

УДК 681.3(075.8)

ББК 32.85я73

С59

Рецензенты: декан факультета повышения квалификации (ФПК), кандидат техн. наук, профессор кафедры линий связи и измерений в технике связи (ЛС и ИТС) ПГУТИ А. А. Воронков; зам. заведующего отделением №2 ОАО ВНИИКП, кандидат техн. наук А. С. Воронцов.

**Соколов С. А.**

**С59** Воздействие внешних электромагнитных полей на оптические кабели связи и гибридные линии. Учебное пособие для вузов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2023. – 214 с.: ил.

**ISBN 978-5-9912-0770-6.**

В настоящее время большая часть междугородных связей (интернет, передача данных, телефон) осуществляется с помощью оптических кабелей различного типа с металлом и без металла в конструкции, проложенных в самых разных условиях. Проложенные кабели подвергаются воздействию внешних электромагнитных полей как естественного происхождения (например, грозовых разрядов), так и искусственного (высоковольтные линии передачи, статические разряды и др.). Распространённое мнение, что кабели без металла в конструкции не подвержены воздействию электромагнитных полей ошибочно. Световая волна, передаваемая по оптическому кабелю, реагирует на внешнее поле, в результате чего в кабеле может происходить поворот плоскости поляризации передаваемой волны и возникать волны с различной поляризацией и ошибки на приёме. Рассмотрены воздействия внешних электромагнитных полей на оптические кабели различного типа и гибридные линии, которые применяются на линиях доступа, а также защитные меры.

Для студентов, для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлениям подготовки 11.03.02 и 11.04.02 – «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» квалификации (степени) «бакалавр» и «магистр», будет полезно для студентов электронных и радиотехнических направлений вузов, аспирантов и специалистов.

**ББК 32.85я73**

Адрес издательства в Интернет WWW.TECHBOOK.RU

Тиражирование книги начато в 2018 г.

*Все права защищены.*

*Любая часть этого издания не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме и какими бы то ни было средствами без письменного разрешения правообладателя.*

© ООО «Научно-техническое издательство «Горячая линия – Телеком»

www.techbook.ru

© С. А. Соколов

# Оглавление

Введение.....	3
<b>1. Основные источники внешних электромагнитных воздействий.....</b>	<b>7</b>
1.1. Грозовые разряды.....	7
1.1.1. Возникновение грозы. Распространенность гроз на земном шаре.....	7
1.1.2. Развитие грозового разряда. Форма, амплитуда и крутизна импульсов тока.....	8
1.1.3. Оценка интенсивности грозодеятельности.....	13
1.1.4. Развитие разрядов в горах.....	14
1.1.5. Внутриоблачные разряды.....	15
1.1.6. Электромагнитное поле молнии в воздухе и при ударах в землю.....	17
1.1.7. Рентгеновское и гамма-излучение молнии.....	20
1.1.8. Развитие разрядов на местности.....	23
1.1.9. Растекание тока при разряде в землю.....	26
1.1.10. Влияние поперечной неоднородности грунта на потенциалы и токи, индуцируемые в кабеле.....	27
1.1.11. Разряды от облака вверх к ионизованному слою ...	31
<b>2. Воздействие грозовых разрядов на оптические кабели.....</b>	<b>34</b>
2.1. Образование вмятин на металлической оболочке или броне.....	34
2.2. Распространение тока по кабелю с металлическими элементами в конструкции и напряжение между проводящими жилами и оболочкой.....	36
2.3. Воздействие гамма-излучения молнии на оптическое волокно.....	37
2.4. Воздействие электромагнитного поля молнии на чисто диэлектрический оптический кабель (без металлических элементов в конструкции).....	39
2.4.1. Поворот плоскости поляризации света под действием электромагнитного поля.....	39
2.4.2. Электрическое поле вблизи проложенного диэлектрического оптического кабеля при ударе молнии в землю.....	41
2.4.3. Поворот плоскости поляризации света в волокне под действием поперечного электрического поля молнии.....	42

2.4.4. Вероятность поворота плоскости поляризации света в волокне на определенный угол под действием электрического поля молнии .....	43
2.4.5. Поворот плоскости поляризации света в волокне под действием продольного магнитного поля молнии .....	44
2.4.6. Особенности поворота плоскости поляризации света при использовании волнового и поляризационного уплотнения .....	47
<b>3. Вероятность повреждения оптических кабелей ударами молнии .....</b>	<b>50</b>
3.1. Вероятность повреждения кабелей с металлической оболочкой и жилами ударами молнии .....	51
3.2. Упрощенная оценка подверженности кабелей связи с металлическими жилами грозovým разрядам .....	52
3.3. Защита оптических кабелей от ударов молнии .....	59
3.3.1. Основные меры защиты .....	59
3.3.2. Защита оптического кабеля с помощью грозозащитных проводов, проложенных рядом с кабелем .....	61
3.3.3. Защита полностью диэлектрических оптических кабелей и защита от гамма-излучений .....	65
3.3.4. Защита подземного и воздушного кабелей от ударов молнии с помощью заземлений .....	66
3.3.5. Наблюдение за волнами напряжения грозového характера в кабелях с металлическими жилами .....	67
3.3.6. Защита подключенной аппаратуры .....	69
<b>4. Влияние линий электропередачи .....</b>	<b>72</b>
4.1. Устройство и основные параметры высоковольтных линий электропередачи (ЛЭП) .....	72
4.2. Оценка опасного влияния высоковольтных линий электропередачи .....	73
4.3. Помехи, создаваемые электронными системами управления ЛЭП .....	74
4.4. Меры защиты от влияния ЛЭП. Коэффициент экранирования кабеля .....	76
4.5. Влияние электрифицированных железных дорог .....	79
4.6. Воздействие электрического поля высоковольтной линии на подвесной оптический кабель .....	80
4.6.1. Поверхностное сопротивление оболочки кабеля .....	81
4.6.2. Механизм развития разряда по поверхности кабеля .....	84
4.6.3. Расчет напряженности электрического поля на поверхности оптического кабеля, подвешенного на линии электропередачи .....	86
4.6.4. Вероятность повреждения оптического кабеля, подвешенного на опорах ЛЭП .....	88

<b>5</b>	<b>Защита от внешних полей сетей доступа .....</b>	<b>90</b>
5.1.	Виды существующих линий доступа .....	90
5.2.	Защита линий доступа от электромагнитных воздействий .....	95
5.3.	Удары молнии в здание, в котором расположены устройства связи .....	100
5.3.1.	Определение общего числа ударов молнии в здание станции. Новые типы молниеотводов .....	100
5.3.2.	Электромагнитное поле в здании и вблизи него .....	108
5.3.3.	Электрические поля в здании .....	108
5.3.4.	Магнитное поле в здании и вблизи него .....	115
5.3.5.	Поле в интеллектуальном здании. Воздействие на компьютеры .....	117
5.4.	Коэффициент экранирования в городских условиях ...	123
<b>6.</b>	<b>Магнитное поле Земли .....</b>	<b>126</b>
6.1.	Расположение и величина поля .....	126
6.2.	Магнитные бури .....	128
<b>7.</b>	<b>Электростатические разряды и их воздействие на оборудование связи .....</b>	<b>130</b>
<b>8.</b>	<b>Электромагнитный импульс высотного ядерного взрыва .....</b>	<b>134</b>
<b>9.</b>	<b>Трансформируемая линия .....</b>	<b>138</b>
<b>10.</b>	<b>Оборудование заземлений в процессе строительства сооружений электросвязи .....</b>	<b>143</b>
10.1.	Необходимость защитных заземлений .....	143
10.2.	Оборудование заземлений в стесненных условиях .....	148
10.2.1.	Оборудование одиночного глубинного заземлителя .....	148
10.2.2.	Установка в одной точке нескольких наклонных глубинных заземлителей .....	149
10.2.3.	Одиночный заземлитель в виде полой трубы .....	151
10.3.	Проблемы, возникающие при эксплуатации заземлений .....	152
10.3.1.	Влияние влажности, температуры и высыхания грунта на его удельное сопротивление .....	152
10.3.2.	Ёмкостный и индуктивный характер заземления в зависимости от его конструкции и частоты протекающего тока .....	153
10.3.3.	Скачки сопротивления заземления при пробое грунта при большой напряженности поля .....	154
10.3.4.	Изменение концентрации ионов вокруг заземлителя с течением времени .....	154
10.3.5.	Коррозия заземлителя .....	155
<b>11.</b>	<b>Определение напряженности поля под поверхностью Земли .....</b>	<b>156</b>

11.1. Электромагнитное поле под поверхностью Земли.....	156
11.2. Определение волновой функции под поверхностью Земли.....	158
11.2.1. Случай малых значений времени $t$ .....	159
11.2.2. Случай больших токов смещения.....	161
11.2.3. Случай, когда можно пренебречь токами проводимости.....	161
11.2.4. Случай, когда можно пренебречь токами смещения.....	162
11.2.5. Обобщение результатов.....	164
11.3. Импульсное поле под поверхностью Земли при ее двух- слойном строении.....	167
11.4. Влияние кабеля связи на изменение электромагнитного поля в грунте вблизи кабеля.....	170
11.5. Поле вблизи кабеля с учетом токов смещения.....	175
<b>12. Оценка экономической эффективности средств за-     щиты подземных кабелей.....</b>	<b>178</b>
Литература.....	185
Приложение I. Воздействие внешних электромагнитных по- лей на движущиеся механизмы.....	190
Приложение II. Напряжения в однокоаксиальном кабеле с несколькими экранами при ударе молнии.....	192
Приложение III. Влияние электромагнитного воздействия на системы видеонаблюдения.....	197
Приложение IV. Особенности возникновения поляризации- ной модовой дисперсии в оптическом волокне под действием электромагнитного поля.....	200
Приложение V. Индивидуальная защита от молнии.....	206