

# **Триаксиальный радиоизлучающий кабель позволяет улучшить связь в подземных туннелях и метро.**

*Расширение зоны уверенного приема для экстренной связи, используемой полицией, имеет огромное значение для органов управления подземным городским транспортом. Очень важны электрические, механические и пожаробезопасные характеристики кабеля.*

**Рис.1 Поперечное сечение триаксиального антенного кабеля.**

**ВНУТРЕННИЙ СЛОЙ ПОЛИЭТИЛЕНА**  
**ВСПЕНЕННЫЙ ПОЛИЭТИЛЕН В КАЧЕСТВЕ ДИЭЛЕКТРИКА**  
**ЦЕНТРАЛЬНАЯ ЖИЛА**  
**МАЛОДЫМЯЩАЯ ОГНЕСТОЙКАЯ ОБОЛОЧКА**  
**ВНЕШНИЙ ЭКРАН**  
**ПРОВОД УТЕЧКИ**  
**ВНУТРЕННИЙ ЭКРАН**

Энтони Фидер отвечает за выпуск кабелей в Times Microwave Systems, Wallingford, CT.

#### **Энтони Фидер**

Достижение уверенного приема в закрытых пространствах, не способствующих распространению радиоволн, таких как подземные туннели и станции метро, - сложная задача для разработчиков коммуникационных систем. Использование точечных антенн приводит к наличию зон отсутствия приема, РЧ сигнал не проходит по всей длине туннеля. Для описания кабеля, предназначенного для обеспечения расширения зоны уверенного приема РЧ сигнала в закрытых и замкнутых пространствах, где трудно достичь уверенного приема с помощью точечных антенн, используется несколько терминов: излучающий кабель, излучающий фидер и антенный кабель. Излучающие кабели могут применяться для приема РЧ сигнала многих коммуникационных систем, включая сотовую, пейджинговую, двухстороннюю радиосвязь, и что особенно важно, обеспечивать радиосвязь полицейских и рабочих аварийных служб в случае пожара в туннелях или других закрытых помещениях.

В 1985 руководство городского транспорта Нью-Йорка (NYCTA) начало глобальное обновление системы радиосвязи транспортной полиции, которое предполагало замену действующих в то время двухпроводных антенных кабелей на излучающие кабели. Руководство городского транспорта Нью-Йорка постоянно ищет новые решения для расширения зоны уверенного приема в системе туннелей, повышения надежности связи и возможности добавления других коммуникационных систем для различных задач, требующих использования других частотных диапазонов.

Руководство одобрило два варианта антенных кабелей для замены действующих двухпроводных конструкций. Одна конструкция предполагала использование традиционного шелевого медного кабеля. Во второй конструкции использовался триаксиальный кабель с разделенными экранами.

После тщательной проверки и оценки для использования в IRT, самой большой части подземной транспортной системы Нью-Йорка, проходящей через все пять его районов, был выбран малодымный, огнестойкий триаксиальный кабель.

Для прокладки более 300 000 футов кабеля TRC-1250 (с наружным диаметром 1.760") была выбрана группа Fischbach and Moore Transit. Из-за ограничений по высоте туннелей максимальный допустимый размер кабельного барабана составляет 72 фунта, что эквивалентно

2 000 футов непрерывной кабельной линии без соединений. Эти кабели монтируются прямо на стенах туннеля, что значительно упрощает установку.

#### **Особенности конструкции**

Как и для всех РЧ передающих линий, наиболее важной функцией является передача РЧ сигнала от одной точки к другой с минимальными потерями мощности сигнала. Различие между излучающими передающими линиями и обыкновенными экранированными коаксиальными кабелями заключается в том, что конструкция должна позволять контролируемому количеству РЧ энергии излучаться в окружающее пространство без значительного снижения уровня сигнала.

На рисунке 1 показана основная структура конструкции триаксиального излучающего кабеля. В зависимости от размера кабеля, в качестве центрального проводника может использоваться либо алюминиевый, покрытый медью проводник, либо пустотелые медные трубки. В качестве диэлектрика используется вспененный полиэтилен малой плотности с высокой скоростью распространения сигнала, который обеспечивает среду с малыми потерями для передачи РЧ энергии между центральной жилой и наружными проводниками.

Наружные экраны состоят из полукруглой алюминиевой ленты, разделенной слоем полиэтилена с малыми потерями. Провода утечки в оплетке используются для обеспечения контакта между двумя наружными экранами при подсоединении разъемов.

В качестве оболочки используется малодымящий безгалогенный полиолефин. Такая оболочка устойчива к озону и плохой погоде и обладает достаточной гибкостью для установки кабелей в закрытых помещениях.

#### **Рисунок 2.**

#### **Эффекты ослабления сигнала излучающих кабелей.**

##### **Теоретические аспекты функционирования**

Все излучающие кабели чувствительны к внешним условиям. Влияние внешних условий на кабель проявляется в продольном затухании сигнала и потерях на связь различной степени.

Степень ослабления сигнала зависит как от конструкции кабеля, так и от особенностей конкретной рабочей среды. Рабочие характеристики кабеля отличаются при различных внешних условиях, например, прокладке на свободном пространстве, внутри здания, рядом с проводником или диэлектриком (например, укладка на земле или крепление прямо на стенах туннеля).

Триаксиальная конструкция показывает более стабильные и предсказуемые характеристики при изменении внешних условий по сравнению с обычной щелевой конструкцией гофрированных кабелей.

При использовании гофрированных кабелей создаются ряды профрезерованных отверстий, обеспечивающих излучение энергии в окружающую среду. Эти ряды отверстий с овальным профилем расположены периодически по всей длине кабеля и обеспечивают наличие продольного компонента электромагнитных полей, что приводит к тому, что общая энергия не передается в поперечной электромагнитной волне.

Разделение отдельных экранов в конструкции триаксиальных кабелей приводит к переносу малого количества энергии между разделенными экранами. Эти кабели сплошные, поэтому отсутствуют поля в продольном направлении.

На рисунке 2 показано влияние отрезка стальной трубы на характеристики затухания двух радиоизлучающих кабелей. Обе конструкции показывают подобные начальные характеристики затухания на частотах 100 - 1000 МГц. При введении отрезка стальной трубы, параметры триаксиального кабеля фактически остаются неизменными, тогда как щелевой кабель демонстрирует значительное ухудшение качества сигнала. Очень важно то, что для установки более не требуются дорогие опоры, что приводит к значительному снижению расходов.

Дополнительное преимущество установки непосредственно на стенах - более не требуется подвешивание кабеля, что использовалось при монтаже большинства кабельных систем. И еще одно важное преимущество связано с дополнительной защитой от вибрации и от повреждения движущимися транспортными средствами.

##### **Электрические характеристики**

Потери на ослабление и затухание триаксиального кабеля контролируются разделением отдельных экранов. Эта технология оптимизирует соотношение между затуханием и ослаблением при передаче сигнала. Они жестко контролируются допусками на ширину экрана наряду с допусками на размер диэлектрического слоя.

В таблице 1 приведены значения для трех триаксиальных кабелей стандартного размера. Приведенные значения ослабления и продольного затухания сигнала являются типичными для условий непосредственной (без использования опор) прокладки кабеля. Возможность прокладки триаксиальных кабелей непосредственно по стенам туннелей транспортной системы Нью-Йорка привела к отказу от дорогих опор и обеспечила быстроту монтажа и снижение общих затрат.

*Ослабление и затухание контролируются  
разделением отдельных экранов  
в конструкции триаксиальных кабелей.*

##### **Механические аспекты**

Наряду с электрическими характеристиками излучающих кабелей необходимо учитывать их механические, физические характеристики и воздействие на окружающую среду. Руководство городского транспорта Нью-Йорка потребовало провести серию испытаний перед рассмотрением возможности использования данных кабелей в транспортной сети. В таблице 2 перечислены требования к физическим и механическим характеристикам, а также требования по пожаробезопасности и выделению вредных компонентов для этих кабелей.

Из-за того, что эти кабели будут использоваться в жестких внешних условиях, было проведено дополнительное испытание для определения усилия на раздавливание.

Испытание на раздавливание плоской плитой, с использованием оборудования для испытания на разрыв в обратном режиме, проходили оба вида кабеля: гофрированный и триаксиальный. Для раздавливания триаксиального кабеля потребовалось более чем в два раза большее усилие, чем в случае гофрированного кабеля. Прежде всего, это связано с использованием в качестве диэлектрика жесткого вспененного полиэтилена, а также наличием защитных слоев оболочки из полимера.

Кроме прекрасной стойкости к раздавливанию, эластичность данных материалов позволяла триаксиальным кабелям после нагрузки возвращаться практически в то же состояние, различие в импедансе не превышало половины ома, в то время как гофрированный кабель оставался в раздавленном состоянии. Повышенная стойкость к раздавливанию и эластичность могут исключить необходимость замены поврежденного при воздействии внешней силы кабеля в случае триаксиального кабеля в отличие от гофрированного. Триаксиальный кабель оказался также гораздо более гибким, вследствие чего его было легче прокладывать.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ	TRC500-FR	TRC875-FR	TRC1250-FR
ИМПЕДАНС	50 ом	50 ом	50 ом
СКОРОСТЬ РАСПРОСТРАНЕНИЯ СИГНАЛА	86%	88%	88%
ЗАТУХАНИЕ @150МГц @450МГц @900МГц	1.08	.52	.39
	2.00	.97	.78
	3.05	1.75	1.23
ПРОДОЛЬНОЕ ЗАТУХАНИЕ @150МГц @450МГц @900МГц	72	75	74
	76	79	79
	80	80	80

Более 300 000 фут кабеля TRC-1250 было использовано в IRT, самой большой части подземной транспортной системы Нью-Йорка, проходящей через все пять районов. Из двух рассматриваемых кабелей: обычного щелевого гофрированного и малодымящего, огнестойкого триаксиального предпочтение было отдано последнему.

#### Пожаробезопасность

В системе общественного транспорта несколько раз возникали пожары, причины и последствия которых интенсивно обсуждались в прессе. В результате образования токсичных продуктов при пожарах погибли и были травмированы люди. Поэтому на протяжении последнего десятилетия в системах общественного транспорта по всему миру предпочитают использовать малодымящие, огнестойкие материалы для всех продуктов, устанавливаемых в подземных туннелях. Такие события, как пожар в Лондонском метро и трагическая гибель 300 человек в метро столицы Азербайджана Баку, привели к повышению внимания к безопасности материалов, которые предназначены для использования в замкнутых помещениях.

В таблице 3 перечислены некоторые характеристики по пожаробезопасности и выделению вредных компонентов для триаксиальных кабелей. Благодаря последним достижениям пожаробезопасных технологий и созданию новых огнестойких материалов, триаксиальные кабели могут отвечать требуемому уровню пожаробезопасности без необходимости использования дорогостоящих барьерных лент. Кроме огнестойкости, все материалы, используемые для производства этих кабелей, не содержат соединений галогенов. В случае пожара при горении этих кабелей образуется малое количество дыма, токсичных продуктов и едких газов.

*Поскольку излучающие кабели устанавливаются в различных средах, точно предсказать электрические характеристики достаточно сложно.*

#### Межсистемные связи

В тех областях транспортных систем, где не требуются радиочастотные коммуникации или необходимы межсистемные соединения, используются экранированные коаксиальные кабели с малыми потерями. Эти огнестойкие конструкции обеспечивают низкие потери на связь вследствие неизлучающей природы конструкции. Гораздо легче прокладывать коаксиальные кабели с малыми потерями и триаксиальные излучающие кабели, чем гофрированные медные. Гибкость и устойчивость к механическим повреждениям этих кабелей позволяет прокладывать их, огибая стесненные углы. Существенно сокращается время на установку таких конструкций. Соединительные кабели также должны соответствовать всем физическим, механическим требованиям и требованиям по пожаробезопасности и выделению вредных компонентов для излучающих кабелей.

#### Выводы

Поскольку излучающие кабели устанавливаются в средах с различными внешними условиями, точно предсказать электрические характеристики достаточно сложно. Влияние внешних условий на характеристики радиоизлучающих кабелей минимально. Эти

триаксиальные кабели были выбраны руководством городского транспорта Нью-Йорка благодаря наличию ряда важных преимуществ и предсказуемости рабочих характеристик. Эти кабели прошли тестирование после установки и показали высокий уровень приема сигнала при испытаниях, которые были необходимы для рассмотрения их использования в масштабе всей системы радиосвязи полиции. Установка без специальных опор и прекрасная гибкость конструкций - вот преимущества, которые, несомненно, повлияли на выбор этих систем. На протяжении трех последних лет радиокommunikации транспортной полиции работали надежно и безошибочно.

Таблица 2 — Физические и механические требования.		
ТРЕБОВАНИЯ К ИСПЫТАНИЮ	МЕТОД ИСПЫТАНИЯ	ТРЕБОВАНИЯ
ФИЗИЧЕСКИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ УСИЛИЕ НА РАЗРЫВ (МИН. PSI) УДЛИНЕНИЕ (МИН. 5%)	ASTM D 412-87	УС. РАЗР. / УДЛИ Н. 1000/100% PSI
ТРЕБОВАНИЯ ПОСЛЕ ВОЗДУШНОЙ ПЕЧИ 168 ЧАСОВ при 100°C (МИН.% ОТ ПЕРВОНАЧАЛЬНОГО) УДЛИНЕНИЕ (МИН. % ОТ ИСХОДНОГО)	ICEA 5-68-516	60% 60%
ПОГРУЖЕНИЕ В МАСЛО ASTM #2 НА 4 ЧАСА ПРИ 70°C. УСИЛИЕ НА РАЗРЫВ (МИН.% ОТ ПЕРВОНАЧАЛЬНОГО) УДЛИНЕНИЕ (МИН. % ОТ ОРИГИНАЛА)	ASTM D 471-79	60% 60%
ТВЕРДОСТЬ ПО ШОРУ А	ASTM D 2240-86	80 МИНИМ.
ХОЛОДНЫЙ ИЗГИБ (-25°C)	ICEA S-19-81 6 ВЫП., 19 СЕНТ., ЧАСТЬ 6	СООТВ.
ВОДОПОГЛОЩЕНИЕ, ГРАВИМЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД 168 ЧАСОВ ПРИ 70°C (МГ/ДЮЙМ <sup>2</sup> )  СТОЙКОСТЬ К ОЗОНУ  СОПРОТИВЛЕНИЕ НАДРЫВУ (МИН)  ФУНТ/ДЮЙМ	ASTM D 470-82 ASTM D 470-82 ASTM D 624-86 ASTM D 470-82	35 МАКС. СООТВ. 25 25

Таблица 3. Требования по пожаробезопасности и выделению вредных компонентов.		
ТРЕБОВАНИЯ К ИСПЫТАНИЮ	МЕТОД ИСПЫТАНИЯ	ТРЕБОВАНИЯ
ИНДЕКС ДЫМООБРАЗОВАНИЯ (МАКС)	NES 711 ВЫП.	25
ТОКСИЧНОСТЬ (МАКС)	NES 713 РЕД. #1 ИЮНЬ 1979	5
ЭКВИВАЛЕНТ ЕДКИХ ГАЗОВ (СОДЕРЖАНИЕ ГАЛОГЕНОВ) (МАКС.) %	MIL-C-24643 СЕНТ. 28, 1984	0.5 0.20
КИСЛОРОДНЫЙ ИНДЕКС (МИН.)	ASTM D 2863-87	32
ДЫМООБРАЗОВАНИЕ СРЕД. ПЛАМЯ. DS 4 МИН. СРЕД. ) МИН. ПЛАМЯ DM НЕВОСПЛ. СРЕД. (МАКС.) DS 4 НЕВОСПЛ. СРЕД. DM (МАКС.)	ASTM E 662-83	75 300 75 350
ГОРЮЧЕСТЬ а. ОБЩАЯ (70 000 БТЕ/ЧАС.)	IEEE 383-74	СООТВ.

