)$$

Так как сопротивление жилы прямо пропорционально ее длине, то:

$$Lx = 2L * R1 / (R1 + R2)$$

где R1 и R2 - регулируемые сопротивления моста, (Ом);

L - длина трассы;

Lx - расстояние до точки повреждения, (м).

К недостаткам этого метода следует отнести большие затраты времени на измерение, меньшую точность измерения, необходимость установки закороток. Поэтому мостовой метод сейчас вытесняется [импульсно-дуговым методом](#) и [методом колебательного разряда](#).

5. Индукционный метод.

Этот метод применяют для непосредственного отыскания на трассе кабеля мест повреждения при пробое изоляции жил между собой или на земле, обрыве с одновременным пробоем изоляции между жилами или на земле, для определения трассы и глубины залегания кабеля, для определения местоположения соединительных муфт. Индукционный метод реализован в составе [электротехнической лаборатории](#).

Сущность метода заключается в фиксации с поверхности земли с помощью приемной рамки характера изменения электромагнитного поля над кабелем при пропускании по

нему тока звуковой частоты от долей до десятков ампер в зависимости от наличия помех и глубины залегания кабеля. ЭДС, наводимая в рамке, зависит от токораспределения в кабеле и взаимного пространственного расположения рамки и кабеля. Зная характер изменения поля, можно при соответствующей ориентации рамки определить трассу и место повреждения кабеля. Более точные результаты получают при прохождении тока по цепи «жила - жила», для этого выжиганием однофазные замыкания переводят в двух и трехфазные или создают искусственную цепь «жила - оболочка кабеля», разземляя последнюю с двух сторон и подключая генератор [индукционно-поискового комплекта](#) к жиле и оболочке кабеля.

Силовые линии поля тока «жила - земля» представляют собой концентрические окружности, центром которых является ось кабеля (поле одиночного тока).

При использовании цепи «жила - жила» ток, идущий по прямому и обратному проводам, создает два концентрических магнитных поля, действующих в противоположных направлениях (поле пары токов). При расположении жил в горизонтальной плоскости результирующее поле на поверхности земли наибольшее, а при расположении жил в вертикальной плоскости - наименьшее. Поскольку кабели имеют скрутку жил, то в рамке, расположенной вертикально и перемещаемой вдоль трасс кабеля будут индуцироваться ЭДС, изменяющаяся от минимума при вертикальном расположении жил, до максимума при горизонтальном расположении жил.

Для определения глубины прокладки кабеля сначала находят линию трассы кабеля и проводят черту. Затем, располагая ось рамки под углом 45 градусов к вертикальной плоскости, проходящей через ось кабеля, проходят до момента отсутствия в рамке индуцированного ЭДС. Расстояние от этого места до трассы, отмеченной чертой, равно глубине залегания кабеля.

6. Акустический метод.

Акустический метод реализован в составе [электротехнической лаборатории](#).

Сущность акустического метода состоит в создании в месте повреждения искрового разряда и прослушивании на трассе вызванных этим разрядом звуковых колебаний, возникающих над местом повреждения. В качестве генератора импульсов применяется блок акустики.

Этот метод применяют для обнаружения на трассе всех видов повреждений с условием, что в месте повреждения может быть создан электрический разряд. Для возникновения устойчивого искрового разряда необходимо, чтобы величина переходного сопротивления в месте повреждения превышала 40 Ом.

Слышимость звука с поверхности земли зависит от глубины залегания кабеля, плотности грунта, вида повреждения кабеля и мощности разрядного импульса. Глубина прослушивания колеблется в пределах от 1 до 5 м.

Для прожига дефектной изоляции силовых кабелей с целью снижения переходного сопротивления в месте дефекта до величины, позволяющей применять методы точного определения места повреждения, применяется [установка прожига](#).