

УДК 621.315.2:699.889.2

В. Г. ШЕВЧУК, доцент, Е. А. КОВРИГА, магистрант, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

РАЗРАБОТКА МЕР ЗАЩИТЫ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОГО КАБЕЛЯ ОТ УДАРОВ МОЛНИИ С ПОМОЩЬЮ ГРОЗОЗАЩИТНЫХ ТРОСОВ

Показано, что одной из сторон защиты информации в системах информационного обеспечения является защита волоконно-оптических линий связи от удара молнии. Приводятся фотографии волоконно-оптического кабеля и городской соединительной муфты для волоконно-оптических кабелей, пострадавших от удара молнии. Рассмотрены алгоритм разработки мер и пример организации молниезащиты волоконно-оптического кабеля с металлическими элементами с помощью грозозащитных тросов.

В Гомельской области были случаи попадания молнии в линии связи, в результате чего последние выходили из строя. Например, в 2008 г. удар молнии пришелся по проложенному в земле волоконно-оптическому кабелю (ВОК) и вызвал его обрыв. Поврежденный участок этого ВОК представлен на рисунке 1 (на фотографии видна даже полностью расплавившаяся металлическая оболочка). На рисунке 2 представлена фотография городской соединительной муфты для волоконно-оптических кабелей, также пострадавшей от удара молнии.

Рассмотренные случаи показывают, что необходимо проводить мероприятия по защите волоконно-оптического кабеля с металлическими элементами от удара молнии. На существующих оптических кабельных линиях передачи защитные мероприятия осуществляются на тех участках, где произошли повреждения от ударов молнии, причем длина защищаемого участка определяется условиями местности (протяженностью возвышен-

ности или участка с повышенным удельным сопротивлением грунта и т. п.), но должна быть не менее 100 м в каждую сторону от места повреждения. В этих случаях предусматривают прокладку защитных проводов.

Работы по оборудованию защитных мер осуществляются сразу после устранения грозового повреждения.

При прокладке кабелей в населенном пункте, кроме случая ее пересечения и сближения с воздушными линиями напряжением 110 кВ и выше, защита от ударов молнии не предусматривается.

Защита волоконно-оптических кабелей связи, проложенных вдоль опушки леса, а также вблизи объектов высотой более 6 м (отдельно стоящих деревьев, опор линии связи или линии электропередачи, мачт молниеотводов и т. п.), предусматривается, если расстояние между кабелем и объектом (или его подземной частью) меньше расстояний, приведенных в таблице 1 для различных значений удельного сопротивления почвы [1].



Рисунок 1 – Волоконно-оптический кабель, пострадавший от прямого удара молнии

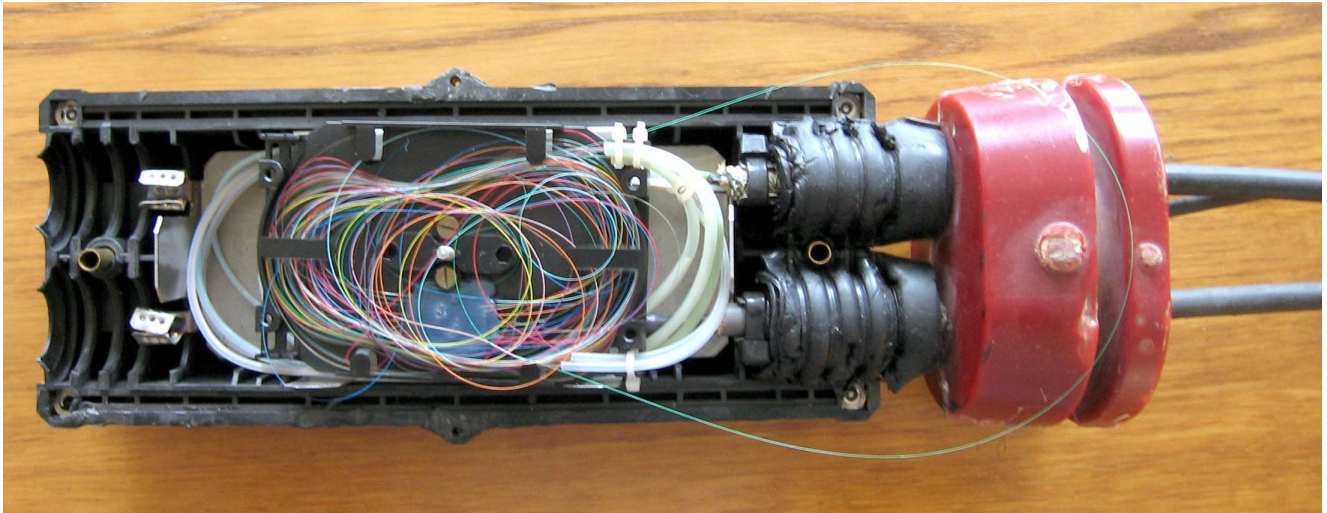


Рисунок 2 – Соединительная муфта, пострадавшая от удара молнии

Таблица 1 – Допустимые расстояния между кабелем и заземляющим контуром (опорой)

| Удельное сопротивление грунта, Ом·м | Наименьшее допустимое расстояние, м |
|-------------------------------------|-------------------------------------|
| До 100 | 5 |
| Более 100 до 1000 | 10 |
| Более 1000 | 15 |

На вновь проектируемых зонавых и магистральных оптических кабельных линиях защитные мероприятия необходимо предусматривать на тех участках, где вероятное число повреждений ВОК от ударов молнии превышает допустимое число n_0 (таблица 2).

Таблица 2 – Допустимое расчетное число опасных ударов молнии для ВОК

| Тип ВОК | Допустимое расчетное число опасных ударов молнии на 100 км трассы в год | |
|---------------|---|---------------------|
| | в горных районах и районах со скальным грунтом при удельном сопротивлении свыше 500 Ом·м, в районах вечной мерзлоты | в остальных районах |
| Магистральные | 0,1 | 0,2 |
| Зонавые | 0,3 | 0,5 |

Если проектируемая волоконно-оптическая линия связи (ВОЛС) прокладывается вблизи существующей кабельной линии и известно фактическое число повреждений ударами молнии последней за время эксплуатации сроком не менее 10 лет, то допустимое число повреждений

$$n'_0 = \frac{n_0 n_p}{n_\phi}, \quad (1)$$

где n_0 – допустимое число повреждений ВОК, определяемое из таблицы 2; n_p – расчетное число повреждений существующей кабельной линии; n_ϕ –

фактическое число повреждений существующей кабельной линии.

Вероятное число повреждений ВОК с металлическими элементами (на 100 км длины кабеля в год) n_1 находится по графикам, изображенным на рисунке 3.

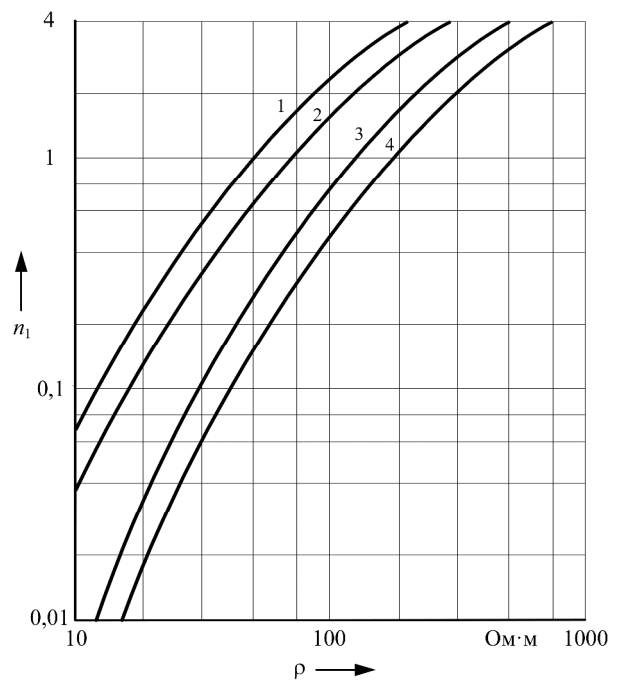


Рисунок 3 – Вероятное число повреждений ВОК с металлическими элементами:

1 – $U_{пр} = 70$ кВ; 2 – $U_{пр} = 100$ кВ; 3 – $U_{пр} = 150$ кВ;
4 – $U_{пр} = 200$ кВ

Графики построены в зависимости от удельного сопротивления земли ρ для различных значений импульсного пробивного напряжения изоляции металлических элементов относительно земли $U_{пр}$ (грозостойкости σ) при средней продолжительности гроз $T = 20$ часов в год.

Вероятное число повреждений n_1 ВОК типа ОЗКГ определяется из графиков, приведенных на рисунке 3 в зависимости от величины $u_{пр}$. Вероятное число повреждений ВОК других типов определяется также по графикам рисунка 3, но в зависимости от их грозостойкости G , кВ·км/Ом.

При ориентировочных расчетах можно приближенно принять $u_{пр} \approx 150$ кВ [2].

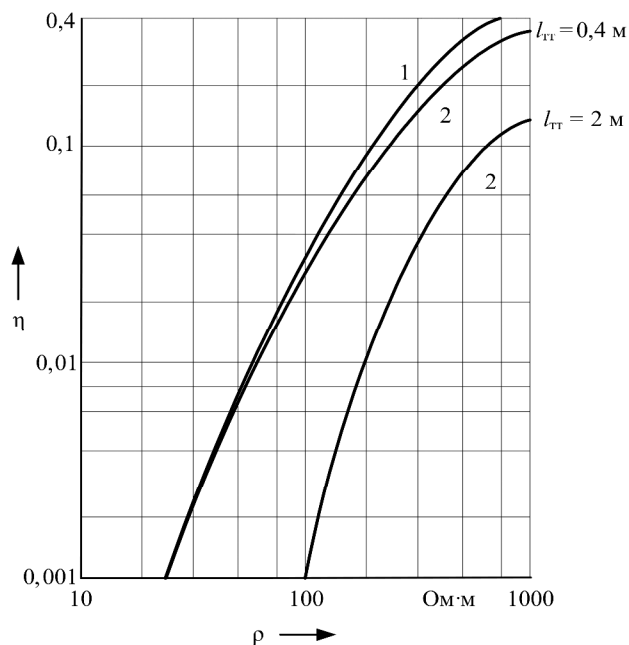


Рисунок 4 – Зависимость коэффициента защитного действия проложенных в земле тросов

Среднегодовая продолжительность гроз в часах определяется по сведениям метеостанций, расположенных вдоль трассы проектируемой линии связи.

При отсутствии данных с метеостанций можно воспользоваться картой среднегодовой продолжительности гроз.

Грозостойкость ВОК

$$G = u_{пр}/R_0, \quad (2)$$

где $u_{пр}$ – импульсное пробивное напряжение, кВ; R_0 – сопротивление металлических покровов ВОК на постоянном токе, Ом/км.

Если имеют место другие значения продолжительности грозового сезона T , то вероятное число повреждений ВОК с металлическими элементами

$$n'_1 = \frac{n_1 T}{20}. \quad (3)$$

Значения удельного сопротивления земли ρ в зависимости от типа почвы приведены в таблице 3 [3].

Таблица 3 – Удельное сопротивление ρ для различных типов почвы

| Тип почвы | Удельное сопротивление ρ , Ом·м | |
|-----------|--------------------------------------|------------------------------|
| | пределы колебаний | при влажности грунта 10–12 % |
| Чернозем | 9–53 | 20 |
| Торф | 9–53 | 20 |
| Глина | 8–70 | 40 |
| Суглинок | 40–150 | 100 |
| Супесь | 150–400 | 300 |
| Песок | 400–700 | 700 |

Защитное действие проложенных в земле тросов характеризуется коэффициентом защитного действия η , показывающим отношение вероятного числа повреждений кабеля при наличии троса к вероятному числу повреждений при отсутствии троса.

Этот коэффициент для кабеля ОЗКГ-1 при прокладке одного троса диаметром 9,4 мм (трос ПС-70) и расстоянии между кабелем и тросом 0,5 м для различных значений удельного сопротивления земли ρ , Ом·м, находится из графика (рисунок 4). Там же представлены графики зависимости η для ВОК ОЗКГ-1 от ρ для случая прокладки двух тросов при расстоянии между кабелем и плоскостью защитных тросов 0,5 м и при различных значениях $l_{тг}$ – расстоянии между тросами.

При ориентировочных расчетах для определения η других типов ВОК также можно воспользоваться графиками рисунка 4.

Алгоритм расчета защиты ВОК от ударов молнии приведен на рисунке 5.

Определяется вероятное число повреждений ВОК от ударов молнии n_1 . Если расчетное вероятное число повреждений кабеля на данном участке, приведенное к длине 100 км, превышает допустимое $n_1 > n_0$, то в качестве защитной меры может быть выбран один защитный трос.

Вероятное число повреждений после прокладки одного троса

$$n_t = n_1 \eta, \quad (4)$$

где n_1 – вероятное число повреждений ВОК при отсутствии троса; η – коэффициент защитного действия одного троса. Если $n_t < n_0$, то для защиты достаточно одного троса.

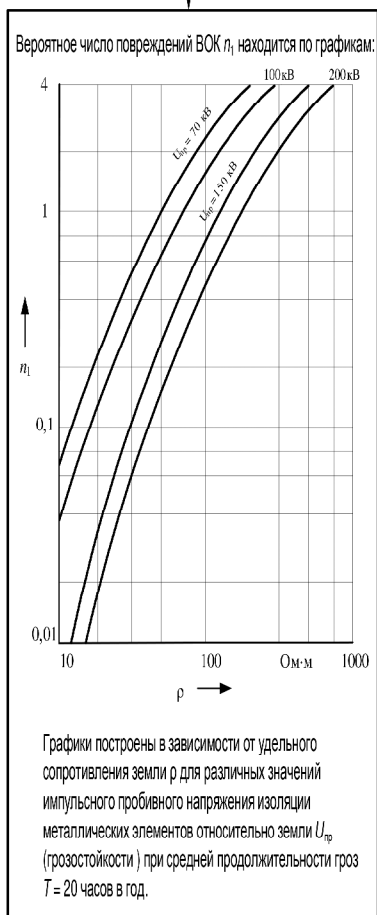
Если $n_t > n_0$, то следует проложить два троса. Вероятное число повреждений ВОК в этом случае определяется из графиков рисунка 4 для двух защитных тросов.

Защиту ВОК с помощью тросов в количестве более двух не следует предусматривать. Произведем примерный расчет защиты ВОК от прямого удара молнии.

Допустимое число повреждений ВОК n'_0

$$n'_0 = \frac{n_0 N_p}{n_\phi},$$

где n'_0 – норма на допустимое число повреждений в год на 100 км трассы ВОК;
 n_0 – допустимое число повреждений ВОК (определяется из таблицы);
 N_p – расчетное число повреждений существующей кабельной линии;
 n_ϕ – фактическое число повреждений существующей кабельной линии



Вероятное число повреждений после прокладки одного троса n_T

$$n_T = n_1 \eta,$$

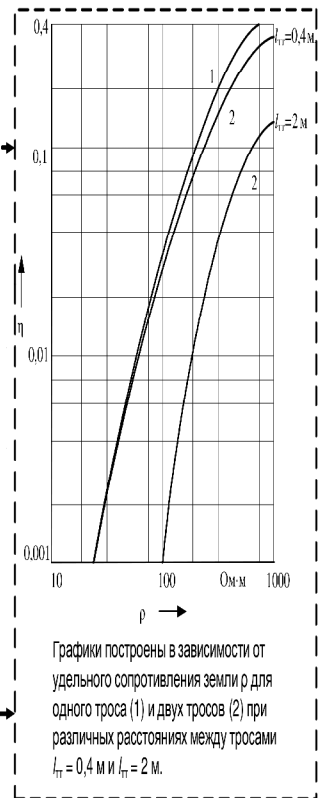
где n_1 – вероятное число повреждений ВОК при отсутствии троса;
 η – коэффициент защитного действия одного троса.

Нет Да

$n_T > n'_0$

Следует проложить два троса. Защиту ВОК с помощью тросов в количестве более двух не следует предусматривать.

При прокладке двух тросов последние следует располагать симметрично над кабелем с расстоянием от 0,4 до 2 м. Рекомендуется расстояние $l_T = 2$ м (см. графики коэффициента защитного действия тросов).



Нет Да

$n_1 > n'_0$

Дополнительные мероприятия по защите ВОК не нужны

Рисунок 5 – Алгоритм разработки мер защиты ВОК от ударов молнии

Предположим, что прокладка новой трассы ВОЛС осуществляется вблизи уже существующей кабельной линии связи. Тогда для зональных сетей связи вероятное число повреждений линии связи от ударов молнии можно принять, согласно таблице 2, равным $n_p = 0,5$.

Примем $n_\phi = 1$ (т. е. имеются данные об однократном попадании молнии в кабельную линию связи за весь период ее эксплуатации, превышающий 10 лет).

Вероятное число повреждений ВОК от ударов молнии $n_0 = 0,5$.

Воспользовавшись формулой 1, определим допустимое число повреждений волоконно-оптического кабеля связи:

$$n'_0 = \frac{0,5 \cdot 0,5}{1} = 0,25.$$

Вероятное число повреждений n_1 ВОК, например типа ОЗКГ-1 (внутризонового оптического кабеля связи с металлическими армирующими элементами и центральным профилированным элементом, в пазы которого уложены четыре оптических волокна, с четырьмя медными жилами для дистанционного питания аппаратуры), определяется из графиков, изображенных на рисунке 3, в зависимости от импульсного пробивного напряжения $u_{пр}$ (примем $u_{пр} \approx 150$ кВ).

Значение удельного сопротивления земли ρ берется из таблицы 3 для суглинка ($\rho = 100$ Ом·м).

Получено 10.05.2010

V. G. Shevchuk, E. A. Kovriga. Elaboration of the protective measures of fiber-optical cables from lightning strikes with the help of protective wire ropes.

It is shown, that one of the aspects of information protection in the information providing systems is the protection of the fiberoptic communication lines from lightning strikes. By carrying out photography of fiberoptic cables and the city connective muffs of the fiberoptic cables suffering from lightning strikes. Considered the exploit measures algorithm and approximate organization of lightning protection for fiberoptic with metal elements cables with the help of lightning protection ropes.

Тогда согласно графику, приведенному на рисунке 3, $n_1 = 0,8$.

Так как вероятное число повреждений n_1 ВОК типа ОЗКГ-1 превышает допустимое число повреждений n_0 ($0,8 > 0,25$), то в качестве защитной меры необходимо выбрать один защитный трос. Исходя из графиков, представленных на рисунке 4, коэффициент защитного действия одного троса $\eta = 0,05$. По формуле (4) определим вероятное число повреждений после прокладки одного троса:

$$n_t = 0,8 \cdot 0,05 = 0,04.$$

Так как вероятное число повреждений после прокладки одного троса n_t меньше допустимого числа повреждений n'_0 ($0,04 < 0,25$), то можно сделать вывод о том, что для защиты проектируемой волоконно-оптической линии связи достаточно одного троса.

Список литературы

- 1 Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций. – М. : Изд-во МЭИ, 2004. – 57 с.
- 2 РД РБ 09150.19.078 - 2003. Руководство по проектированию волоконно-оптических линий на сети связи Белорусской железной дороги. – Мн. : Белорус. ж. д., 2003. – 57 с.
- 3 Пережогин, М. А. Безопасность жизнедеятельности. Безопасность труда : учеб. пособие / М. А. Пережогин, Ю. Г. Горшков, С. В. Чернышев. – Челябинск, 1996. – 435 с.