УДК 621.311.1

**ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ КАБЕЛЬНОГО ХОЗЯЙСТВА**

**АО «ОРЁЛОБЛЭНЕРГО»**

**Тимохин В.А.**

*Россия, г. Орёл, АО «Орёлоблэнерго»*

**Качанов А.Н., Перьков В.С.**

*Россия, г. Орёл, ФГБОУ ВО «ОГУ им. И.С. Тургенева»*

*В работе дана оценка технического состояния кабельных сетей АО «Орёлоблэнерго». Классифицированы причины повреждений кабельных линий 6(10) и 0,4 кВ с различными типами изоляций. Рассмотрены физические основы электромагнитных процессов возникающих в кабельных линиях при канализации электрической энергии. Составлена математическая модель и проанализированы пути повышения пропускной способностикабельных линий.*

***Ключевые слова:*** *АО «Орёлоблэнерго»; причины повреждения; основы электромагнитных процессов; кабельные линии; математическая модель.*

В настоящее время на балансе АО «Орёлоблэнерго» находиться 4377 кабельных линий, общей протяженностью 1006,388 км, в том числе 1062 линии напряжением 6-10кВ протяженностью 512,697 км и 3315 линии напряжением 0,4 кВ протяженностью 493,691 км. В основном это многожильные кабели с бумажно-масляной изоляцией, находящиеся в эксплуатации 25 и более лет. В последние годы, как и на других предприятиях, в АО «Орёлоблэнерго» наметилась тенденция при проектировании новых кабельных линий разных классов напряжений применять кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена.

Сведения о причинах повреждений кабельных линий 6(10) и 0,4 кВ на предприятии за период с 2017 г. по 2019 г., по г. Орел, сведены в таблицу№ 1, а также представлены в виде диаграмм на рисунке *1*(*а* и *б*).

*Таблица 1* – *Сведения опричинах повреждений КЛ ОА «Орёлоблэнерго» по г. Орел*

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Причины повреждения | Кабельные линии 6 – 10 кВ | | | Кабельные линии 0,4 кВ | |
| Общее количество числа повреждений, шт. | Отношение к общему числу повреждений, % | | Общее количество числа повреждений, шт. | Отношение к общему числу повреждений, % |
| Повреждение КЛ сторонними организациями при производстве земляных работ | 24 | 6 | | 16 | 8 |
| Почвенная эрозия | 12 | 3 | | 10 | 5 |
| Заводской брак | 4 | 1 | | 2 | 1 |
| Межфазное короткое замыкание | 151 | 38 | | 48 | 25 |
| Однофазное короткое замыкание | 64 | 16 | | 57 | 29 |
| Неисправность соединительной муфты | 80 | 20 | | 33 | 17 |
| Неисправность концевой муфты | 40 | 10 | | 16 | 8 |
| Блуждающие токи | 30 | 6 | | 13 | 7 |
| *а)* | | | *б)* | | |

***Рисунок 1 – Результаты анализа причин повреждения кабелей напряжением 6(10) кВ (а) и 0,4 кВ (б)***

Для оценки технического состояния кабелей на предприятии применяют традиционные методы разрушающей диагностики с подачей повышенного испытательного напряжения, а также внедряются и неразрушающие методы контроля, по результатам которых также можно оценить состояние изоляции.

Как показал опыт эксплуатации, повреждения в кабелях с бумажно-масляной изоляцией при проведении разрушающих методов диагностики локализуются, как правило, в концевых и соединительных муфтах. Выход из строя кабельной арматуры – результат нарушения технологии её монтажа. Известно также, что положительные результаты испытаний повышенным напряжением (выпрямленным, промышленной частоты, сверхнизкой частоты или импульсным) не гарантируют дальнейшую безаварийную работу кабельных сетей. При испытании любым из указанных выше методов в нормируемый промежуток времени (5 минут) не обязательно происходит электрический или ионизационный пробой и, как следствие выявление дефекта. Вместе с тем в процессе испытаний происходит усиленное старение изоляции и, как следствие, уменьшается её эксплуатационный ресурс.

Неразрушающие методы контроля изоляции (измерение сопротивления изоляции, измерение емкости *С* и *tgδ*, измерение характеристик частичных разрядов, снятие эхограмм кабеля импульсным методом и метод возвратного напряжения) свободны от указанного выше недостатка. Однако каждый из указанных методов далек от требований, которым должен соответствоватьпрогрессивный метод контроля изоляции кабелей, а именно:

1. обеспечиватьнеразрушающий контроль кабелей с различным типом изоляции без негативного влияния на её эксплуатационные свойства;
2. гарантировать безаварийную работу кабеля до следующей даты испытаний;
3. алгоритм проведения испытаний кабелей и обработки полученных результатов должен быть простым и удобным.

Для создания метода контроля изоляции, отвечающего указанным выше требованиям необходимо продолжить теоретические и экспериментальные работы в области исследований электромагнитных процессов, протекающих в кабеле.

При канализации электрической энергии кабель находиться под воздействием электромагнитных полей, а именно, собственного и создаваемого проложенными рядом кабелями. Поскольку изоляция кабеля является диэлектриком, то в ней протекает ток утечки. Этот ток обусловленналичием емкости между находящейся под напряжением жилы кабеля и имеющим потенциал земли экраном:

(1)

где – фазное напряжение, – емкостное сопротивление кабеля, *–* удельная емкостная изоляция, – длина кабеля.

Из формулы (1) следует, что стекающий на землю ток утечки вызывает потери мощности прямо пропорциональные длине кабеля.

Известно, что для кабеля из сшитого полиэтилена составляет примерно от 0,15 до 1,3 мкФ/км, а емкостной ток может достигать единиц ампер на километр для напряжений 6-35 кВ. Эти величины пренебрежительно малы по сравнению с токами в жиле кабеля и поэтому они практически не влияют на температурный режим работы кабеля.

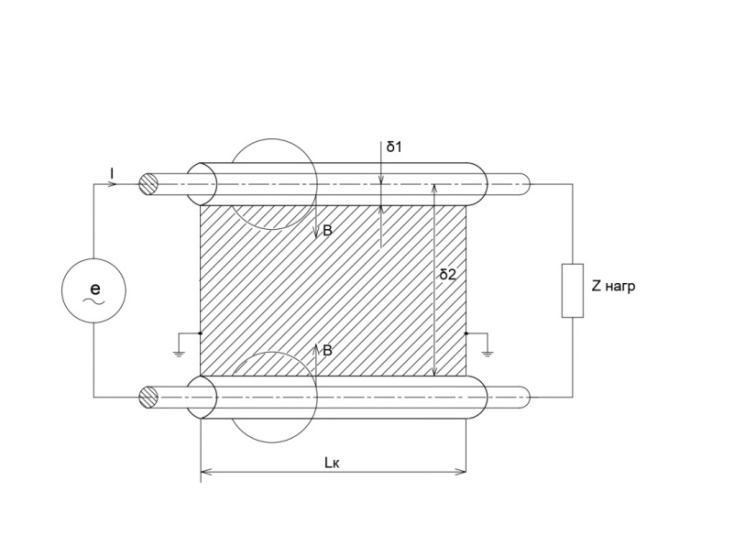
Наряду с емкостным током в экране кабеля могут протекать индуктивные токи, возникающие в любом замкнутом контуре под действием электромагнитной индукции [1,2]. Если экраны всех фаз трехфазной группы одножильных кабелей по концам линий заземлить, то получиться, что все они соединены между собой и образуют замкнутые контуры. Электромагнитные поля, возникающие вокруг проводников с током, пронизывают замкнутые контуры,наводят в них ЭДС под действием которойв экранах протекают токи (IЭ).

Рассмотрим замкнутый контур, находящийся в переменном магнитном поле, как показано на рисунке2.

Потокосцепление можно рассчитать по формуле:

*,* (2)

где *S* – площадь контура, *B*– вектор магнитной индукции.



***Рисунок 2 – Замкнутый контур в переменном магнитном поле***

Приняв допущение о постоянстве магнитного потока по длине контура , можно записать формулу для расчета потокосцепления:

*,* (3)

где *δ1* и *δ2* соответственно расстояние до ближней и дальней сторон контура от центра токоведущей жилы.

Учитывая известную зависимость между магнитной индукцией и напряженностью магнитного поля получим формулу для расчета потокосцепления с учетом электрофизических свойств среды и силы тока в кабеле:

*,*  (4)

а также наведенной в контуре ЭДС:

*= – M*, (5)

где *М =*  – взаимоиндукция.

В трехфазной системе на ток и напряжение в экране каждой фазы влияют не только ток собственной жилы, но и токи жил и экранов других фаз. Падения напряжений, вдоль токоведущих жил и экранов, связаны с токами в них системой линейных алгебраических уравнений:

, (6)

где *ZЖ*– полное комплексное сопротивление жилы кабеля, *ZЭ* – полное комплексное сопротивление экрана, *ZК* – полное комплексное взаимное сопротивление жилы (экрана) и смежного кабеля, *ZЖЭ* – полное комплексное взаимное сопротивление между жилой и экраном одного кабеля, *IЖ*и *IЭ* – соответственно ток в жиле и экране.

Для определения электрических параметров систем заземления необходимо решать систему уравнений (6) с введением дополнительных уравнений, характеризующих схемы соединения экранов. Рассмотренный алгоритм позволяет рассчитывать токи и напряжения в экранах кабелей с учетом активных и реактивных сопротивлений, сопротивлений взаимоиндукции в трехфазной системе с одножильными кабелями. На пропускную способность кабеля оказывает также влияние и выбранный способ заземления одножильных кабелей [3,4]. На практике широкое распространение получили следующие три способа заземления, а именно: двухстороннее заземление экранов; заземление экранов в одной точке электрической секции и способ транспозиции экранов кабелей. В каждом конкретном случае требуется проведение теплового расчета кабелей с обязательным учетом потерь в жилах, изоляции, оболочках и броне, а также взаимное пространственное расположение фаз линий и глубина её прокладки. Одним из перспективных направлений является использование для исследования электромагнитных и тепловых процессов и режимов работы кабельных сетей программы «ELCUT».

Список литературы

1. Ковригин Л.А. Продольные токи в экранах кабелей // *Кабель-NEWS*. - 2009. - № 3, с.56-58
2. Качанов А.Н. Электрооборудование источников энергии, электрических сетей и промышленных предприятий. В 2 ч. Ч.1: Производство и распределение электрической энергии. – Орёл: ОГУ имени И.С. Тургенева, 2016. – 154 с.
3. Халилов Ф.Х., Кузнецов Д.В. Способы увеличения пропускной способности КЛ с изоляцией из сшитого полиэтилена// *Кабель-NEWS*. - 2009. - № 9, с.62-66
4. Грешняков Г.В., Ковалёв Г.Г., Коровкин Н.В., Дубицкий С.Д. Полевые методы в кабельных задачах // Использование компьютерного моделирования и численных расчетов для решения инженерных задач в различных областях проектирования и разработки на основе применения программы “ELCUT”: сб. статей. –СПб.: Любавич, 2015. – 210 c.

**Тимохин Вячеслав Александрович,** доктор электротехники, Заслуженный энергетик РФ, главный инженер АО «Орёлоблэнерго».302030, г. Орёл, площадь Поликарпова, 8 ,   
тел.: 8 (4862) 55 08 04

**Качанов Александр Николаевич,** д-р техн. наук, профессор, академик АЭН РФ, заведующий кафедрой «Электрооборудование и энергосбережение» ФГБОУ ВО «ОГУ имени. И.С. Тургенева». 302020, г. Орёл, Наугорское шоссе, 29, тел. 8 (4862) 41 98 53. E-mail: [kan@ostu.ru](mailto:kan@ostu.ru)

**Перьков Виктор Сергеевич,** студент гр. 01-ЭЭм ФГБОУ ВО «ОГУ имени. И.С. Тургенева». 302020, г. Орёл, Наугорское шоссе, 29, E-mail: vityan-perkov@mail.ru

**EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF THE CABLE FACILITIES**

**JSC "ORELOBLENERGO"**

**Timokhin V.A.**

*Russia, Orel, JSC "Oreloblenergo"*

**Kachanov A.N., Perkov V.S.**

*Russia, Orel, Orel State University named after I.S. Turgenev*

*The paper provides an assessment of the technical condition of the cable networks of JSC "Oryoloblenergo". The causes of damage to cable lines 6 (10) and 0.4 kV with different types of insulation are classified. The physical foundations of electromagnetic processes occurring in cable lines during electrical energy drainage are considered. Compiled a mathematical model and analyzed ways to increase the throughput of cable lines.*

***Key words:*** *JSC Oryoloblenergo; causes of damage; fundamentals of electromagnetic processes; cable lines; mathematical model.*

Bibliography

1. Kovrigin L.A. Longitudinal currents in cable shields // Cable-NEWS. - 2009. - No. 3, p.56-58
2. Kachanov A.N. Electrical equipment of energy sources, electrical networks and industrial enterprises. In 2 h. Part 1: Production and distribution of electrical energy. - Orel: Orel State University named after I.S. Turgenev, 2016 .-- 154 p.
3. Khalilov F.Kh., Kuznetsov D.V. Methods for increasing the throughput of cable lines with XLPE insulation // Cable-NEWS. - 2009. - No. 9, p.62-66
4. Greshnyakov G.V., Kovalev G.G., Korovkin N.V., Dubitsky S.D. Field methods in cable problems // Use of computer modeling and numerical calculations for solving engineering problems in various areas of design and development based on the application of the "ELCUT" program: collection of articles. articles. –SPb .: Lyubavich, 2015. - 210 p.

**Timokhin Vyacheslav Aleksandrovich,** Doctor of Electrical Engineering, Honored Power Engineer of the Russian Federation, Chief Engineer of JSC Oryoblenergo. 302030, Orel, Polikarpova Square, 8,   
tel .: 8 (4862) 55 08 04

**Kachanov Alexander Nikolaevich**, Dr. Sciences, Professor, Academician of the AES of the Russian Federation, Head of the Department of Electrical Equipment and Energy Saving OSU   
n. a. I.S. Turgenev ". 302020, Orel, Naugorskoe highway, 29, tel. 8 (4862) 41 98 53. E-mail: [kan@ostu.ru](mailto:kan@ostu.ru)

**Perkov Victor Sergeevich**, student gr. 01-EEM OSU named after. I.S. Turgenev. 302020, Orel, Naugorskoe highway, 29, E-mail: vityan-perkov@mail.ru