

## АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТ ПОВРЕЖДЕНИЙ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ

*Такырбашев Канат Бейшеналиевич*, инженер РЗА, ОАО Северэлектро, ОАО «Северэлектро», Кыргызстан, Чуйская обл., Аламудунский р-н, с. Лебединовка, ул. Чкалова 3, e-mail: [kanatchik@gmail.com](mailto:kanatchik@gmail.com)

**Аннотация.** Дальнейшее совершенствование современных устройств определения места повреждения на высоковольтных воздушных линиях обуславливает необходимость разработки новых методов, математических моделей и соответствующих цифровых технологий. В статье излагаются актуальные вопросы, связанные с дуговым коротким замыканием на землю. Описаны недостатки, достоинства и произведен сравнительный анализ существующих методов ОМП. Вопросы уменьшения погрешности одного из возможных методов идентификации математической модели дугового короткого замыкания на земли.

**Ключевые слова:** дуговое короткое замыкание на земли, определение места повреждения, математической модели, погрешности, идентификации

### ACTUAL ISSUES OF DAMAGE LOCALIZATION FOR OVERHEAD TRANSMISSION LINES

*Takyrbashev Kanat Beishenalievich*, relay protection and automation engineer, JSC Severelectro, JSC Severelectro, Kyrgyz Republic, Chui region, Alamudunsky district, Lebedinovka village, Chkalov str. 3, e-mail: [kanatchik@gmail.com](mailto:kanatchik@gmail.com)

**Abstract.** Further improvement of modern devices for determining the location of damage on high-voltage overhead transmission lines necessitates the development of new methods, mathematical models and corresponding digital technologies. The article outlines actual issues related to arc fault to earth. The disadvantages, advantages are described and a comparative analysis of the existing methods of earth fault detection and localization. Issues of reducing the error of one of the possible methods for identifying the mathematical model of an arc earth fault.

**Keywords:** Key words: arc short circuit on the ground, determination of the place of damage, mathematical model, errors, identification.

#### Введение

На воздушных линиях электропередачи (ВЛ ЛЭП) довольно часто возникают повреждения различного вида, которые приводят к выходу линии из работы. Как следствие, имеет место недоотпуск электроэнергии, снижение надежности и качества электро-

снабжения. Очевидно, одной из важнейших задач ремонтных служб предприятий электросетей является быстрое определение места повреждения (ОМП) и организация ремонтно-восстановительных работ. До внедрения в энергосистемы приборов ОМП поиск повреждения осуществлялся путем обходов, объездов, а иногда облетов трассы линии на вертолете. В результате тратилось значительное время, так как линии имеют большую протяженность, а трасса часто проходит по труднопроходимой местности в Кыргызской Республике. Кроме того, место повреждения иногда плохо различимо даже с близкого расстояния, поскольку на гирлянде изоляторов после перекрытия часто не остается заметных следов обгорания.

Сложнее дело обстоит с поиском места самоустраняющегося повреждения, то есть, когда после автоматического повторного включения линия остается в работе. Несомненно, ремонтным службам необходима информация о таких повреждениях, так как после них часть изоляторов в гирлянде оказывается пробитой, и на линии остается ослабленное место, в котором возможно повторение аварии.

В настоящее время разработано множество различных устройств и методик определения места повреждения, но погрешность измерения все еще остается достаточно велика. В связи с вышеизложенным, развитию методов ОМП уделяется большое внимание, что говорит об *актуальности проблемы*.

В Кыргызстане более 70% высоковольтных линий 110кВ и выше, проходят через горные местности. Как известно на горную линию воздействует следующие возмущающие факторы: воздействия молний, облака, прилипание снега, дым и сильный ветер. В результате этих возмущающих факторов происходит короткие замыкания, обрыв проводов на линии, приводящие к повреждению линии.

Определяется место повреждения (ОМП) с помощью осциллограмм, регистратора аварийных событий и фиксирующих приборов, по данным этих приборов рассчитывается приблизительное место повреждения линии. Многолетние статические данные НЭСК показали что, 80% коротких замыканий приходится на долю однофазных коротких замыканий (ОКЗ), а количество дуговых однофазных коротких замыканий (ДОКЗ) составило более 70% от ОКЗ на ВЛ 110кВ, 80% от ОКЗ на ВЛ 220кВ, 90% от ОКЗ на ВЛ 500кВ. С помощью существующих методов наиболее точно определяется место КЗ при условии металлического КЗ, а дуговом коротком замыкании (ДКЗ) из-за нелинейности сопротивления дуги, определить точное место КЗ невозможно. Поэтому ОМП на линиях 110кВ и выше при условии ДОКЗ становится наиболее актуальным.

Существующие методы ОМП основаны на измерении линейных параметров линии и не учитывают нелинейную характеристику электрической дуги. После аварийного отключения ВЛ 110кВ и выше от действия релейной защиты, требуется оперативно определять и устранять место повреждения на линии. Оперативности определения и устранения места повреждения линии зависит от квалификации персонала и от достоверности параметров линии указанных в паспортных данных для расчета. Главной проблемой ОМП линии при ДОКЗ становится не учёт нелинейности дугового активного сопротивления. Так как существующие методы основаны на теории дистанционной защиты, который реагирует на замер величины полного линейного сопротивления до места КЗ. Во всех расчетах все параметры принимаются линейными. Определять точное место при ДОКЗ существующими методами невозможно, поэтому требуется другой подход для решения этой проблемы.

### **Обзор существующих методов ОМП**

Потребность в ОМП возникла на рубеже XIX и XX веков. Одно из первых упоминаний о необходимости проведения такой процедуры дается в [1]. На практике ОМП получило интенсивное развитие в послевоенные годы, начиная с работ Розенкнопа М.П. [2], которые занимался как теоретическими разработками, как и их практической реализацией. Разнообразие структуры и условий работы электрических сетей привело к развитию большого количества методов ОМП, которые представлены на рисунке 1 [3-6].

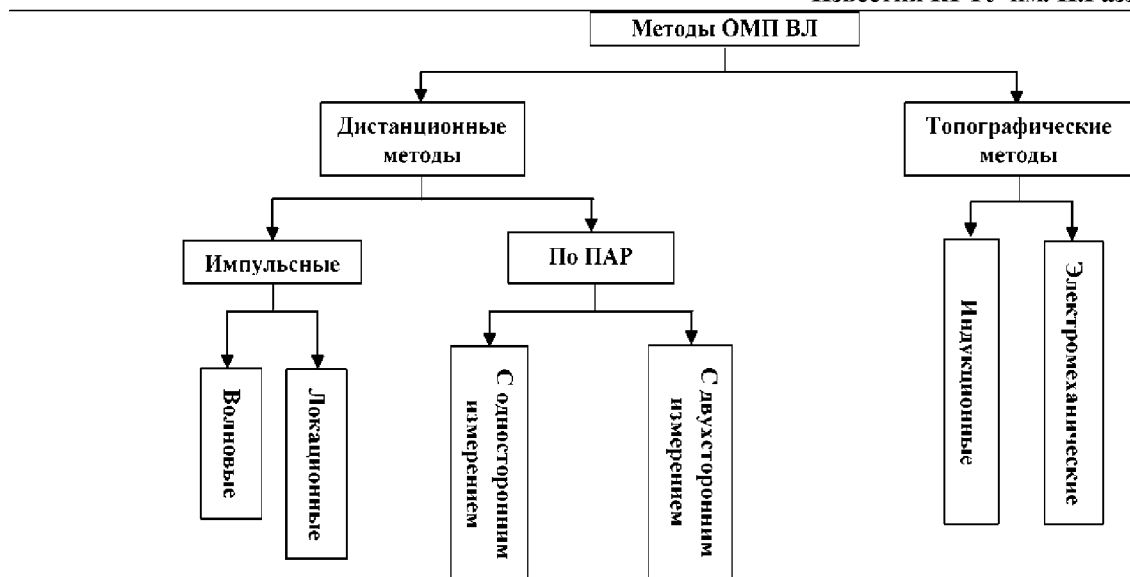


Рис.1. Классификация методов ОМП ВЛ

В целом существующие методы ОМП можно разделить на две основные группы - топографические и дистанционные [3-6]. Топографические методы ОМП подразумевают определение места повреждения непосредственно на трассе линии. Данная группа методов, обладает высокой точностью, однако требует большие временные затраты. Дистанционные методы ОМП заключаются в измерении расстояния до места повреждения с концов линии. Эта группа методов, напротив, позволяет быстро определить место повреждения, но обладает ограниченной точностью.

Кратко рассмотрим принципы работы представленных на рисунке 1 групп методов.

Индукционные методы предназначены для топографического определения места повреждения на воздушных и кабельных (КЛ) линиях. Суть методов заключается в фиксации параметров магнитного поля токов, протекающих по проводам и в земле вдоль трассы линии. С помощью специальных датчиков, усилителей и индикаторов при их перемещении вдоль трассы линии улавливаются изменения параметров магнитного поля вблизи места повреждения.

Индукционный метод обеспечивает высокую точность определения места повреждения (погрешность составляет не более 0,5 м), однако требует больших временных затрат, а также предварительного определения зоны с местом повреждения с помощью дистанционных методов.

В основе электромеханических методов лежит фиксация механических усилий, которые создаются за счет энергии тока короткого замыкания (КЗ). Блинкеры (устройства для фиксации механических усилий) устанавливаются на опорах ВЛ и в распределительных устройствах. Эти устройства служат для сигнализации протекания тока КЗ через контролируемый объект.

Электромеханический метод весьма прост, что может быть отнесено к его достоинствам, однако для обнаружения места повреждения таким методом необходимо непосредственно следовать вдоль ВЛ, что требует больших временных затрат, а также предварительное определение предполагаемого места повреждения одним из дистанционных методов.

Импульсные методы [3-6] базируются на измерении временных интервалов при распространении электромагнитных волн по линии. Импульсный метод, можно разделить на локационный и волновой (рис.1).

Локационный метод [3-6] основан на измерении промежутка времени между моментом посылки зондирующего импульса и моментом прихода к началу линии

отраженного от места повреждения импульса. Послав импульс в линию, замеряют интервал время двойного пробега импульса до точки повреждения. Тогда расстояние до места повреждения определяется как произведение скорости распространения импульса и интервала, разделенное пополам.

Так как волновые характеристики воздушных линий зависят от рельефа местности, расположения проводов на опорах и других факторов, то во избежание внесения ошибок в результаты проверки рекомендуется иметь предварительно снятые характеристики каждой исправной линии. С этими характеристиками сравниваются характеристики, снятые в аварийном состоянии. Точность определения мест повреждений локационными искателями находится в пределах 0,3-0,5% от длины линии.

К недостаткам, которые часто встречаются в эксплуатации и мешают точному определению мест повреждений на линиях, относятся:

- дефекты воздушных проводов в открытых распределительных устройствах (обрывы проводов, непропаянные скрутки);
- повреждения защитных фильтров, которые из-за нарушения сроков профилактики не были своевременно выявлены;
- необученность персонала работе с импульсными измерителями.

Все работы с локационными измерителями должны проводиться в строгом соответствии с требованиями техники безопасности.

Волновой метод может применяться в случаях, когда сопротивление в месте повреждения составляет от нуля Ом до сотен кОм. Этот метод реализуется на базе односторонних или двухсторонних измерений [3-6].

В основе волнового метода двухсторонних измерений лежит измерение промежутка времени между моментами достижения концов линии фронтами электромагнитных волн, которые возникают в точке повреждения.

В случае пробоя изоляции провода (находящегося под напряжением)

на землю в некоторой точке, находящейся от конца линии на расстоянии  $L_1$ , напряжение резко понижается. В результате в месте повреждения возникают электромагнитные волны напряжением -  $U$ , распространяющиеся в обе стороны со скоростью  $v$ .

За время  $t_1 = (L-L_1)/v$  фронт одной из волн достигает ближнего конца линии, спустя интервал  $t_2 = L_1/v$  фронт второй волны достигает дальнего конца. Интервал времени:

$$t_2 - t_1 = 2L_1/v - L/v \quad (1)$$

Поскольку длина линии  $L$  известна, из выражения (1) можно найти расстояние до места повреждения:

$$L_1 = L/2 - \Delta t/2 * v \quad (2)$$

К достоинствам волнового метода можно отнести его простоту и применимость в случаях, когда сопротивление в месте повреждения составляет от нуля Ом до сотен кОм.

Недостатками является низкая точность измерения, обусловленная необходимостью проведения нескольких измерений, задержками времени при получении результата, высокой чувствительностью к помехам, вызванным соединением проводников.

Методы ОМП по ПАР основаны на измерении параметров аварийного режима (ПАР) [7-11] - составляющих или комбинаций напряжений и токов в аварийном режиме.

В зависимости от месторасположения устройств измерения токов и напряжений эти методы делятся на одно и двухсторонние (см. рис.1).

Двусторонним методам ОМП по ПАР свойственны следующие недостатки:

- необходимость получения полной и синхронизированной информации о токах и напряжениях с двух концов линии;
- значительные капитальные вложения при технической реализации устройств, зависимость надежности и точности ОМП от качества работы самих фиксирующих

устройств, установленных по концам линии, средств синхронизации и каналов связи.

- использование в расчетных формулах параметров контура нулевой последовательности (НП), что приводит к возникновению погрешностей, связанных с недостаточной точностью моделирования этого контура.

Односторонние методы ОМП позволяют определять расстояние до места повреждения без передачи информации с другого конца линии, что является их существенным преимуществом перед двусторонними методами. К достоинствам односторонних методов также относится возможность определения места КЗ при всех его видах и достаточность установки фиксирующего прибора только на одном из концов ВЛ.

Общим недостатком этих методов является повышенная погрешность ОМП по сравнению с двусторонними методами, которая обусловлена: необходимостью моделирования переходного сопротивления в месте повреждения; приближенным учётом параметров источника питания на ненаблюдаемом конце линии; осложнениями ОМП на линиях с ответвлениями; и использованием в расчетных формулах параметров НП [12-14].

- методы ОМП наиболее точны, но занимают значительное время и применяются при предварительном определении зоны с местом повреждения другими методами;

- импульсные методы ОМП дают более точные результаты по сравнению с методами определения мест повреждения ВЛ по ПАР, однако требуют значительно больших финансовых вложений; при этом импульсные методы ОМП малоэффективны на неоднородных линиях за счет появления «паразитных» отражений импульсов;

- двухсторонние методы ОМП по ПАР обладают приемлемой точностью, но требуют значительных капитальных вложений; надёжность и точность ОМП по ПАР зависят от качества средств измерения, синхронизации и передачи данных по параметрам режима линии; в расчетных формулах используются параметры НП, что негативно влияет на точность ОМП.

- односторонние методы ОМП по ПАР базируются на использовании приближённой информации. Такой, как переходное сопротивление в месте повреждения и параметры источника питания на противоположном конце поврежденной линии, в результате чего возникает методическая погрешность. Кроме того, в расчетных формулах используются параметры НП, что негативно влияет на точность ОМП.

Из перечисленных выше методов ОМП наибольшее распространение получила группа методов ОМП по ПАР, что обусловлено их экономической выгодностью, по сравнению с импульсными (локационными) методами и меньшими временными затратами, по сравнению с топологическими методами, а также их простотой и использованием алгоритмов, применяющихся в устройствах релейной защиты и автоматики (РЗА).

Значительное развитие измерительных средств, которое заключается в переходе от аналоговых устройств к цифровым, выполненным на базе микропроцессорных устройств (МПУ), дает возможность совершенствования методов ОМП по ПАР.

Выше упомянутые недостатки методов ОМП заставляет искать новые более универсальные методы. Актуально стоит вопрос получения модели ВЛ с использованием комплексной формулы сопротивлений и емкостей проводимости. Желательно при расчете использовать все имеющийся источники информации о комплексных токах и напряжениях по концам ВЛ, отпаек ВЛ и параллельных линий, а также идентификация неконтролируемых комплексных параметров поврежденной линии. В процессе анализа аварийных отключений происшедших на высоковольтных воздушных линиях Кыргызской Республики выявлено, что при повреждении линии в одностороннем замере параметров погрешности в начале линии оказались меньше чем в конце линии.

#### **Выводы и рекомендации**

В результате обзора и анализа существующих методов ОМП необходимо построить и исследовать модели дугового короткого замыкания на землю, разработать совершенно новый метод, направленный на уменьшение погрешности. Для расчета ОМП необходима

использовать комплексные параметры (токи и напряжений) во время аварийных событий на ВЛ, разработать комплекс, который позволяет идентифицировать электрическое состояние линии, токи и напряжения, которых не измеряются и не контролируются в традиционных устройствах ОМП. Разрабатываемые методы должны быть ориентированы для совершенствования современных устройств ОМП на основе создания в их составе новых подсистем, предназначенных для решения диагностических задач в целях повышения эффективности высоковольтных ВЛ.

### Литература

1. Кессельринг Ф. Селективная защита. Перевод с немецкого. М - Л: Энергоиздат, 1932, 179 с.
2. Розенкноп М. П. Определение места замыкания на землю по токам и напряжениям кривой последовательности в сетях разной конфигурации. ОРГРЭС, Энергия, 1964.
3. Аржанников Е.А., Лукоянов В.Ю., Мисирханов М.Ш. Определение места короткого замыкания на высоковольтных линиях электропередачи./ Под ред. Шуина. - М.: Энергоатомиздат, 2003.-272 с.
4. Арцишевский Я.Л. Метод повышения точности определения мест повреждения элементов электрической сети путём уточнения её параметров // Вестник МЭИ. - 2007. - №1 - С. 64-70.
5. Аржанников Е.А., Чухин А.М. Методы и приборы определения места короткого замыкания на линиях. - Иваново: Ивановский гос. энерг. ун-т, 1998. - 74 с.
6. Машенков В.М., к.т.н. Особенности определения места повреждения на ВЛ напряжением 110-750 кВ. Издание центра подготовки кадров энергетики, 2005 г.
7. Гриб О. Г, Калюжный Д. Н. Сендерович Г. А. Одностороннее определение места повреждения воздушных линий по параметрам аварийного режима в сетях с эффективно-заземленной нейтралью // Электрические станции. - 2006. - №2. - С. 42-46.
8. Кузнецов А.П, Кудрявцев А.А., Борухман В.А. Устройства для определения мест повреждения на воздушных линиях электропередачи 6-750 кВ. - М.: Энергия, - 1980. - 104 с.
9. Рекомендации по вводу в работу и эксплуатации микропроцессорных приборов ОМП типа ИМФ-ЗР. проф., д.т.н. Аржанников, Е.А., инж. Бобров С.Е., вед. инж. Лукоянов В.Ю.
10. Шальт Г.М., Айзенфельд А.И., Мылый А.С.. Определение мест повреждения линий электропередачи по параметрам аварийного режима. /М.: Энергоатомиздат. 1983 г.-208 с.
11. Пирогов М.Г., Чепелев В.Н. Дистанционное определение места повреждения на линии с применением нового адаптивного алгоритма. // Энергоэксперт. - 2009. - № 4. С. 54-55.
12. Абрамочкина Л. В., Бацева Н. Л. , Хрущев Ю. В. Методика определения места короткого замыкания на линии электропередачи повышенной точности // Электротехнические комплексы и системы управления. - 2012 - №. 2 (26) - С. 32-35
13. Хрущев Ю.В., Бацева Н.Л., Абрамочкина Л.В. Идентификация погонных параметров протяженной линии электропередачи с использованием регистраторов аварийных сигналов // Известия ТПУ. - 2011. - Т. 318. № 4 С. 118-122
14. V. Khrushchev, N. L. Batseva, L. V. Abramochkina. The method of identifying of overhead power line attenuation parameters in prefault conditions // Materialy VIII mezinarodnf vedecko - prakticka conference «Prednf vedecke novinky - 2012». - Dfl 11. Technicke vedy. Telovychova a sport: Praha. Publishing House «Education and Science» s.r.o - 88 stran

### LIST OF REFERENCES

1. Kesselring F. Selective protection. Translated from German. М - L: Energoizdat, 1932, 179 p.
2. Rosenkноп MP Determine the location of the earth fault by currents and voltages in networks of different configurations. ORGRES, Energy, 1964.
3. Arzhanikov E.A., Lukoyanov V.Yu., Misirkhanov M.Sh. Determination of the location of a short circuit on high-voltage power lines. Shuin. - М .: Energoatomizdat, 2003 - 272 p.

4. Artsishevsky Ya.L. The method of increasing the accuracy of determining the locations of damage to the elements of the electrical network by specifying its parameters. Vestnik MPEI. - 2007. - No. 1 - p. 64-70.
5. Arzhannikov E.A., Chukhin A.M. Methods and devices for determining the location of a short circuit on lines. - Ivanovo: Ivanovo state. energ. un-t, 1998. - 74 p.
6. Mashenkov VM, Ph.D. Features of determining the location of damage on overhead lines with a voltage of 110-750 kV. Publication of the energy training center, 2005
7. Grib OG, Kalyuzhny DN Senderovich GA Unilateral determination of the location of damage to overhead lines by the parameters of emergency mode in networks with an effectively grounded neutral. Electric stations. - 2006. - No. 2. - pp. 42-46.
8. 8. Kuznetsov A.P., Kudryavtsev A.A., Borukhman V.A. Devices for locating damage points on overhead power lines 6-750 kV. - M.: Energy, - 1980.-- 104 p.
9. 9. Recommendations for the commissioning and operation of microprocessor-based devices OMP, type IMF-3R. prof., doctor of technical sciences Arzhannikov, E.A., engineer. Bobrov S.E., led. Ing. Lukoyanov V.Yu.
10. Shalt GM, Aizenfeld AI, Mylyi AS. Determination of places of damage to power lines by parameters of emergency mode. / M.: Energoatomizdat. 1983 -208 p.
11. Pirogov M.G., Chepelev V.N. Remote determination of the fault location on the line using a new adaptive algorithm. // Energoexpert. - 2009. - No. 4. pp. 54-55.
12. Abramochkina LV, Batseva NL, Khrushchev Yu. V. Methodology for determining the location of a short circuit on a high-precision power transmission line. Electrotechnical complexes and control systems. - 2012 - No. 2 (26) - pp. 32-35
13. Khrushchev Yu.V., Batseva N.L., Abramochkina L.V. Identification of linear parameters of an extended power transmission line using alarm recorders // Izvestia TPU. - 2011. - T. 318.No. 4. pp. 118-122
14. V. Khrushchev, N. L. Batseva, L. V. Abramochkina. The method of identifying of overhead power line attenuation parameters in prefault conditions // Materialy VIII mezinarodnf vedecko - prakticka conference "Prednf vedecke novinky - 2012". - Dfl 11. Technicke vedy. Telovychova a sport: Praha. Publishing House "Education and Science" s.r.o - 88 p