

## Решения в стандарте профессиональной радиосвязи TETRA

Открытый стандарт цифровой транкинговой радиосвязи, разработанный европейским институтом телекоммуникационных стандартов ETSI (European Telecommunications Standards Institute) для замены морально устаревшего стандарта MPT 1327.

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 структуры, метрополитены, аэропорты, производственный сектор.

**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 основные 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 Dimetra IP, Dimetra IP Compact, Dimetra IP Micro 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 Sepura 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.

### Состав системы TETRA

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 и маршрутизации; базовые станции; диспетчерские пульта; центр управления системой; шлюзы в другие сети; серверы приложений и др.

- Абонентские терминалы

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

## 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) 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 п/4 (п/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.

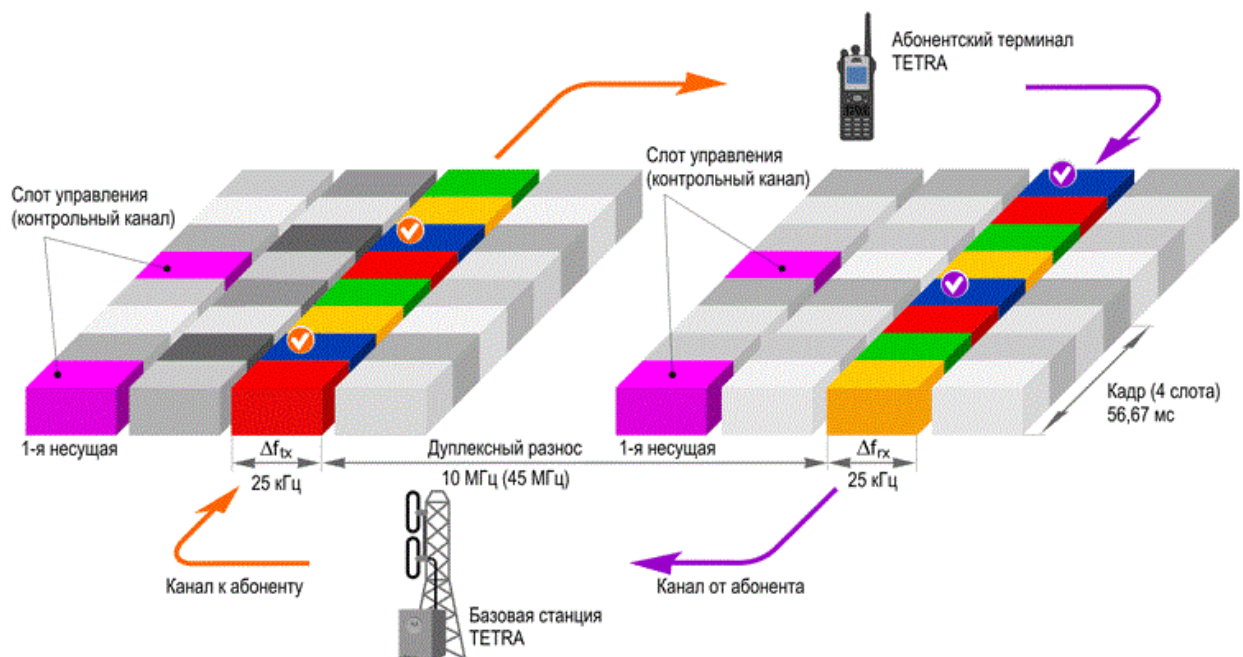


Рис. 1. Структура радиоинтерфейса стандарта TETRA в режиме TMO.

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). При увеличении нагрузки на контрольный канал организуются дополнительные контрольные каналы.

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. 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.

### **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.

### **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.

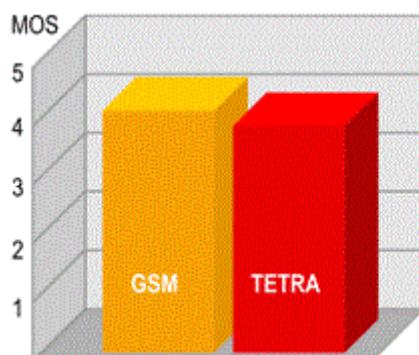


Рис. 4. Сравнение качества голоса в сетях TETRA и GSM.

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 радиоинтерфейса 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 50-60 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 независимым 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.

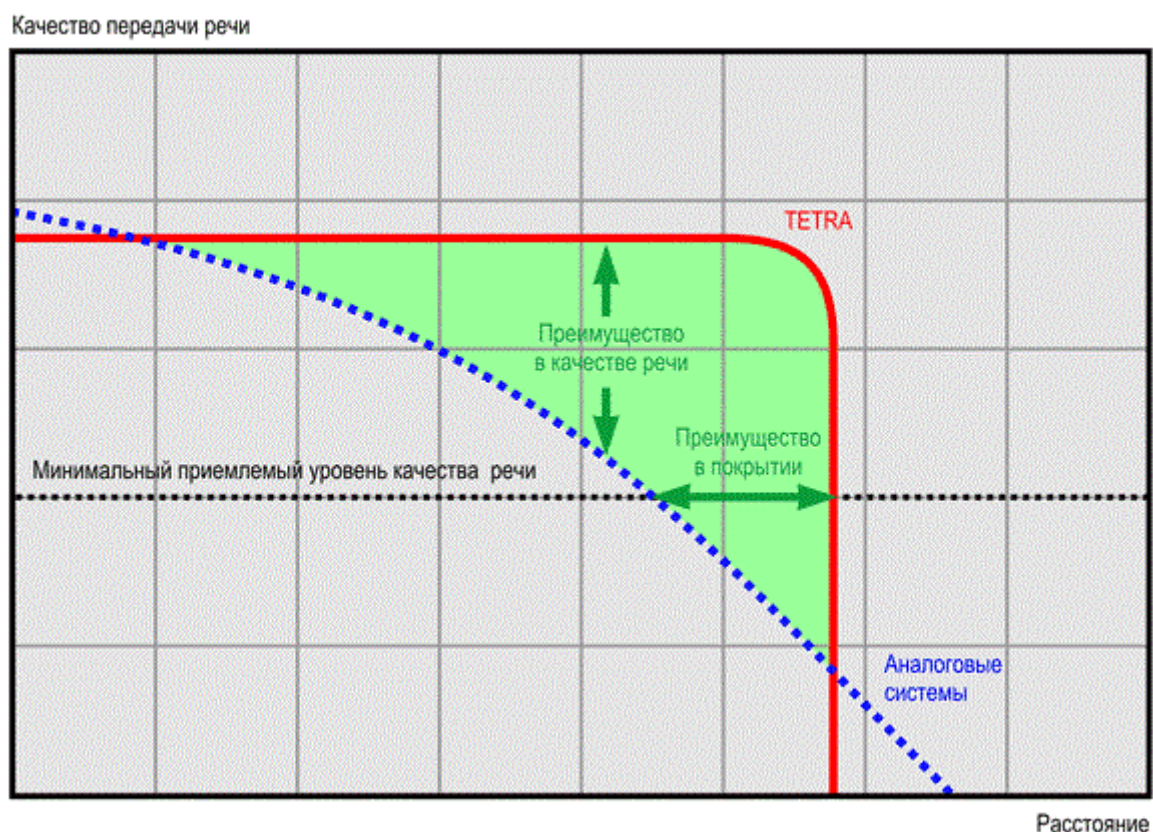


Рис. 5. График ухудшения качества речи в аналоговых и цифровых системах связи.

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);
  - широкоэвещательные 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. 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 следующие 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 направлены 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.