

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ
ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Отчет по НИРС

«Цифровые системы транкинговой радиосвязи стандарта TETRA»

Выполнил:

ст.гр. ТКС-086

Майстренко А.С.

Проверила:

Долгих И.П.

Введение

Стандарт TETRA создавался Европейским институтом телекоммуникационных стандартов (European Telecommunications Standards Institute, ETSI) как единый общеевропейский стандарт цифровой транкинговой радиосвязи. До апреля 1997 г. аббревиатура TETRA означала Трансевропейское транкинговое радио (Trans-European Trunked RAdio). Впоследствии, когда интерес к стандарту TETRA вышел за пределы Европы, смысл аббревиатуры TETRA изменился и стал расшифровываться как Наземное Транкинговое Радио (TErrestrial Trunked RAdio).



Стандарт TETRA является основным (если не сказать единственно доступным) стандартом для систем профессиональной транкинговой радиотелефонной связи. Это прежде всего современный цифровой стандарт, разработанный на основе технологии GSM и ориентированный на создание систем связи эффективно и экономично решающих задачу гибкой коммуникации между различными группами пользователей с обеспечением многоуровневой приоритезации вызовов и защищенности информации. Основными пользователями систем стандарта TETRA являются силовые ведомства, аэропорты, производственный сектор.

Состав системы TETRA

TETRA – открытый стандарт, т.е. предполагается, что оборудование различных производителей совместимо. Доступ к спецификациям TETRA свободен для всех заинтересованных сторон, вступивших в ассоциацию «Меморандум о взаимопонимании и содействии стандарту TETRA» (MoU TETRA). Ассоциация объединяет разработчиков, производителей, испытательные лаборатории и пользователей оборудования из различных стран. На деле же элементы инфраструктуры различных производителей абсолютно несовместимы в связи с использованием проприетарных внутренних интерфейсов. Кроме того, качественный и количественный состав оборудования инфраструктуры различных производителей для реализации одних и тех же функций может отличаться на порядок. Вместе с этим все производители оборудования стандарта TETRA реализуют одинаковый радиointерфейс, что позволяет использовать в одной сети абонентские терминалы (радиостанции) различных производителей. Абсолютная совместимость при этом не гарантируется, но базовые функции выполняются.

Итак, основным требованием к разработке платформ TETRA является функциональная совместимость, т. е. типовой набор функций в абонентских терминалах TETRA различных производителей должен реализовываться в полной мере на любом инфраструктурном оборудовании.

Передовые производители инфраструктурного оборудования стандарта TETRA, выпускающие также абонентские терминалы, помимо реализации основного функционала TETRA, предлагают дополнительные возможности при работе в «родной» сети (например, всю мощь терминалов Motorola можно ощутить при работе на платформах Compact TETRA, Dimetra IP, Dimetra IP Compact производства Motorola). Эти дополнительные

возможности могут сильно превосходить базовый набор функций TETRA и иногда могут являться определяющими при выборе системы связи. Примерами дополнительных функций могут являться WAP, работа с GPS, передача данных, удаленный доступ к базам данных и приложениям. Кроме того, даже скорость передачи данных у каждого производителя может отличаться. Например, в абонентских терминалах Motorola (в отличие от Serura или PUMA) на сегодняшний день достигается большая скорость передачи данных, что связано с более эффективным использованием канала. Аналогичная ситуация наблюдается с опциями по шифрованию радиointерфейса — набор опций зависит от производителя, и в том случае, если защита информации является приоритетной задачей, оператору TETRA предстоит серьезный анализ платформ для выявления наиболее подходящей.

Основными элементами системы транкинговой связи TETRA являются:

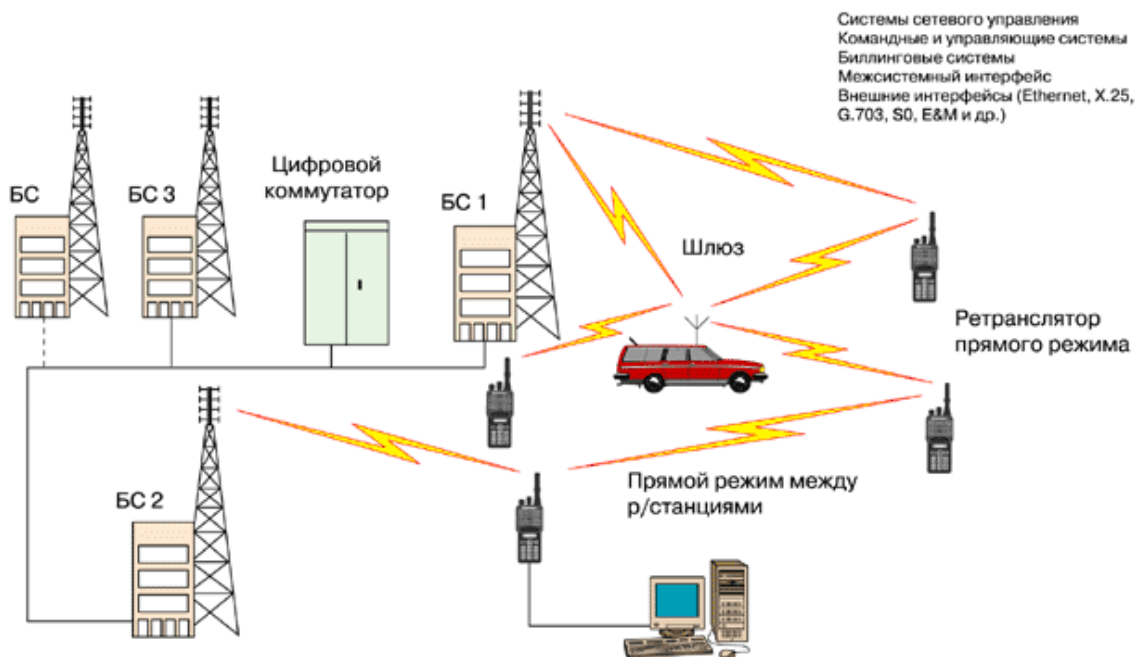
- Инфраструктура управления и коммутации (SwMI, Switching and Management Infrastructure)

К инфраструктуре TETRA относится оборудование, которое обеспечивает радиопокрытие и необходимые режимы функционирования сети TETRA: центр коммутации / маршрутизации; базовые станции; диспетчерские пульты; центр управления системой; шлюзы в другие сети; серверы приложений и др.

- Абонентские терминалы

Это радиостанции TETRA в портативном (носимом), мобильном (возимом) или стационарном исполнении.

Общая структурная схема сети TETRA:



В системах TETRA используется цифровая технология TDMA 25 кГц многостанционного доступа с временным разделением каналов, которая позволяет на одной физической частоте обеспечивать функционирование 4-х логических каналов.

Реализованная в TETRA технология гарантирует четырехкратную экономию частотного спектра, позволяет обеспечить вызов в режиме полного дуплекса, комбинированную передачу голоса и данных и высокоскоростную передачу данных (включая передачу видеоизображения) со скоростью до 28 кбит/с. Стандарт TETRA предусматривает адаптивное дискретное изменение уровня выходной мощности в процессе сеанса связи абонентов в соответствии с требуемой напряженностью поля, что при высокой плотности радиосредств приводит к существенному уменьшению взаимных радиопомех.

Сети TETRA обеспечивают выполнение широкого диапазона соединений с внешними сетями благодаря стандартизации интерфейсов AIR IF, TEI, ISI и DMO. Сеть TETRA может быть подсоединена, например, к городской и учрежденческой телефонным сетям, различным типам сетей передачи данных, а также командным и контрольным системам. Причем все эти сети могут быть доступны с мобильного терминала.

Способность TETRA обеспечивать сопряжение практически со всеми современными сетями передачи голоса и данных с учетом возможности выделения по запросу полосы пропускания (адаптация к требуемой скорости передачи информации) делает стандарт TETRA превосходной платформой для разработки систем передачи данных.

Системотехнические особенности стандарта TETRA

Режимы функционирования оборудования

Стандартом описывается два режима функционирования абонентского оборудования (радиостанций):

- Режим транкинговой радиосвязи (Trunked Mode Operation, TMO)

Режим TMO возможен, когда абонент находится в зоне действия базовой станции. Режим TMO может предоставлять абоненту все возможности TETRA и оптимизирован для решения следующих задач: а) одновременной передачи голоса и данных (V+D), б) пакетной передачи данных (Packet data optimized).

- Режим прямой передачи (Direct Mode Operation, DMO)

Режим DMO предназначен для группового взаимодействия между абонентами за пределами зоны действия базовых станций TETRA. Связь между абонентами осуществляется в полудуплексном режиме, но при этом сохраняется возможность сделать индивидуальный или групповой вызов.

Радиоинтерфейс стандарта TETRA

Стандарт TETRA использует технологию многостанционного доступа с временным разделением (Time Division Multiple Access, TDMA) совместно с технологией частотного дуплекса (Frequency Division Duplex, FDD). Тип модуляции радиоканала – относительная дифференциальная фазовая манипуляция со сдвигом кратным $\pi/4$ ($\pi/4$ DQPSK).

Стандарт TETRA реализует максимально возможную в системах подвижной радиосвязи частотную эффективность – 4 логических канала занимают 25 кГц. Для сравнения: в системах APCO/ASTRO25 на одном частотном канале шириной 12,5 кГц реализуется только один логический канал.

На рис. 1 представлена структура радиоинтерфейса стандарта TETRA в режиме TMO.

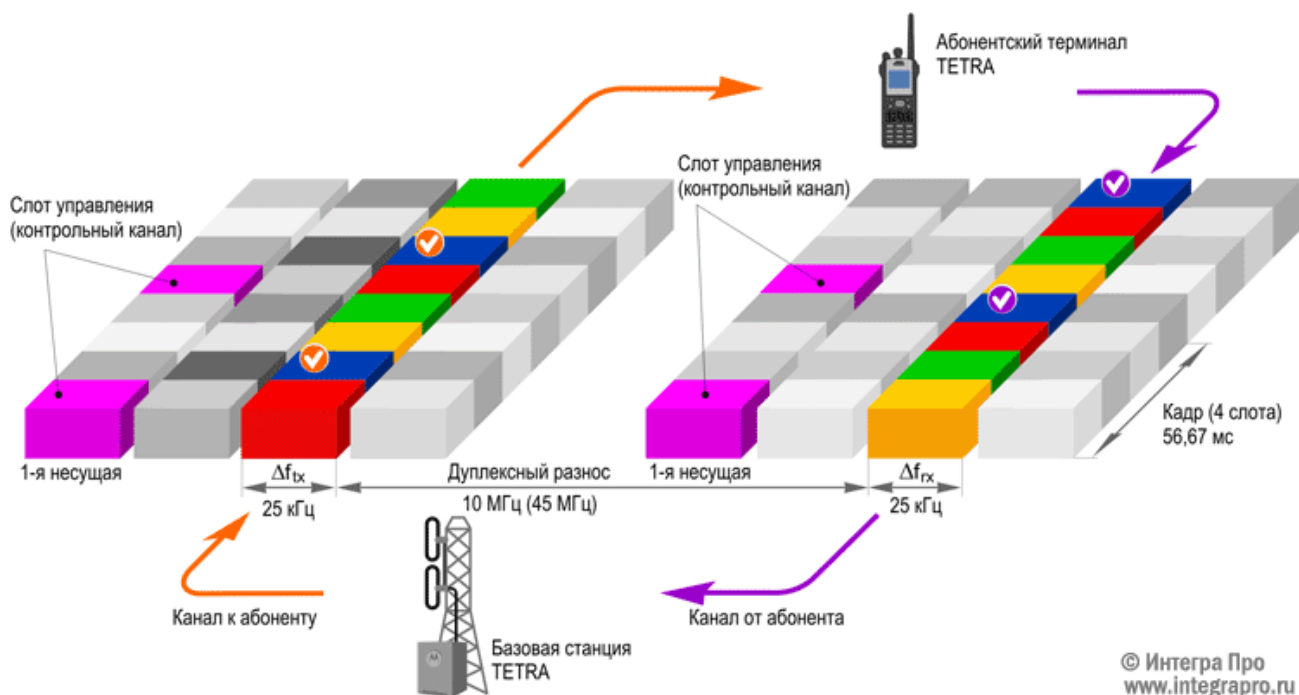


Рис. 1. Структура радиоинтерфейса стандарта TETRA в режиме TMO.

Один из логических каналов базовой радиостанции TETRA является управляющим. Обычно это первый слот на первой несущей. Управляющая информация также передается в каждом 18 кадре на каждом логическом канале. При этом кадр общей длительностью 56,67 мс состоит из 4 временных интервалов (слотов).

Основные аспекты коммутации в рамках стандарта TETRA:

1. Голосовые вызовы занимают только один логический канал.
2. Вызовы передачи данных могут занимать до 4 логических каналов одновременно.
3. Голос и данные могут передаваться одновременно в различных логических каналах.

В режиме DMO картина иная (см. рис. 2). В отсутствие базовой станции синхронизация между физическими каналами отсутствует. Синхронизацию в логическом канале осуществляет терминал-мастер (терминал, у которого нажата клавиша РТТ). А кроме этого абонентские терминалы не могут использовать все доступные слоты. Первая фаза стандарта TETRA подразумевает использование в режиме DMO только одного логического канала из 4 доступных. При этом другие группы, закрепленные на этой же частоте, получают сообщение о занятости канала. Вторая фаза предполагает возможность осуществления одновременно 2 групповых вызовов в режиме DMO.

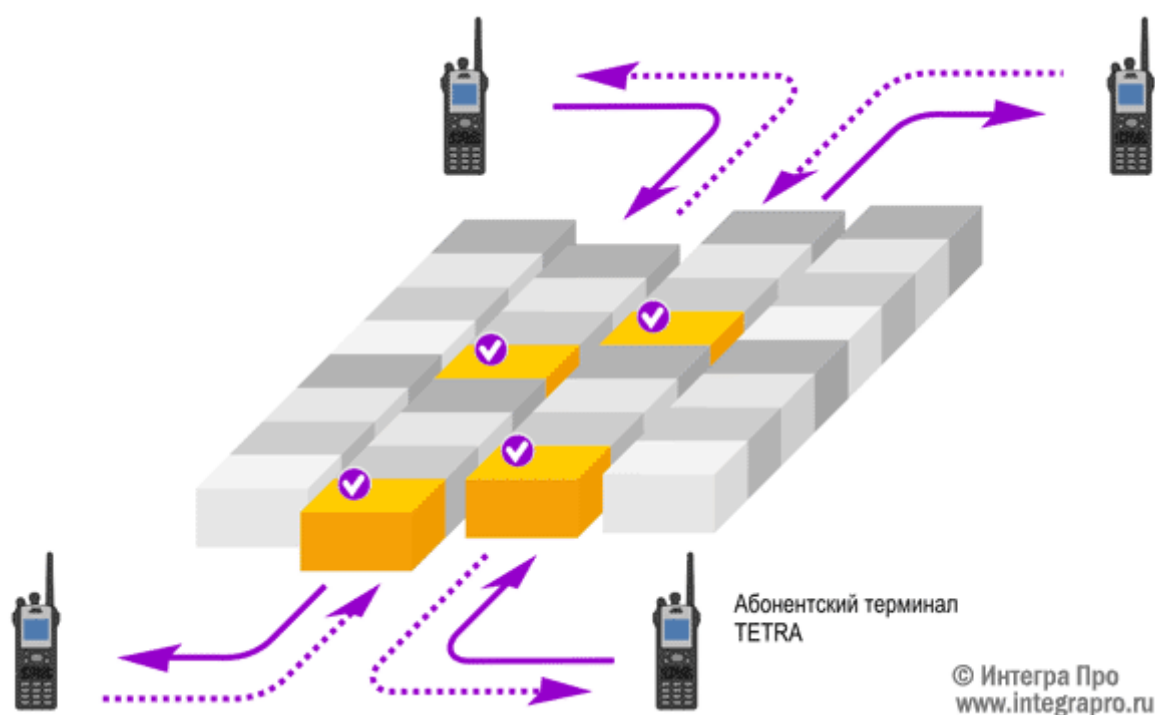


Рис. 2. Структура каналов стандарта TETRA при работе в режиме DMO.

Обнаружение и исправление ошибок, защита информации

Для обнаружения ошибок при передаче в канале радиосвязи, их исправления в канальном кодировании применяются технологии Forward Error Correction (FEC) и Cyclic Redundancy Check (CRC) в виде четырех процедур: блочного кодирования, сверточного кодирования, перемежения и шифрования, после

чего формируются информационные каналы. Скорость выходного потока равна 36 кбит/с (см. рис. 3). О функциях шифрования будет рассказано далее.



Рис. 3. Формирование общей емкости одного физического канала.

Кодирование речи

Для кодирования речи используется речевой кодек ACELP (линейное предсказание с возбуждением от алгебраической кодовой книги) со скоростью 4,8 кб/с. Если сравнивать по шкале MOS качество голоса в сетях стандарта TETRA с качеством голоса в привычных всем сетях GSM, то качество кодека TETRA оказывается незначительно меньшим (см. рис. 4). Но при этом не стоит забывать, что стандарт TETRA в четыре раза эффективнее GSM с точки зрения использования частотного спектра.

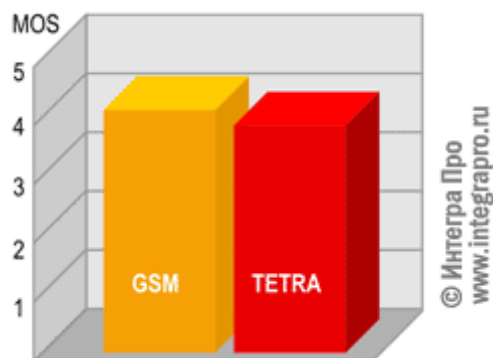


Рис. 4. Сравнение качества голоса в сетях TETRA и GSM.

Для справки: оценка MOS 4 означает «превосходное качество, незаметное ухудшение»; MOS 3 «хорошее качество, различимое, но не раздражающее ухудшение».

Энергетика и качество покрытия сетей TETRA

Важным следствием организации радиointерфейса является вопрос энергетики радиолиний TETRA. Говоря о зонах покрытия базовой радиостанции, следует упомянуть, что радиус зоны обслуживания зависит не только от типа модуляции и кодирования, но и от наличия естественных преград и окружающей электромагнитной обстановки. В условиях правильно реализованного антенно-фидерного оборудования достигались впечатляющие результаты – связь на расстоянии до 60 км от базовой станции (использовались радиостанции Motorola MTH800 и MTM800).

В отличие от аналоговых систем, где можно наблюдать постепенную деградацию качества передачи голоса с увеличением расстояния, в цифровых системах качество речи можно считать неизменно-высоким и независящим от удаления от базовой станции. Очевидно, что существует порог расстояния, при котором уровень ошибок превышает исправляющую способность кода, и связь становится невозможной. Цифровые системы дают заметное преимущества по покрытию и качеству речи. На рис. 5 представлен сравнительный график ухудшения качества передачи голоса для аналоговых систем и систем TETRA.

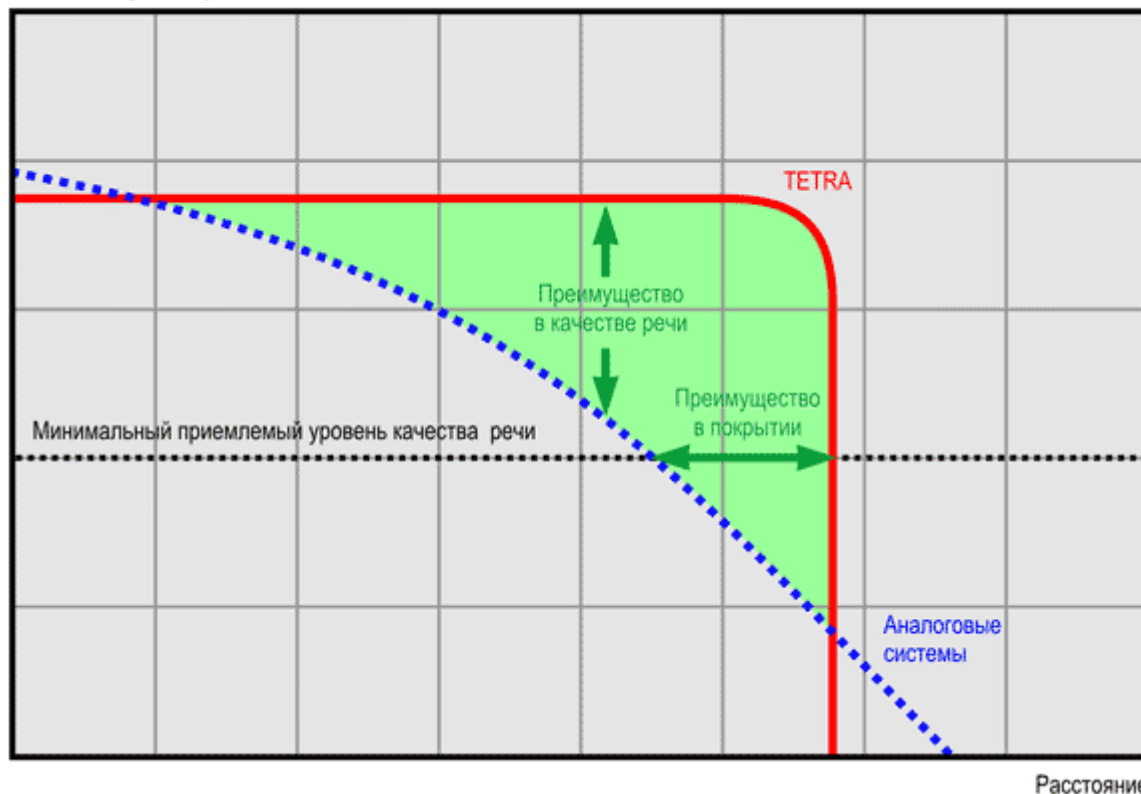


Рис. 5. График ухудшения качества речи в аналоговых и цифровых системах связи.

Существенным преимуществом сетей стандарта TETRA, в сравнении с аналоговыми системами или сетями APCO25, является функция автоматического регулирования излучаемой мощности мобильных терминалов. Автоматическое управление мощностью излучаемого сигнала позволяет существенно экономить ресурсы аккумуляторных батарей переносных терминалов, а также снизить уровень излучений вплоть до 15 дБм.

Функциональный набор стандарта TETRA

Голосовые вызовы

Можно определить следующие особенности голосовых вызовов в рамках стандарта TETRA:

- Высокое качество голоса за счет применения цифровой обработки, что позволяет работать в условиях повышенного акустического шума.
- Быстрое установление вызова (до 300 мс).
- Индивидуальный вызов (радиостанция – радиостанция).
Многоуровневые приоритеты. Дуплексный, полудуплексный вызовы.
- Телефонный вызов (радиостанция – внешние телефонные сети).
- Групповые соединения (радиостанция – группа радиостанций):
 - групповые вызовы (абонент — группа абонентов);
 - широковещательные вызовы (абонент — все абоненты);
 - сканирование групп;
 - динамическое перегруппирование (объединение абонентов в группы без программирования абонентских терминалов);
 - управление зоной вызова (инициирование группового вызова только в определенных зонах);
 - позднее подключение (позволяет абоненту подключиться к уже действующей группе).
- Экстренные вызовы (вызовы с максимальным приоритетом)
- Режим прямой связи (DMO)

Полный перечень дополнительных услуг, относящихся к голосовым вызовам и поддерживаемых в рамках стандарта TETRA, не имеет смысла перечислять в рамках настоящей публикации. Можно остановиться лишь на некоторых из них, наиболее важных:

- дистанционное прослушивание (позволяет диспетчеру прослушивать групповые и индивидуальные вызовы в системе)
- избирательное прослушивание (позволяет диспетчеру незаметно для абонента прослушивать окружающую абонента обстановку)
- вызов по сокращенному номеру
- вызов с ожиданием
- вызов с удержанием
- установление соединения при освобождении вызываемого абонента
- установление соединения по мере получения ответа абонента
- приоритет доступа с отключением абонентов с меньшим приоритетом
- приоритет доступа при исходящих вызовах
- приоритет доступа при входящих вызовах
- идентификация номера вызывающего абонента
- запрет на идентификацию номера вызываемому абоненту
- запрет на идентификацию номера вызывающему абоненту
- уведомление занятого абонента о поступившем вызове
- безусловная переадресация вызова
- переадресация вызова при занятости вызываемого абонента
- переадресация вызова при отсутствии ответа вызываемого абонента в течение заданного времени
- переадресация вызова при недоступности вызываемого абонента
- ограничение исходящих вызовов

- ограничение входящих вызовов

Передача данных

В рамках стандарта TETRA можно выделить соединяющие услуги по передаче данных:

- Передача данных с коммутацией каналов, со скоростью 2.4 - 28.8 кбит/с
- Передача данных с пакетной коммутацией, со скоростью 2.4 - 28.8 кбит/с (фаза 1)
- Передача коротких информационных и статусных сообщений (до 256 ASCII-символов в рамках одного сообщения).

Существуют несколько режимов передачи данных: без защиты (до 7.2 кбит/с), с низким уровнем защиты до 4.8 кбит/с) с высоким уровнем защиты (до 2.4 кбит/с). При применении незащищенной передачи данных функция проверки доставки данных должна выполняться приложениями верхнего уровня эталонной модели OSI.

Идентификация и адресация в рамках стандарта TETRA

При разработке механизмов идентификации и адресации в TETRA учитывались следующие предпосылки:

- взаимодействие множества сетей (и сетевых операторов), в каждой из которых работает большое число абонентов;
- уникальность идентификации любого абонента любой сети;
- возможность использования укороченных идентификаторов;
- поддержка роуминга и миграции абонентов.

Номерной план в рамках стандарта TETRA соответствует рекомендациям ITU E.212.

Для домашней сети TETRA выделяют следующие TSI номера (TETRA Subscriber Identities):

- ITSI — индивидуальный идентификатор абонента TETRA
- GTSIs — групповой идентификатор абонента TETRA
- ATSI — именной идентификатор абонента TETRA

Для роуминговой сети TETRA:

- (V)ATSI — именной идентификатор роумингового абонента TETRA
- (V)GTSIs — идентификатор роуминговой группы TETRA

Каждая радиостанция TETRA обладает как минимум одним семейством TSI, в состав которого входят следующие элементы:

- один индивидуальный идентификатор (ITSI);
- один или несколько групповых идентификаторов (GTSI);
- один идентификатор-псевдоним (ATSI);
- один телефонный номер (согласно E.164).

Мигрирующие абоненты могут сохранять в визитных сетях имеющиеся ITSI, либо получать от оператора визитной сети новые идентификаторы-псевдонимы. В последнем случае они называются (V)ATSI. Мигрирующим абонентам могут быть также присвоены визитные групповые идентификаторы (V)GSSI.

Адресация TSI имеет два поля в структуре идентификатора (номера TETRA):

- идентификатор сети, состоящий из кода страны MCC (mobile country code) – 3(4) цифры и кода сети MNC (mobile network code) – 4(5) цифр.

- короткий идентификатор абонента – до 7(8) цифр. Стоит сказать, что идентификаторы с номером выше 16777215 зарезервированы стандартом под шлюзы в другие сети.

Если абонент системы TETRA набирает несуществующий идентификатор, вызов отклоняется системой.

Несколько слов следует сказать о номерах TEI (TETRA Equipment Identities). Указанные номера являются уникальными для каждого абонентского терминала TETRA — не существуют двух радиостанций с одним и тем же идентификатором. Номер TEI состоит из 15 цифр и включает в себя сборочный код FAC (Final Assembly Code), код подтверждения TAC (Type Approval Code), а также электронный серийный номер ESN (Electronic Serial Number) и резервный номер SPR (Spare). Двухзначный сборочный код указывает на производителя и место сборки.

Безопасность в сетях TETRA

В рамках стандарта TETRA предусмотрены мероприятия по обеспечению безопасности в сети связи стандарта TETRA, направленные на исключение несанкционированного использования ресурсов системы и обеспечение конфиденциальности передаваемой информации в сети.

Эти мероприятия обеспечиваются следующими механизмами:

- аутентификация как абонентов, так и инфраструктуры;
- шифрование информации;
- обеспечение секретности параметров абонента.

Аутентификация абонентов осуществляется на основе главного ключа (K-key) и уникального номера TEI (см. выше). Абонентский терминал с неправильным идентификатором не допускается к ресурсам системы TETRA.

Шифрование информации является опциональной особенностью каждой конкретной системы стандарта TETRA. Радиоинтерфейс стандарта TETRA является защищенным априори. Но возможны и другие опции по шифрованию:

- E2E (End-to-End) – шифрование индивидуальных вызовов радиостанция-радиостанция (длина ключа шифрования может составлять 128 бит);
- шифрование групповых вызовов;
- шифрование радиоинтерфейса по алгоритмам TEA1, TEA2, TEA3 (TETRA Encryption Algorithm).

Секретность же параметров абонента обеспечивается посредством кодовой защиты конфигурации абонентского терминала и присвоения идентификаторов-псевдонимов.

Репитеры для расширения зоны покрытия в цифровых системах стандарта TETRA

Репитеры с распределенным усилением идеально подходят для обеспечения радиосвязи в зданиях и состоят из двух блоков: главного и подчиненного, которые соединяются коаксиальным кабелем наружной и внутренней антенн. Несколько подчиненных блоков могут подсоединяться к одному главному блоку, образуя распределенную систему покрытия для больших зданий.

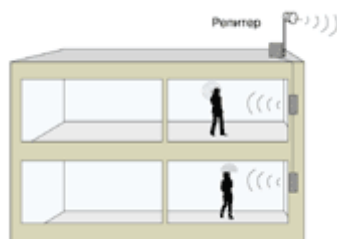


Рис. 1.

Репитеры с распределенным усилением для волоконно-оптических линий идеально подходят для использования в тоннелях или для обеспечения покрытия в больших зданиях. Они состоят из двух блоков: основного и вспомогательного, которые обычно соединяются с базовой станцией по волоконно-оптической линии (с помощью блока сопряжения) или по эфиру (с помощью ретранслятора). Основной блок обеспечивает радиосвязь с абонентами в тоннеле, вспомогательный - прохождение сигнала по волоконно-оптической линии. Благодаря низким потерям в волоконно-оптической линии может находиться на расстоянии до 20 км от базовой станции.

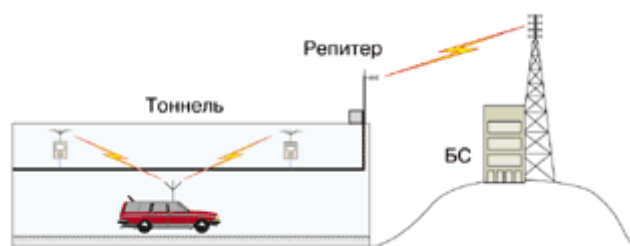


Рис. 2.

Эти репитеры с выбором канала для сетей TETRA могут быть запрограммированы на 4 канала (несущих) по выбору в частотном диапазоне пользователя. Только выбранные каналы усиливаются репитером. Данные репитеры идеально подходит для расширения зоны покрытия в сельской местности, вдоль дорог и в тоннелях, где не может быть проложен волоконно-оптический кабель.

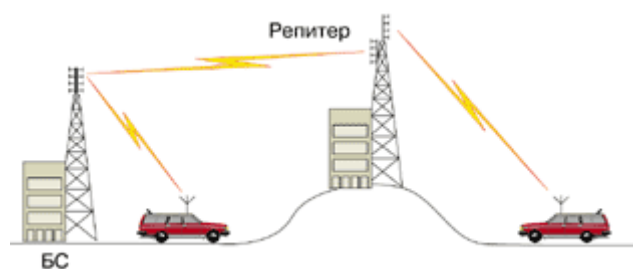


Рис. 3.

РЕПИТЕРЫ ДЛЯ РАСШИРЕНИЯ ЗОНЫ ПОКРЫТИЯ В ЦИФРОВЫХ СИСТЕМАХ СТАНДАРТА TETRA

Репитеры с распределенным усилением идеально подходят для обеспечения радиосвязи в зданиях и состоят из двух блоков: главного и подчиненного, которые соединяются коаксиальным кабелем наружной и внутренней антенн. Несколько подчиненных блоков могут подсоединяться к одному главному блоку, образуя распределенную систему покрытия для больших зданий.

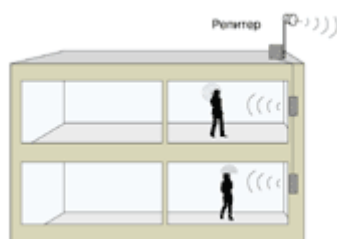


Рис. 1.

Репитеры с распределенным усилением для волоконно-оптических линий идеально подходят для использования в тоннелях или для обеспечения покрытия в больших зданиях. Они состоят из двух

блоков: основного и вспомогательного, которые обычно соединяются с базовой станцией по волоконно-оптической линии (с помощью блока сопряжения) или по эфиру (с помощью ретранслятора). Основной блок обеспечивает радиосвязь с абонентами в тоннеле, вспомогательный - прохождение сигнала по волоконно-оптической линии. Благодаря низким потерям в волоконно-оптической линии может находиться на расстоянии до 20 км от базовой станции.

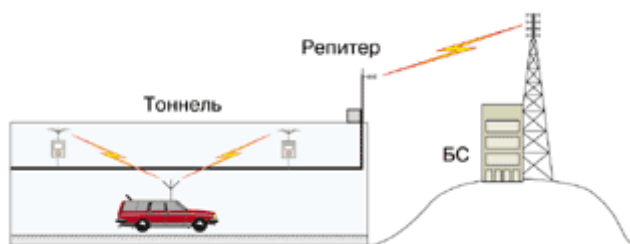


Рис. 2.

Эти репитеры с выбором канала для сетей TETRA могут быть запрограммированы на 4 канала (несущих) по выбору в частотном диапазоне пользователя. Только выбранные каналы усиливаются репитером. Данные репитеры идеально подходит для расширения зоны покрытия в сельской местности, вдоль дорог и в тоннелях, где не может быть проложен волоконно-оптический кабель.

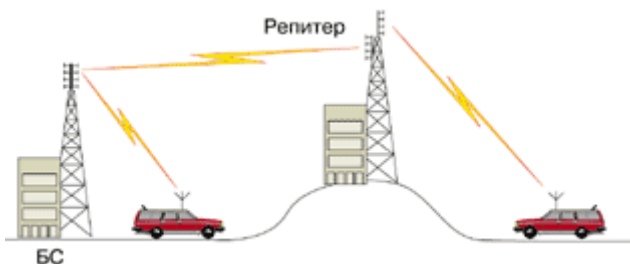


Рис. 3.

Основные параметры репитеров для расширения зоны покрытия в цифровых сетях стандарта TETRA

Производитель	Aerial Facilities		
Модель	TETRA Band Selective In-line Repeater	Medium Power TETRA Channelised Repeater	High Power TETRA Channelised Repeater
Диапазон частот	300-344, 380-400, 410-430, 450-470, 800-866 МГц	300-344, 380-400, 410-430, 450-470, 800-866 МГц	300-344, 380-400, 410-430, 450-470, 800-866 МГц
Рабочая полоса частот в диапазоне	5 МГц (15 для 800-866 МГц)	5 МГц (15 для 800-866 МГц)	5 МГц (15 для 800-866 МГц)
Количество несущих	1-4	1-4 и 1-8	1-4
Максимальный входной уровень	+10 дБм	+10 дБм	+10 дБм
Выходной уровень/несущая	+36 дБм (2 несущая) +31 дБм (4 несущие)	+31 дБм (2 несущая) + 28 дБм (4 несущие) +23 дБм (8 несущих)	+33 дБм (2 несущая) +30 дБм (4 несущие)
Коэффициент усиления	50 дБм	> 85 дБм	> 85 дБм

Коэффициент шума	< 4 дБм при максимальном выходном уровне	< 3 дБм при максимальном выходном уровне	< 3 дБм при максимальном выходном уровне
Потребляемая мощность	170 Вт	170 Вт	170 Вт
Размеры	600x300x250 мм	600x300x250 мм	600x300x250 мм
Диапазон рабочих температур	- 25 ...+55 С	- 30 ...+55 С	- 30 ...+55 С

Выводы

В конце научно-исследовательской работы хотелось бы еще раз остановиться на основных преимуществах решений на базе стандарта TETRA. Итак, хотите ли вы:

- повысить частотную эффективность (требуется меньшее количество частотных каналов);
- повысить эффективность управления системой технологической радиосвязи;
- снизить эксплуатационные расходы;
- увеличить пропускную способность системы;
- увеличить разборчивость речи в тяжелой помеховой обстановке;
- улучшить качество связи;
- защитить переговоры абонентов

и, как результат, увеличить скорость реагирования на чрезвычайные ситуации, повысить безопасность технологического процесса и экономическую эффективность предприятия? Решать вам.