

А.Е. Алимов, канд. техн. наук, заместитель начальника отдела;
В.А. Григорьев, д-р техн. наук, начальник отдела;
О.В. Шавкунов, ведущий инженер, аспирант;
ЗАО «МНИТИ»

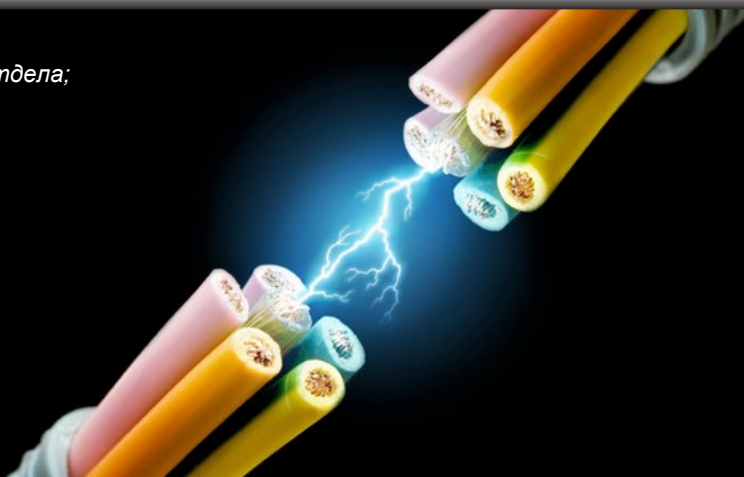
Аннотация. Рассмотрен практический опыт монтажа линии связи в промышленном здании. Предложены новые технические решения, которые позволяют увеличить динамический энергетический диапазон линии связи. Благодаря применению этих методов общее снижение оптических потерь в линии связи составило 1,2 дБ.

Ключевые слова: волоконно-оптическая линия связи, уменьшение оптических потерь, оконцевание оптическими разъемами.

Abstract. Practical experience of the communication line installation in an industrial building was investigated. Some new technical solutions enabling to increase the dynamic power range of the communication line are offered. Due to the application of these methods overall optical losses in the communication line were reduced to 1.2 dB.

Key words: fiber-optic communication line; optical loss reduction; optical connector termination.

Материал поступил в редакцию 10.11.14
Григорьев В.А. E-mail: dertel.00@mail.ru



ПРАКТИЧЕСКИЙ ОПЫТ МОНТАЖА ЛИНИИ СВЯЗИ ВНУТРИ ПРОМЫШЛЕННОГО ЗДАНИЯ

Опыт практического использования оптических кабелей выявил существенные, и в значительной степени неприемлемые, особенности современного практического воплощения линий связи на основе волоконно-оптической техники.

Большинство обслуживающих организаций при проведении ремонтно-монтажных работ предпочитают осуществлять стыковку магистральных кабелей с источниками и приемниками излучения оконечной аппаратуры так называемыми пигтейлами. Применение пигтейлов требует обязательной сварки с оптическими волокнами магистрального кабеля. Однако сварка имеет отдельные существенные особенности.

К недостаткам сварки относится необходимость использования дорогостоящего оборудования и обязательное наличие источника электроэнергии на месте работы [1–5].

В ряде случаев отказываются от сварки и для сращивания волокон и используют механические соединители. Основным ограничением применения соединителей являются высокие требования к геометрическим параметрам оптических волокон [5, 9, 11].

При монтаже линии связи внутри промышленного здания потребовалось усовершенствование известных технологий.

Блоки стандартной приемно-передающей аппаратуры линии связи соединялись четырехжильным оптическим кабелем с одномодовыми оптическими волокнами. Преобразователь электрических сигналов в оптический сигнал имеет источник излучения мощностью минус 3 дБм на длине волны излучения $\lambda = 1,33$ мкм. Преобразователь оптического сигнала в электрический сигнал оснащен фотоприемным устройством с чувствительностью минус 25 дБм. Следовательно, для обеспечения рабочего режима линии связи на фотодиод приемной аппаратуры должно поступать оптическое излучение мощностью не менее $3,1 \cdot 10^{-6}$ Вт. Установлено, что в результате монтажа волоконно-оптической линии связи, выполненного на основе известных сварных технологий

с использованием пигтейлов, на фотоприемник доставляется оптическое излучение мощностью не более $2,8 \cdot 10^{-6}$ Вт. При такой величине мощности излучения наблюдается крайне неустойчивая работа приемной аппаратуры и всего тракта в целом. В связи с этим для обеспечения устойчивой работы линии связи внутри здания при ее монтаже были применены новые технические решения.

Первое из них основано на непосредственном оконцевании оптическими разъемами волокон магистрального кабеля. Это решение отличается от распространенного в настоящее время метода выполнения стыковки магистральных кабелей с источниками и приемниками излучения оконечной аппаратуры через пигтейлы. Применение пигтейлов требует обязательной сварки с оптическими волокнами магистрального кабеля. Сварка вносит потери 0,2 дБ. Применение непосредственного оконцевания магистрального кабеля оптическими разъемами без применения сварки избавляет оптический тракт от этих лишних 0,2 дБ.

Пигтейл представляет собой отрезок оптического кабеля, с одной стороны оконцованный стандартным оптическим разъемом. Разъем подключается к гнезду приемно-передающей аппаратуры. С другой стороны свободный конец пигтейла соединяется сваркой с магистральным кабелем.

В данной работе показано, что соединение магистрального кабеля с оконечной приемно-передающей аппаратурой пигтейлами является технически сложным и экономически неоправданным.

При защите проекта непосредственного оконцевания волокон оптического кабеля разъемами соединителями заказчику были представлены результаты теоретического расчета допусков на согласование волокон при выполнении сварного соединения.

На основе обобщенной математической модели соединения оптических волокон [3, 6] проведен теоретический

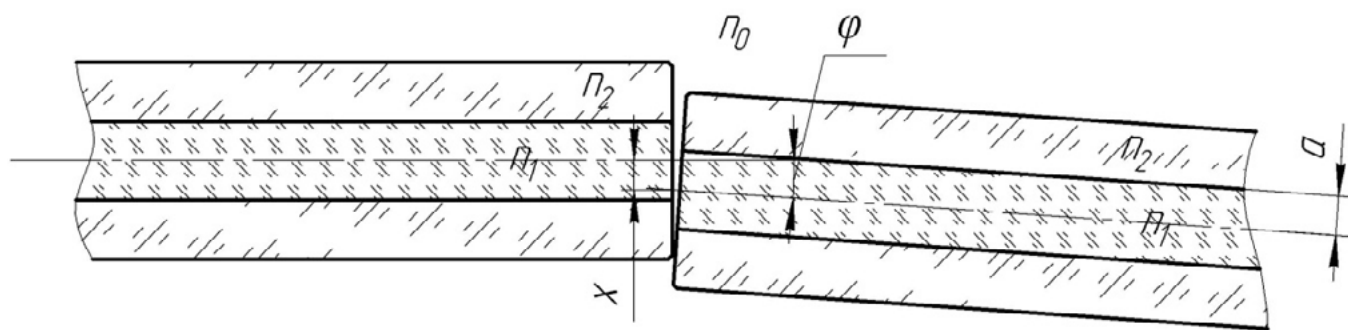


Рис. 1. Оптическая схема соединения оптических волокон, расположенных с поперечным и угловым рассогласованиями

анализ и определены допуски на совмещение оптических волокон при выполнении сварного неразъемного соединения. Сложность выполнения сварного соединения следует из рассмотрения оптической схемы соединения волокон и соответствующего математического выражения. Эта схема учитывает влияние поперечного и углового рассогласований волокон при соединении одномодового оптического волокна. Эти виды рассогласований рассматриваются, исходя из требований практики, поскольку, как показали исследования, линии связи на основе многослойных оптических волокон весьма чувствительны к поперечным и, особенно, к угловым рассогласованиям стыкуемых волокон. Поэтому важно определить взаимосвязь этих рассогласований и оптических потерь в соединении волокон.

В оптической схеме соединения рассматривается распространение излучения между двумя одномодовыми оптическими волокнами с одинаковыми геометрическими и оптическими параметрами. Волокна в данной схеме расположены с поперечным смещением x и угловым рассогласованием оптических осей соединяемых волокон φ (рис. 1).

Математическая зависимость коэффициента передачи соединения одномодовых оптических волокон с одинаковыми геометрическими и оптическими параметрами построена на основе математической зависимости (3) [3] и имеет вид:

$$P_n = P_u \left[\exp \left(- \left(\left(\frac{x}{\omega} \right)^2 + \left(\frac{\pi \cdot n_2 \cdot \omega \cdot \varphi}{\lambda} \right)^2 \right) \right) \right] \quad (1)$$

где P_u – мощность на торце передающего оптического волокна; P_n – мощность на торце приемного оптического волокна; x – смещение между осями волокон; φ – угол рассогласования между осями волокон; ω – эффективный радиус моды волокон; n_2 – показатель преломления оболочки волокна.

Для построения этого математического выражения использованы зависимости, отражающие закономерности рассогласований при поперечном рассогласовании x осей волокон [7]:

$$K_2 = \exp \left(- \left(\frac{x}{\omega} \right)^2 \right) \quad (2)$$

и угловом рассогласовании φ продольных осей волокон [8]:

$$K_3 = \exp \left(- \left(\frac{\pi \cdot n_2 \cdot \omega \cdot \varphi}{\lambda} \right)^2 \right) \quad (3)$$

Графическое отображение зависимости (1) представлено на рис. 2.

Приведенные графики наглядно показывают, что для обеспечения в соединении оптических волокон с диаметром сердечника 8 мкм оптических потерь на уровне 0,4 дБ необходимо обеспечить контакт волокон, при этом смещение их оптических осей не должно превышать 2,73 мкм при отсутствии углового рассогласования. Другое исполнение соединения допускает угловое рассогласование волокон на 0,0088 рад (0,5°), но при отсутствии поперечного смещения их осей. Остальные варианты исполнения являются промежуточными, но не менее жесткими по допускам на рассогласования.

Допуски на рассогласование оптических волокон значительно ужесточаются при выполнении соединения с уровнем вносимых потерь 0,1 дБ. Необходимо обеспечить поперечное смещение не более, чем на 1,35 мкм при отсутствии углового рассогласования; либо при отсутствии поперечного смещения угловое рассогласование не должно превышать 0,0044 рад (0,25°).

Таким образом, для выполнения сварки с приемлемым уровнем вносимых оптических потерь необходимо выдерживать поперечное рассогласование осей волокон в пределах 0–1,35 мкм, а угловое рассогласование осей волокон в пределах 0,25°.

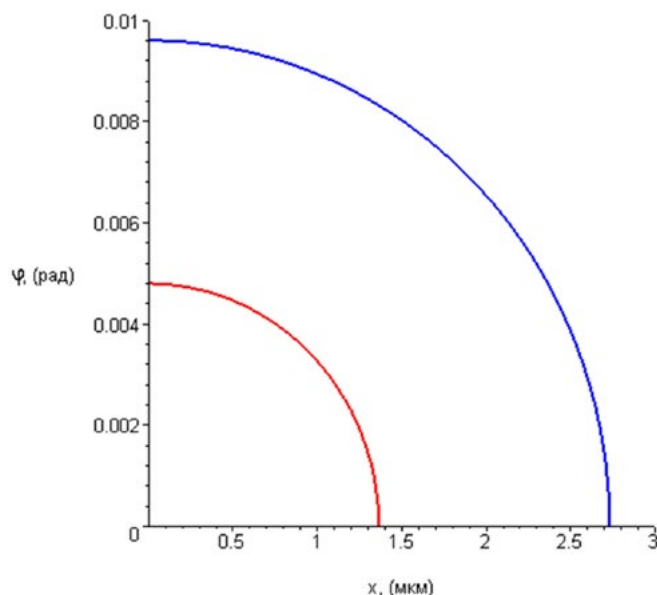


Рис. 2. Графики зависимостей поперечного смещения x осей оптических волокон от их углового рассогласования φ для обеспечения оптических потерь в их соединении на уровне – 0,1 дБ и 0,4 дБ. Радиус сердцевины волокна – 4 мкм, длина волны излучения – 1,33 мкм

Решение столь трудной задачи требует наличия технически сложной и экономически дорогостоящей сварной установки и высококвалифицированного персонала.

Отсюда следует, что сложности, возникающие в процессе сварки, весьма значительны. Их можно избежать, если исключить ее и пигтейлы из процесса соединения магистрального кабеля с оконечной аппаратурой и заменить их оконцеванием оптических волокон кабеля разъемными соединителями. Как показала практика, оконцевание магистрального кабеля допустимо осуществлять по общепринятой технологии [9–12], но необходимо добавить усовершенствованную обработку торцов соединяемых оптических волокон.

Второе техническое решение связано с применением разработанной оригинальной оптической технологии обработки торцов соединяемых волокон, направленной на уменьшение уровня вносимых оптических потерь. Разработанная технология базируется на известной [9, 10], но отличается от нее тем, что окончателная полировка выполняется не на сухом материале, а на материале, увлажненном жидкостью на основе дистиллированной воды. В результате повышается качество полировки торца, что ведет к снижению вносимых оптических потерь в оптическом соединителе.

Отличие предложенной технологии заключается в повышении качества полировки торца, что ведет к снижению вносимых оптических потерь в соединителе.

Проведен сравнительный анализ соединителей, выполненных по известной и разработанной новой технологиям. Измерены оптические потери, вносимые соединителями. При проведении измерений использовался оптический тестер OLT–20A. Из партии в 100 образцов, выполненных по известной технологии, 40 образцов имели оптические потери 0,00–0,05 дБ; остальные – 0,05–0,15 дБ. Из партии

в 100 образцов, выполненных по новой технологии, 76 образцов имели оптические потери в диапазоне 0,00–0,05 дБ; остальные – 0,05–0,15 дБ (рис. 3).

Новая технология позволяет снизить вносимые оптические потери в соединителе на 0,15 дБ.

В итоге: применение двух методов уменьшает оптические потери в магистральном кабеле на 0,35 дБ, увеличивая динамический энергетический диапазон линии связи.

Третье техническое решение связано с учетом влияния регулярных изгибов на оптические потери в одномодовом оптическом волокне, на основе которого построена волоконно-оптическая линия связи.

При прокладке и монтаже оптические кабели подвержены механическим нагрузкам: растяжению, кручению, изгибам. Поскольку изгиб присутствует всегда, то необходимо иметь представление о его влиянии на параметры распространения оптического сигнала. К таким параметрам относится величина мощности излучения на изгибе оптического волокна.

Установлено, что при прокладке и монтаже оптических кабелей мощность излучения на изгибах оптических волокон сравнима со значениями мощности излучения, определяющими работоспособность приемной аппаратуры [13]. В связи с этим предложены и строго соблюдены оптимальные параметры изгиба оптических волокон при монтаже оптического кабеля.

Совокупность принятых решений (отказ от сварки волокон и применение прямого монтажа оптических разъемов на волокнах магистрального кабеля и оригинальная технология полировки торцов волокон) позволили увеличить динамический энергетический диапазон линии связи на 0,35 дБ. При этом величина мощности оптического излучения на фотоприемнике стала достигать значения в 3,0 мкВт.

Устранение влияния регулярного изгиба оптического волокна повышает это значение до 3,6 мкВт. Этой мощности оптического излучения достаточно для построения надежной линии связи, поскольку заданный динамический энергетический диапазон в итоге превышен на 1,2 дБ.

К явным достоинствам предложенного решения относится возможность оконцевания специальных оптических волокон с нестандартными размерами и многоволоконных оптических кабелей.

Для оконцевания волокон с нестандартными размерами разработаны соответствующие разъемные соединители, оптические наконечники которых имеют нестандартные диаметры капиллярных отверстий [14].

Для оконцевания многоволоконных оптических кабелей разработаны разъемные соединители, оптические наконечники которых имеют несколько капиллярных отверстий [15].

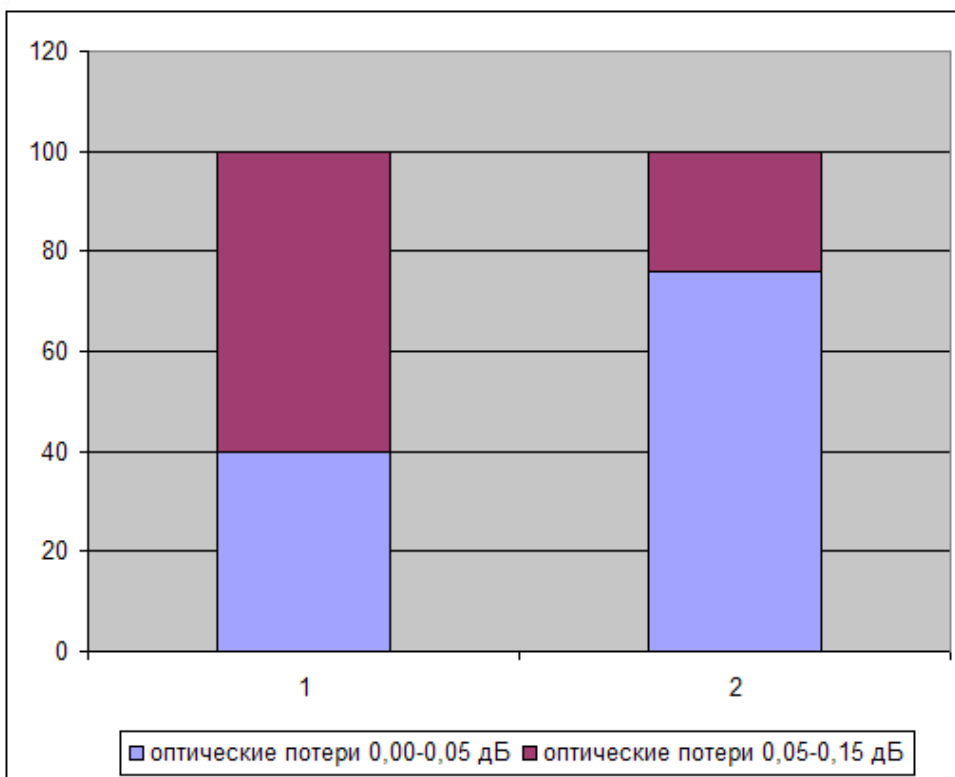


Рис. 3. Гистограмма оптических потерь при применении традиционной технологии (область 1) и усовершенствованной технологии (область 2)

ЛИТЕРАТУРА

1. Григорьев В.А. Специфика применения волоконных световодов в телекоммуникационных линиях связи // Современные телевизионные технологии. Состояние и направления развития: тезисы докл. 5-й международной конф. (Москва, ЗАО «МНИТИ», 20–21 октября 2010 г.) – М., 2010. – С. 40–43.
2. Алимов А.Е., Григорьев В.А., Казаков А.С., Самович В.А., Самович В.В. Особенности использования оптических кабелей в линиях связи для цифрового телевидения // Современные телевизионные технологии. Состояние и направления развития: тезисы докл. 5-й международной конф. (Москва, ЗАО «МНИТИ», 20–21 октября 2010 г.) – М., 2010. – С. 26–27.
3. Григорьев В.А. Инженерные приложения теории оптических волноводов в прикладном телевидении // Системы и средства связи, телевидения и радиовещания. – 2011. Вып. 2. – С. 44–47.
4. Григорьев В.А., Алимов А.Е. Особенности применения оптических кабелей в линиях связи для цифрового телевидения // Техника средств связи, серия «Техника телевидения». – М.: ЗАО «МНИТИ», 2011. – С. 55–60.
5. Свинцов А.Г. Оборудование для монтажа ВОЛС // Фотон-Экспресс. – 1999. – № 17. – С. 9–16.
6. Григорьев В.А. Применение теории оптических волноводов к исследованию и разработке оптических преобразователей для помехоустойчивых систем связи // Системы и средства связи, телевидения и радиовещания. – 2011. Вып. 2. – С. 64–68.
7. Marcuse D. Loss Analysis of Single-Mode Fiber Splices // The Bell System Technical Journal. – 1977. Vol. 56, № 5. – P. 703–718.
8. Бутусов М.М., Галкин С.Л., Оробинский С.П., Пал Б.П. Волоконная оптика и приборостроение / Под общ. ред. Бутусова М.М. – Л.: Машиностроение. Ленинград. отд-ние, 1987. – 328 с.
9. Волоконно-оптическая техника: Современное состояние и перспективы / Под ред. Дмитриева С.А. и Слепова Н.Н. – М.: АО «ВОТ», 2005. – 576 с.
10. Иванов А.Б. Волоконная оптика: компоненты, системы передачи, измерения. – М.: Компания Сайрус Системс, 1999. – 672 с.
11. Ларин Ю.Т. Оптические кабели связи. Неразъемные соединения. – М.: Информэлектро, 1991. – 57 с.
12. Ларин Ю.Т. Оптические соединители. Разъемные соединители. М.: Информэлектро. 1991. 48 с.
13. Григорьев В.А., Титов И.В. Устойчивость одномодовых световодов к регулярным изгибам // Электронная техника. Сер. 2 Лазерная техника и оптоэлектроника. – 1987. Вып. 3 (58). – С. 11–14.
14. Григорьев В.А., Кравченко В.Л. Способ изготовления волоконно-оптического соединителя (варианты): // Патент 2152061 РФ / заявл. 23.12.1996; опубл. 27.06.2000.
15. Григорьев В.А., Кравченко В.Л. Способ изготовления волоконно-оптического штеккера (варианты): // Патент 2110819 РФ / заявл. 4.03.1997; опубл. 10.05.1998.



СИНАНЯН РУБЕН МУШЕГОВИЧ 11.09.1948 – 06.10.2014

Синанян Рубен Мушегович родился в 1948 г. в г. Гавар Республики Армения. В 1971 г. окончил Ереванский политехнический институт по специальности инженер-электрик.

С 1971 г. Рубен Мушегович работал в электронной промышленности. Он прошел нелегкий путь становления от электрика цеха до главного инженера производственного объединения Министерства электронной промышленности СССР. В 1983 г. его назначили директором кабельного завода «Камо-кабель» (г. Гавар, Республика Армения), на базе которого в 1985 г. было создано производственное объединение АООТ «ГЕГАМА». Синанян Рубен Мушегович стал руководителем этого объединения.

В 2003 г. Рубен Мушегович зарегистрировал компанию «Дмитров-Кабель» (г. Дмитров, Московская область), работающую на рынке кабельно-проводниковой продукции. После окончания пусконаладочных и строительномонтажных работ был осуществлен первый выпуск продукции. 2005 год стал периодом становления производства, наращивания темпов роста производительности труда, увеличения объемов выпущенной и реализованной кабельно-проводниковой продукции. В короткие сроки Рубен Мушегович вывел предприятие на запланированный уровень мощности. В 2006 г. предприятие достигло запланированного уровня производства и реализации кабельно-проводниковой продукции. С 2009 по 2012 г. на предприятии было произведено полное техническое перевооружение, что позволило выйти на новый уровень производства и качества продукции.

Синанян Рубен Мушегович неоднократно был награжден премиями «Руководитель года», «Лучший руководитель России» и орденом «Звезда Отечества» за заслуги перед Отечеством, способствующие экономическому и социальному процветанию России, а предприятию удостоено звания «Лучшее предприятие района по благоустройству» и является лауреатом премии «Лидер экономического роста» за активную деятельность по реализации государственной программы экономического и социального развития.