

## ОПТИЧЕСКИЕ КАБЕЛИ СВЯЗИ. МЕТАМАТЕРИАЛЫ

УДК 621.391

## АНАЛИЗ ПОВРЕЖДАЕМОСТИ ПОДЗЕМНЫХ ОПТИЧЕСКИХ КАБЕЛЕЙ СВЯЗИ

**В. А. Андреев**, ректор ПГУТИ, д.т.н., профессор; andreev@psati.ru**В. А. Бурдин**, проректор по науке и инновациям ПГУТИ, д.т.н., профессор; burdin@psati.ru**А. А. Воронков**, декан ФПК ПГУТИ, к.т.н., доцент; voronkov@srttc.ru

Приводится анализ статистических оценок повреждаемости подземных оптических кабелей связи при различных способах прокладки. Показано, что за пределами городской черты повреждаемость оптических кабелей облегченной конструкции, проложенных в защитных полимерных трубах, более чем в два раза ниже по сравнению с бронированными оптическими кабелями в земле.

**Ключевые слова:** оптическое волокно, оптический кабель связи, волоконно-оптические линии передачи, надежность функционирования, повреждаемость

**Введение.** Прогноз надежности функционирования волоконно-оптических линий передачи (ВОЛП) невозможен без всесторонней оценки многочисленных факторов, влияющих на повреждаемость оптических кабелей связи (ОКС), являющихся основным компонентом линейно-кабельных сооружений. В настоящее время получили распространение две основные технологии прокладки подземных ОКС: непосредственно в грунт или в специальные защитные полимерные трубопроводы (ЗПТ). Представляет большой интерес анализ повреждаемости подземных ОКС в зависимости от технологии прокладки. В качестве исходных данных для представленного ниже анализа статистических оценок повреждаемости подземных ОКС были использованы сведения из открытых источников и публикаций, результаты опроса владельцев ВОЛП и организаций, осуществляющих их техническую эксплуатацию, а также результаты анкетирования специалистов телекоммуникационных предприятий.

**Анализ статистических оценок повреждаемости подземных ОКС.** В табл. 1 приведены собранные за двухлетний период эксплуатации данные о повреждениях ОКС, проложенных непосредственно в грунт, а в табл. 2 — данные о повреждениях ОКС, проложенных в телефонной кабельной канализации [1].

Таблица 2

Причина обрыва кабеля, проложенного в ЗПТ	Количество	Процент от общего числа
Механические повреждения от земляных работ	84	65
Нарушения технологии строительства и эксплуатации	17	13
Грызуны	3	2
Пар	2	2
Экстремальная температура	4	2
Прочие факторы	20	17
Всего	130	100

Таблица 1

Причина обрыва кабеля, проложенного непосредственно в земле	Количество	Процент от общего числа
Механические повреждения от земляных работ	172	80
Грызуны	11	5
Нарушения технологии строительства и эксплуатации	5	2
Стихийные бедствия (наводнения и др.)	4	2
Атмосферное электричество	4	2
Прочие факторы	20	9
Всего	216	100

Как видно из представленных данных, для всех типов подземных ОКС наибольшее число повреждений (около 60% и более) происходит в результате действий машин и механизмов при выполнении земляных работ. Для ОКС, также как и для электрических кабелей связи (ЭКС), характерны повреждения из-за нарушений технологии строительства и эксплуатации, стихийных бедствий, а также от воздействия атмосферного электричества. При этом, в отличие от ЭКС, оптические кабели зачастую повреждаются грызунами. Статистические данные показывают, что по количеству повреждений ОКС этот фактор стоит на втором-третьем месте даже при прокладке кабеля в трубы телефонной канализации.

В [2] приведены данные, представленные в отчете комиссии NRIC (Network Reliability and Interoperability Council) консорциума National Engineering Consortium, полученные в результате опросов операторов США за пятилетний период. Всего было зарегистрировано 160 повреждений ОКС. Из них 131 повреждение приходится на оптические кабели, проложенные в земле. При этом 93% от всех учетных повреждений было связано с обрывами оптических волокон (ОВ). В остальных случаях имело место увеличение потерь ОВ (как правило, на микроизгибах волокна), повреждения оболочек ОКС и другие. В табл. 3 приведены данные о повреждениях всех ОКС, проложенных в земле, независимо от способа прокладки [2]. В целом данные комиссии согласуются с цифрами, приведенными в табл. 1–2.

В табл. 4 сравниваются данные о всех повреждениях ОКС для рассматриваемых способов прокладки: непосредственно в грунт и в ЗПТ [2]; в табл. 5 — данные о повреждениях ОКС, проложенных непосредственно в грунт

Таблица 3

Вид повреждений	Количество	Процент от общего числа
Механические повреждения при земляных работах	93	71
Ошибки эксплуатации, технологические ошибки	11	8
Грызуны	6	4
Вредительство	4	3
Наводнения	2	2
Связанные с раскопками (но не обрывы кабеля)	2	1,3
Транспорт	2	2
Прочие	12	9
Всего	131	100,0

Таблица 4

Количество повреждений ОК	Непосредственно в земле	В ЗПТ
Процент с перерывами связи	67	33
Процент деформации оболочки	54	46

Таблица 5

Количество повреждений ОК механизмами при земляных работах	Непосредственно в земле	В ЗПТ
Процент с перерывами связи	71	29
Процент деформации оболочки	54	46

Таблица 6

Количество повреждений ОК	Непосредственно в земле	В ЗПТ
В городах	15	23
В сельской местности	40	6

Таблица 7

Количество повреждений ОК	Непосредственно в земле	В ЗПТ
Средний процент оборванных волокон	95	87
Процент полных обрывов кабеля	90,5	83

и в ЗПТ различными механизмами при земляных работах [2]; в табл. 6 — данные о повреждениях ОКС, проложенных указанными способами в городских условиях и в сельской местности [2]; в табл. 7 — данные об обрывах ОК в кабеле в зависимости от способа прокладки [2].

Анализ данных, приведенных в табл. 4–7, позволяет сделать вывод, что ОКС, проложенные в ЗПТ, в целом повреждаются реже (согласно табл. 4–7 — примерно в два раза). При этом, в условиях города, примерно в полтора раза реже повреждаются бронированные ОКС, проложенные непосредственно в грунт, а в сельской местности существенно

ниже (более чем в четыре раза) повреждаемость ОКС облегченной конструкции, проложенных в ЗПТ. Вместе с тем данные табл. 7 показывают, что количество повреждений ОКС в результате проведения земляных работ сторонними организациями слабо зависит от технологии прокладки подземного кабеля: непосредственно в грунт или в ЗПТ.

Эти выводы подтверждают данные, полученные в результате опроса отечественных операторов, обслуживающих ВОЛП. На рис. 1 представлены оценки общего числа повреждений ОКС за шесть лет, приведенные к 100 км трассы, для сети связи № 1 одного из операторов Поволжья. (Трасса расположена в пределах одной области и включает более 3400 км бронированного ОКС, проложенного непосредственно в грунт). На рис. 2 для этой же сети пред-

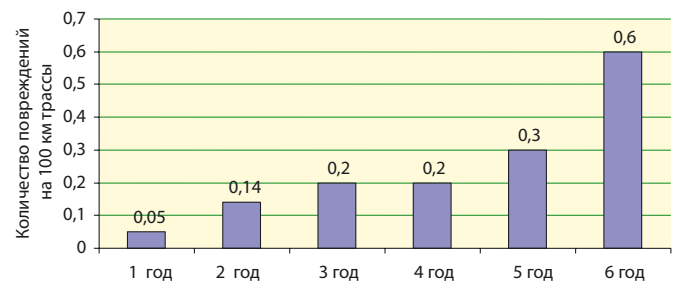


Рис. 1. Общее число повреждений на 100 км трассы для сети № 1

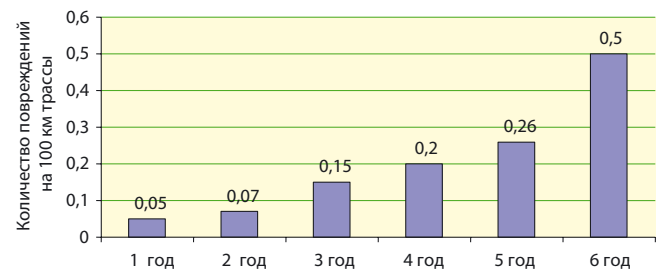


Рис. 2. Число повреждений на 100 км трассы для сети № 1 без учета повреждений от землеройной техники

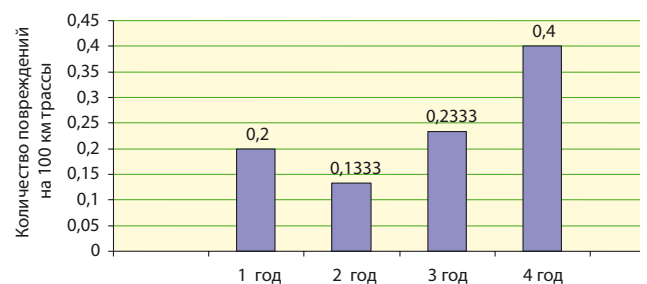


Рис. 3. Общее число повреждений на 100 км трассы для сети № 2

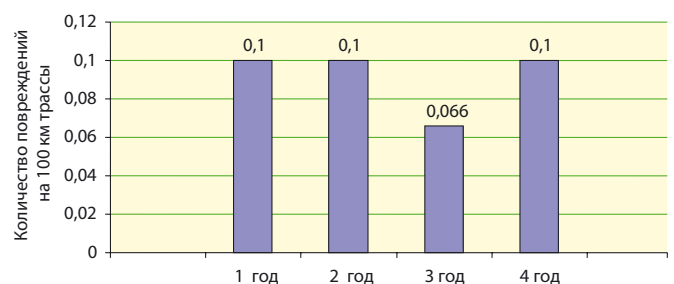


Рис. 4. Число повреждений на 100 км трассы для сети № 2 без учета повреждений от землеройной техники

ставлены оценки числа повреждений ОКС по годам, приведенные к 100 км трассы, без учета повреждений кабеля при выполнении земляных работ. В первом случае число повреждений в год составляло 0,2483, во втором — 0,2050.

На рис. 3 даны оценки общего числа повреждений ОКС по годам, приведенные к 100 км трассы, для сети связи № 2 другого оператора Поволжья. Трасса расположена на территории нескольких областей и включает (более 3000 км ОКС облегченной конструкции, проложенного в ЗПТ). На рис. 4 для этой же сети представлены оценки числа повреждений ОКС по годам, приведенные к 100 км трассы, без учета повреждений кабеля при выполнении земляных работ. Здесь среднее число повреждений в год на 100 км трассы в первом случае составляло 0,2417, а во втором — 0,0915.

Как видно, общее число повреждений ВОЛП на 100 км трассы в год, обусловленных в основном землеройными работами, на сети № 1 и сети № 2 практически совпадают (0,2483 и 0,2417) [3, 4]. Вместе с тем, сравнение числа повреждений ОКС для этих сетей без учета повреждений землеройными машинами и механизмами показывает, что повреждаемость ОКС облегченной конструкции в ЗПТ на сети № 2 существенно меньше. Она составляет 0,0915 на 100 км трассы в год в отличие от бронированного ОКС, проложенного непосредственно в земле на сети № 1, для которой этот показатель равен 0,2050. Кабельная сеть связи № 3 еще одного оператора Поволжья расположена на территории одной области и включает около 3000 км кабелей облегченной конструкции в ЗПТ и чуть более 3000 км бронированных ОКС, проложенных непосредственно в грунт. Здесь при фактически идентичном техническом обслуживании ВОЛП за пятилетний срок были получены следующие показатели: повреждаемость бронированных ОКС, проложенных непосредственно в грунт, около 0,4242 на 100 км трас-

сы в год; повреждаемость ОКС облегченной конструкции в ЗПТ меньше — 0,1005 на 100 км трассы в год [5].

**Выводы.** В целом, статистика повреждений ОКС показывает, что за пределами городской черты повреждаемость оптических кабелей облегченной конструкции по сравнению с бронированными ОКС, проложенными в земле, ниже более чем в два раза. Представленные в статье результаты анализа позволяют сделать заключение о том, что сопоставление статистических данных повреждаемости ВОЛП для двух технологий прокладки ОКС в грунт показало более высокую надежность ОКС облегченной конструкции, проложенных в ЗПТ, по сравнению с бронированными ОКС, проложенными непосредственно в грунт.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Reliability of fiber optic cable systems: buried fiber optic cable, optical groundwire cable, all dielectric, self supporting cable // Alcoa fujikura ltd, May 2001,— pp. 1–16.
2. Crawford D. Fiber optic cable dig-ups: causes and cures// in Network Reliability and Interoperability Council (NRIC) Report to the Nation: Compendium of technical papers, National Engineering Consortium, Chicago, 1993.— 32 p.
3. Бурдин В. А., Воронков А. А., Шафигуллин Л. Н. Эффективность применения прогнозирующих стратегий технического обслуживания ОК // Вестник связи .— 2012.— № 7.— С. 5–8.
4. Шафигуллин Л. Н., Воронков А. А. Проблемы технической эксплуатации ВОЛП// Т-сomm.— 2011.— № 8.— С. 40–43.
5. Воронков А. А., Шафигуллин Л. Н. Внедрение технологии прогнозирующего контроля при техническом обслуживании ВОЛП//Известия Самарского научного центра Российской Академии Наук.— 2011.— Том 13.— № 4(4).— С. 1072–1074.

Получено 20.11.14

УДК. 537.86

## ПОСТРОЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ПЕРЕИЗЛУЧАЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ И МЕТАМАТЕРИАЛОВ НА ИХ ОСНОВЕ

Д. П. Табаков, доцент ФГОБУ ВПО ПГУТИ, к.ф.-м.н.; illuminator84@yandex.ru

**Изложены основы построения математических моделей переизлучающих элементов и метаматериалов на их основе. Модели реализуются на основе интегральных представлений электромагнитного поля в тонкопроволочном приближении. Рассмотрен механизм учета межэлементного взаимодействия через обобщенную процедуру метода Гаусса-Зейделя. Приведены результаты численного моделирования для некоторых киральных элементов и метаструктур.**

**Ключевые слова:** метаматериал, киральная среда, левосторонняя среда, интегральное представление поля, интегральное уравнение, тонкопроволочное приближение.

**Введение.** Метаматериал — материал, свойства которого обусловлены не столько природными физическими свойствами, сколько периодической микроструктурой, создаваемой человеком [1]. Метаматериалы синтезируются внедрением в исходный природный материал периодических

элементов с самыми различными формами (рис. 1), модифицирующими диэлектрическую и магнитную восприимчивость исходного материала.

Основопологающей работой по метаматериалам можно считать статью В. Г. Веселаго [2]. Одно из возможных свойств метаматериалов — отрицательный коэффициент преломления, который проявляется при одновременной отрицательности диэлектрической  $\epsilon$  и магнитной  $\mu$  проницаемостей. В настоящее время метаматериалы находят применение в СВЧ- и антенно-фидерных устройствах [3].



Рис. 1. Частицы, используемые для построения метаматериалов