

## Сравнение цифровых технологий DMR - TETRA

Когда речь идет о сравнении цифровых и аналоговых технологий, мало кто усомнится в превосходстве первых. Другое дело, когда приходится выбирать между двумя цифровыми технологиями. Мы рассмотрим два основных цифровых стандарта, наиболее популярных на сегодня как в Европе, так и в России — это DMR и TETRA.

Этот материал не претендует на исчерпывающее и детальное описание стандартов. Единственная цель, которая здесь преследуется, - раскрыть ключевые моменты, опираясь на которые можно будет сделать правильный выбор технологии, наиболее подходящей для решения задач коммуникаций.

Очень часто определяющим фактором при выборе оборудования оказывается его стоимость. Зона покрытия базовой станции TETRA обычно в два — три раза меньше, чем у DMR, поэтому и количество сайтов в системе TETRA, охватывающей такую же территорию, приходится разворачивать больше. В связи с этим средняя система TETRA оказывается в 3 — 5 раз дороже, чем система DMR. При том что основные функции не сильно расходятся, особенно с быстрым развитием технологии DMR, должны быть серьезные основания для выбора более дорогой TETRA.

Объявленная спектральная эффективность TETRA требует комментариев. В действительности меньший радиочастотный ресурс может быть причиной возникновения проблем, связанных с повторным использованием частот, с избирательностью по соседнему каналу и непрерывностью работы управляющего канала. DMR в свою очередь без каких-либо оговорок предоставляет 6.25 кГц на канал.

Транкинговая система TETRA предоставляет возможность для коммуникаций, обеспечиваемой множеством сайтов в среде с большим количеством пользователей и плотным трафиком, так же как телефонная сеть, рассчитанная на обслуживание тысяч абонентов, сосредоточенных на небольшой площади. К системам DMR предъявляются скорее более жесткие требования к надежности связи на большой площади покрытия, нежели к абонентской емкости.

Другой аспект касается миграционной политики: с этой точки зрения для существующей аналоговой радиосистемы TETRA — это революционное решение, в то время как DMR — эволюционное.

В самом общем случае TETRA дает некоторое преимущество перед DMR особенно для средних и крупных сетей городского значения или большого предприятия. Если построение сети не преследует обеспечение таких масштабов связи, то рекомендуется остановить свой выбор на системах DMR.

## Краткий обзор технологий

**TETRA** — открытый стандарт, разработанный Европейским институтом стандартов систем телекоммуникаций (ETSI Standard 300 392) Основной целью стандарта было описание серии открытых интерфейсов, которое предоставило бы возможность независимым производителям разработать совместимое базовое и абонентское оборудование.

Тип цифровой модуляции выбран  $\pi/4$  DQPSK (дифференциальная квадратичная фазовая манипуляция). Этот тип модуляции классифицируется как с модуляция с не постоянной огибающей (not constant-envelope), поэтому для передачи сигнала требуются устройства с линейной характеристикой. В ином случае появляются боковые полосы, влияющие на работу соседних каналов. Максимальная скорость передачи данных составляет 36кбит/сек по четырем временным слотам на каждой несущей. В связи с тем, что доступ к каналу вносит ограничения на задержку, дальность работы от базовой станции TETRA составляет 58км.

Речевой сигнал испытывает сжатие вокодером ACELP, предложенным компанией SGS Thomson (теперь ST Microelectronics), с выходным потоком данных 4.567кбит/сек. В этот поток вносятся биты коррекции FEC, после чего скорость передачи возрастает до 7.2кбит/сек, что составляет информационную емкость одного временного слота. Полезная нагрузка в канале меняется от 2.4кбит/сек для трафика с высокой степенью защиты при использовании одного слота до 28.8кбит/сек незащищенных данных при полном занятии канала.

Система TETRA, как уже упоминалось, - это транкинговое решение, основное преимущество которой перед конвенциональными системами состоит в автоматическом распределении небольшого числа каналов коммуникаций между относительно большим количеством пользователей. Основным элементом системы является транкинговый контроллер, который по одному или нескольким каналам управления назначает канал взаимодействия с терминальным устройством. Таким образом управляющий канал выступает как средство сигнализации между контроллером и терминалом. Он не прекращает своей работы даже при отсутствии трафика.

Для осуществления бесшовной миграций между базовыми станциями (hand-over) требуется достаточно плотное их размещение с перекрытием зон. Магистральная сеть системы должна располагать достаточной полосой для обеспечения высокой скорости передачи данных и сигнализации и быстродействующим коммутационным оборудованием.

Стандарт продолжает развиваться, и программа TETRA Release2, последний документ которой был подписан в 2003г, предусматривает:

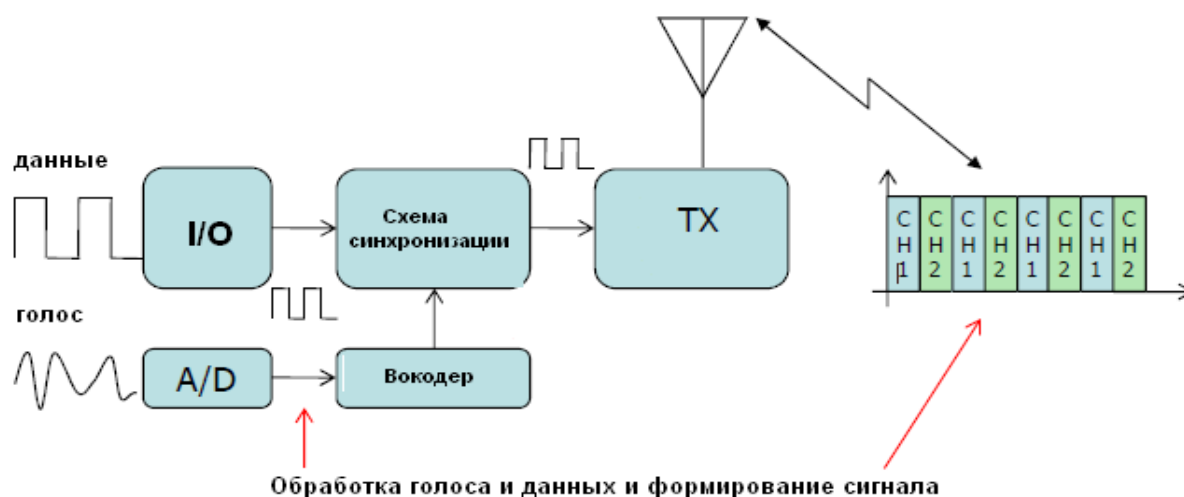
- увеличение расстояние от БС до 83км
- большее сжатие кодека
- большее количество модуляторов
- увеличение скорости передачи до 500кбит/сек в полосе 150кГц
- взаимодействие с мобильными телесистемами 2.5G/3G

**DMR** – открытый стандарт (ETSI TS 102 361), разработанный рабочей группой ведущих специалистов компаний-производителей радиокommunikационного оборудования. Разработка стандарта была обусловлена потребностями рынка в радиокommunikационном оборудовании, предоставляющем новые возможности связи через применение цифровых технологий. В то же время этот стандарт должен был гарантировать ровную миграционную процедуру от аналоговых систем к цифровым.

Поэтому все оборудование — репитеры и радиостанции — может работать как в цифровом, так и в аналоговом режимах, сохраняя характеристики радиоинтерфейсов:

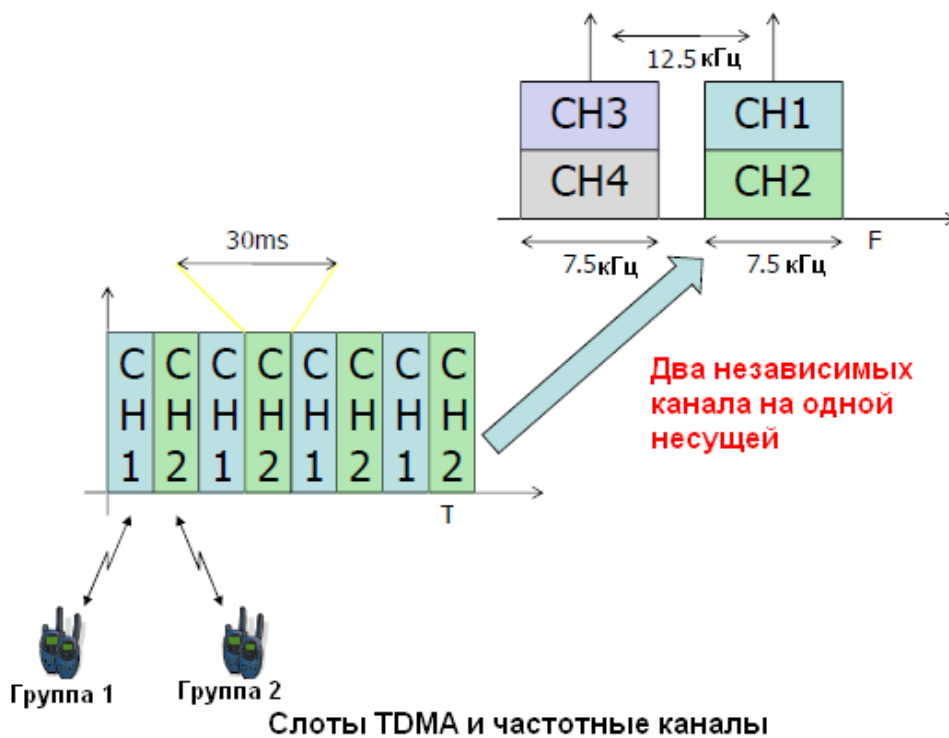
- традиционной голосовой ЧМ связи с канальной сигнализацией
- голосовой связи и передачи данных с цифровой модуляцией 4FSK с максимальной скоростью 9600кбит/сек.

Более того переключение между режимами работы происходит автоматически, т.е. ретранслятор самостоятельно определяет тип принимаемого сигнала — аналоговый или цифровой - и в соответствии с этим выполняет свою задачу.



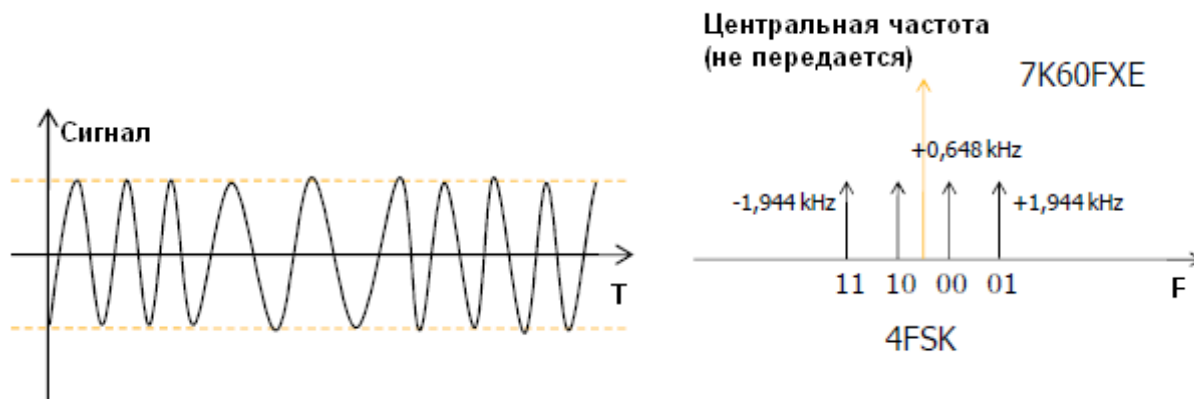
Стандарт DMR предполагает обработку как поступающих данных, так и речи. Голосовой сигнал преобразуется в цифровой формат, сжимается и разбивается на пакеты для передачи по цифровому каналу.

Передача производится по двум временным слотам TDMA (Time division Multiple Access), образующим частотный канал шириной 12.5кГц. Совокупность временных слотов одного порядка формирует отдельный независимый логический канал. Таким образом по одной несущей частоте в DMR информация может передаваться одновременно по двум логическим каналам.

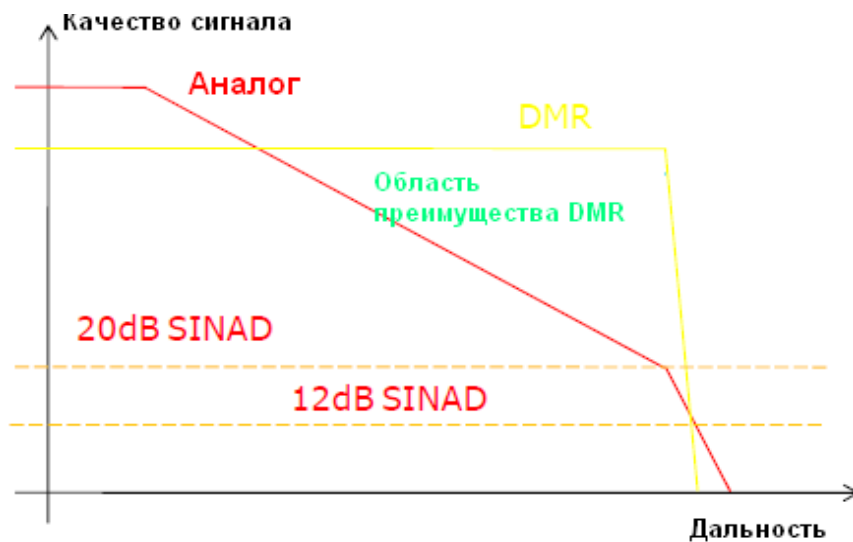


Системы DMR могут сосуществовать с обычными аналоговыми системами, расположенных на соседних каналах без взаимного влияния. Спектральная эффективность составляет величину 6.25кГц на канал, такую же как в системах TETRA и в два раза большую, чем в аналоговых. Однако при работе в прямом режиме без ретранслятора это преимущество исчезает, поскольку нет возможности произвести межслотовую синхронизацию.

Тип модуляции, применяемый в DMR — 4FSK (4-х уровневая частотная манипуляция), является оптимальным для использования в системах PMR. Каждая пара бит информации определяет частотный сдвиг относительно несущей частоты. Огибающая в этом типе модуляции носит постоянный характер (constant-envelope), что предоставляет значительные преимущества по потреблению и построению схемы передатчика: отсутствуют жесткие требования по обеспечению линейности тракта передачи, выходные каскады могут работать в более экономном режиме С.



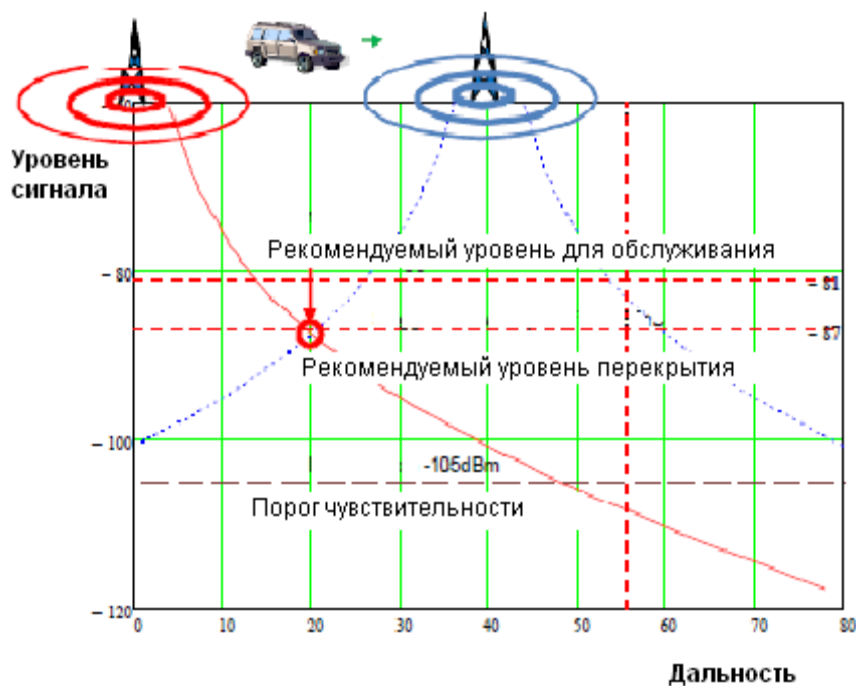
Уровень излучаемой мощности и чувствительность устройств DMR такие же как у обычных аналоговых систем, при этом благодаря цифровой обработке сигнала зона покрытия у них несколько выше.



## Радиоканал

**Зона покрытия** зависит от многих параметров радиостанции: эффективной излучаемой мощности, шумовых характеристик приемного тракта, характера местности, используемого диапазона частот и т.д.

Между чувствительностью приемника и скоростью передачи есть прямая зависимость. Как правило более интенсивная передача при заданной полосе частот ведет к уменьшению чувствительности в связи с большей восприимчивостью к шумам. В результате типичные динамические характеристики приемных устройств DMR составляют  $-110\text{dBm}$  и  $-105\text{dBm}$  TETRA терминалов.



В системах TETRA необходимо постоянное присутствие управляющего канала. Если уровень сигнала от базовой станции падает до некоторого порога, мобильный терминал начинает искать другую БС с более сильным сигналом. Уровень порога может зависеть от многих факторов: требуемого сервиса, характера окружающего ландшафта, ожидаемой скорости транспортного средства и т.д. Типовое значение порога в условиях малой застройки устанавливается на величину 18дБ выше чувствительности, и обычно составляет -87dBm. При проектировании требуемой зоны покрытия нужно учитывать необходимость обеспечения соответствующего уровня поля в каждой точке зоны средствами БС.

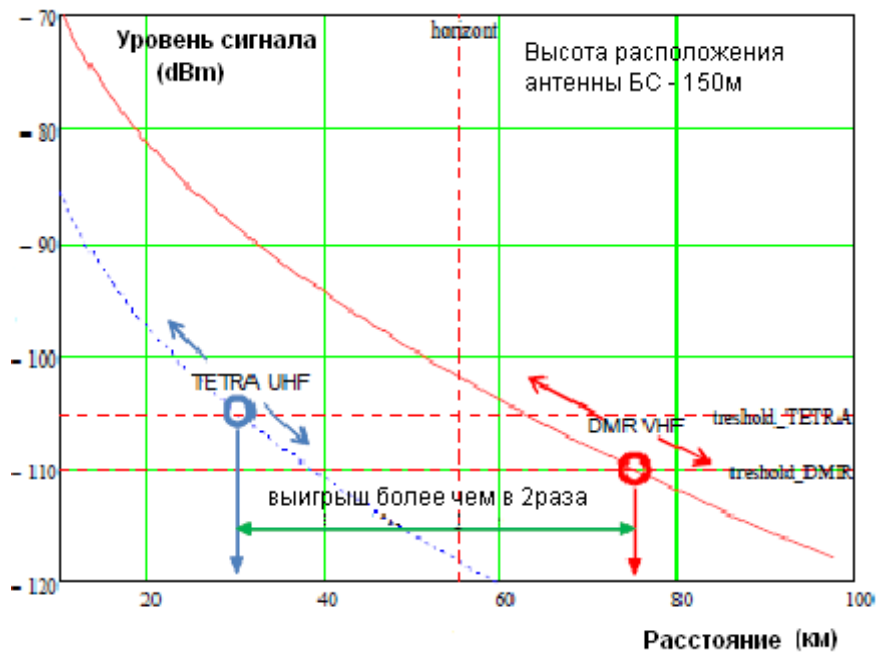
Таким образом размер зоны покрытия одной ячейки в системе TETRA может быть ориентировочно принят за величину 20км.

Роуминг в системах DMR имеет место при использовании оборудования в конфигурации IP Site Connect. Уровень сигнала, при котором станция приступает к поиску новой БС, устанавливается вручную и по умолчанию имеет значение порядка -108dBm. В результате БС DMR оказывается способной обеспечить связью абонентов на удалении до 40км.

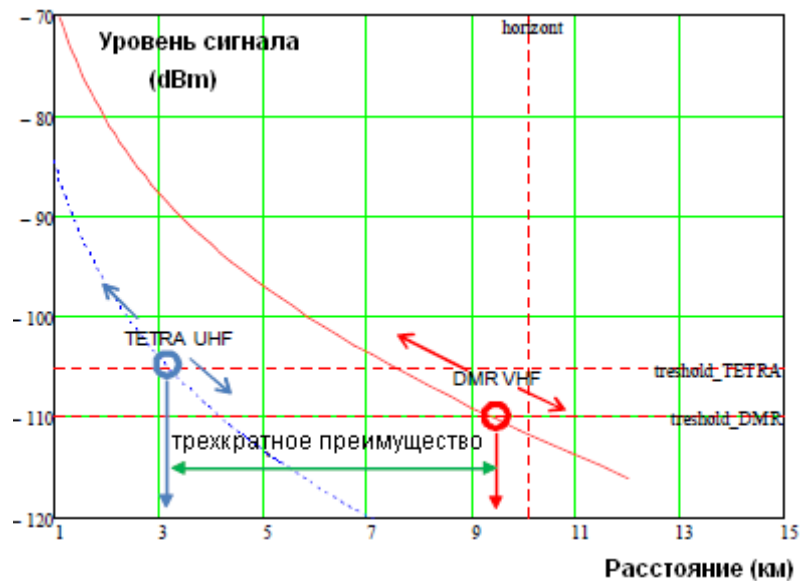


Для полноты картины рассмотрим еще два случая — режим работы радиостанции с одной БС и непосредственное взаимодействие друг двух радиостанций с другом без участия БС. Напомним, что на дальность связи влияет выбранный диапазон рабочих частот. Для систем TETRA выделены диапазоны 380 — 400МГц для служб общественной безопасности и 410 — 430МГц — для частного использования. В последнее время добавлен диапазон 800МГц.

В то же время большинство предприятий владеют частотами в диапазоне VHF. Переход на цифровую платформу DMR позволяет сохранять ранее используемый частотный план, что дает некоторый выигрыш, обусловленный особенностями распространения радиоволн.



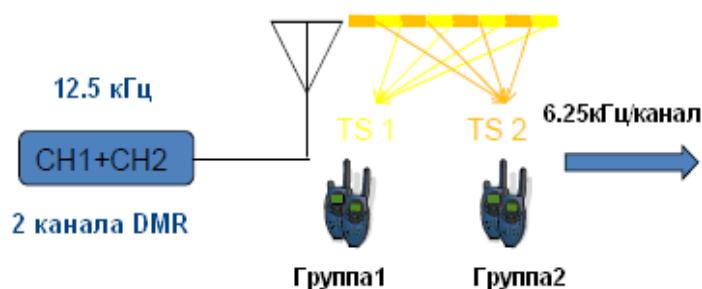
В системах TETRA требования к обеспечению линейности тракта передачи терминала сказывается на том, что его мощность обычно не превышает 1Вт. В то же время в радиостанциях DMR излучаемая мощность такая же как в аналоговых — 5Вт, что обеспечивает выигрыш более чем на 6дБ.



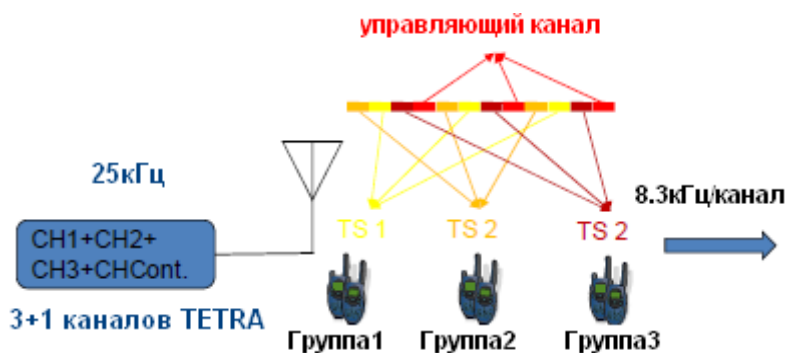
Общее превосходство в энергетическом потенциале DMR против TETRA достигает 10 — 12дБ (выигрыш по чувствительности 5дБ и по излучаемой мощности — 6/7дБ). В результате дальность действия систем DMR оказывается больше приблизительно в 2 раза, что в пересчете площадь покрытия дает выигрыш в 4 раза.

Еще раз обратим внимание на то, что производители DMR предлагают оборудование в традиционных для конвенциональной связи диапазонах частот и с тем же уровнем выходной мощности как у аналоговых станций. Приемные устройства этих радиостанций имеют чувствительность сравнимую с чувствительностью обычных станций. Все это дает возможность плавной миграции радио систем от аналоговой базы к цифровой с сохранением части оборудования и существующей зоны покрытия. В то же время переход от аналоговой системы на транкинговую вызовет необходимость как минимум удвоения числа БС для сохранения охвата территории.

**Спектральная эффективность**, обеспечиваемая применяемой технологией связи, определяется шириной полосы на один коммуникационный канал, коэффициентом повторного использования частот (frequency re-use factor), способом доступа к каналу и др. Рассмотрим последний фактор из перечисленных. На рисунках схематично отражена технология доступа к каналу в системах DMR и TETRA соответственно.

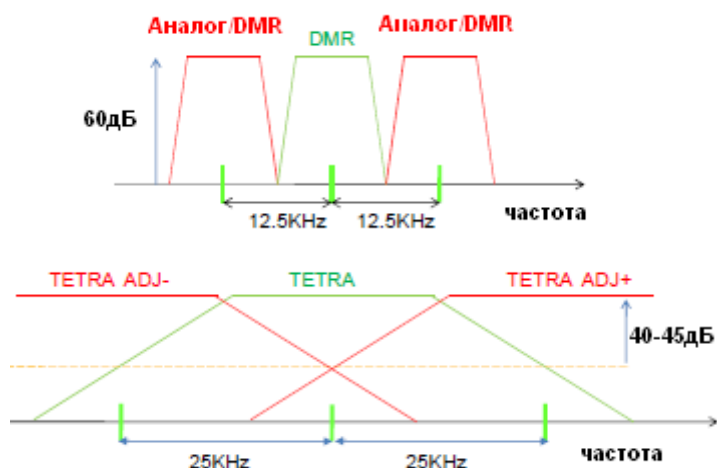


Две группы пользователей работают на двух независимых каналах.



Как видим, DMR имеет большую спектральную эффективность из-за отсутствия канала управления, забирающего часть ресурса под протокол. Конечно, с ростом числа каналов эта ситуация исправляется до момента, когда возрастающая плотность абонентов потребует введения дополнительного канала управления.

Если смотреть широко, то кроме явных показателей спектральной эффективности можно рассмотреть косвенные показатели, которые описывают насколько плотно можно распределить частотный ресурс в ограниченном пространстве.



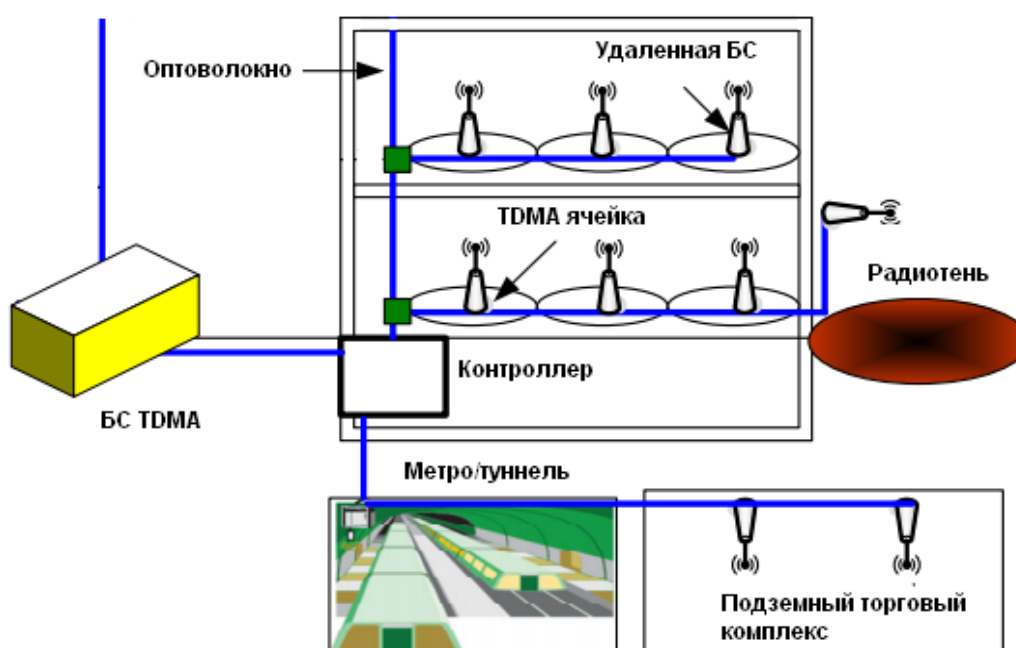


Например, важной характеристикой является избирательность приемника по соседнему каналу. Способность приемника выделить полезный сигнал на фоне помехи зависит от вида модуляции. В радиостанциях DMR этот параметр по величине такой же как у аналоговых образцов и составляет 60дБ при разносе 12.5кГц и 70дБ при 20/25кГц. TETRA может обеспечить только 40-45дБ при разносе 25кГц. Этот факт вынуждает разработчиков систем отказываться от использования частот соседних каналов на том же сайте или даже в прилегающих сайтах. И если в аналоговых или DMR системах построение независимых сетей не накладывает особых ограничений на расположение БС, то для систем TETRA работающая на соседнем канале БС, должна располагаться на расстоянии не ближе 25км.

Еще одна характеристика того же плана — минимальное отношение мощности полезного сигнала к мощности сигнала от другого передатчика на той же частоте, при которой система продолжает нормально работать (Carrier-to-Interference ratio (C/I)). Другими словами это требуемая изоляция в канале от независимых устройств, работающих на одной частоте. Для систем TETRA эта изоляция должна быть 19дБ, для DMR так же как и для аналоговых систем — только 12дБ. Можно считать, что ослабление поля на 6-9дБ происходит при двукратном увеличении расстояния. Таким образом повторное применение частот в радиосети TETRA наталкивается на большие трудности, чем в DMR.

**Допуск на задержку на время распространения сигнала** накладывает ограничения на предельную дальность работы систем на базе технологии TDMA. В канале необходимо обеспечить синхронизацию работы всех устройств для предотвращения наложения слотов TDMA. Стандарт DMR предписывает защитный интервал 2.5мсек, который позволяет обеспечить требуемое время нарастания и спада мощности в передатчике, а также задержку на распространение сигнала в пространстве. Теоретически защитный интервал длительностью всего 1мсек дает возможность работать с задержками сигнала на расстоянии 150км от БС. Защитный интервал в TETRA составляет всего 0.4мсек ограничивает максимальные размеры ячейки значением 58км. В некоторых случаях на таком расстоянии еще сохраняется достаточный уровень сигнала для работы системы.

**Межсимвольная интерференция** происходит в случаях, когда в качестве среды передачи радио частоты используется оптоволокно (Radio-over-Fiber Transmission), а последующее усиление и излучение сигнала производится обычными средствами.



Такая технология применяется для организации связи в протяженных тоннелях или больших зданиях, где затухание в перекрытиях вынуждает размещать множество так называемых «расширителей ячейки» (cell enhancer). В таких случаях необходимо, чтобы разница в излучаемых сигналах, обусловленная временем распространения в оптоволокне, не приводила к их взаимной интерференции. Допуск к времени задержки не должен превышать одной восьмой от символьной скорости. На практике разница по скорости передачи в системах TETRA и DMR выражается в том, что допустимая задержка для первых составляет 7-10мксек против 30-40 для вторых. Т.е. БС DMR можно располагать в 3-4 раза дальше друг от друга, чем TETRA.

**Экономичность** систем DMR по сравнению с TETRA вызвана меньшими требованиями к линейности характеристики передающего тракта и отсутствием постоянно работающего управляющего канала. В среднем потребляемая мощность оборудования TETRA превышает этот же показатель DMR в 10-12 раз. Кроме того для соблюдения требуемых климатических условий приходится устанавливать более мощные кулеры и кондиционеры, которые добавляют к расходу количества энергии. Средних размеров сеть TETRA может потреблять 10-15кВт в день против 0.8-1.2кВт DMR.

## **Системная производительность**

**Функции** обеих систем призваны выполнять базовые требования к цифровым систем связи, такие как индивидуальный/групповой/широковещательный вызовы, аварийный вызов, определение местоположения, поздний вход, идентификация абонентов, текстовые сообщения, передача данных и т.д.

На сегодня TETRA предлагает более мощные средства по шифрованию канала, возможность дуплексного обмена между терминалами и более совершенные приложения благодаря десятилетнему опережению стандарта. Однако, благодаря доступности стандарта DMR и разработанной фирмой Motorola программе ADP содействия разработчикам приложений, появляется множество решений, заметно повышающих конкурентоспособность систем DMR.

**Простота и гибкость** любой системы повышают ее жизненный цикл в связи с возможностью адаптироваться под вновь возникающие задачи. TETRA- это революционное решение в сфере телекоммуникаций. Это транкинговая система, способная охватить территорию от нескольких квадратных километров до размеров региона или страны. Она включает в себя мощные коммутационные и вычислительные средства, высокоскоростные магистрали, требует скрупулезной работы по проектированию зон покрытия и частотного плана подобно системам мобильной связи GSM. Это достаточно сложная работа, которая скрыта от понимания конечного пользователя. Для поддержания работоспособности развернутой системы нужен специально подготовленный штат администрирования.

Стандарт DMR разрабатывался в целях простой и щадящей миграции от аналоговых средств связи к цифровым. Масштаб этих систем — от одного репитера до нескольких связанных БС. Такая конфигурация практически повторяет конфигурации существующих традиционных систем связи, в том числе транкинговых, уровня предприятия или месторождения. При замене одной системы на другую не требуется перепроектирования расположения БС и частотного плана, поскольку оборудование DMR работает на тех же частотах что и аналоговые станции.

Благодаря объединению БС по сетям IP DMR выводит существующие сети связи на новый

уровень телекоммуникаций. При этом как правило не требуется мощных дорогостоящих коммутаторов. Увеличения зоны покрытия производится простой установкой новой БС без переконфигурирования системы. Новый стандарт скорее предлагает конструктор из ретрансляторов для сборки простой и надежной системы со всем необходимым функционалом.

**Надежность** любой системы в первую очередь зависит от ее сложности. Хороши известные методики расчета наработки на отказ указывают на то, что вероятность отказа жестко коррелирована с числом компонентов, составляющих систему и температурным режимом ее работы. При одном качестве производства TETRA уступает DMR по обоим этим показателям.

В сетях обеих систем предусмотрена процедура переключения в локальный режим работы БС в критических случаях. Система DMR при этом имеет некоторое преимущество благодаря тому, что ее логика работы слабо зависит или не зависит вовсе от наличия центрального коммутатора.

## **Заключение**

Стандарт TETRA был сильно расписан в свое время производителями оборудования в маркетинговых целях. Те преимущества в сфере телекоммуникаций, которое стандарт предоставлял потенциальным потребителям, заставляли их смиряться с высокой стоимостью, резко возросшей сложностью при сокращении производительности радиостанций по мощности и чувствительности и, как следствие, сокращением зоны покрытия. Появление альтернативной цифровой технологии DMR продемонстрировало возможность сочетания высокой функциональности цифровых систем с эффективностью традиционных аналоговых образцов.

Если стоимость мобильных терминалов обеих систем сопоставима, то оборудование инфраструктуры DMR обладает заметным преимуществом в отношении цена/качество. Зона покрытия БС TETRA (более дорогих, чем DMR) меньше в 2 — 3 раза, чем у аналоговых или DMR БС. Поэтому система TETRA требует установки в 3 — 5 раз большего количества сайтов для покрытия аналогичной территории. Кроме того системы TETRA требуют больших средств на содержание.

Сложность базового оборудования TETRA не позволяет конечному пользователю обходиться собственным персоналом для его обслуживания. Поэтому заказчик оказывается в зависимости от сервисных служб сторонних организаций, что также приводит к затратам на поддержку системы.

**Итак. Систему TETRA имеет смысл устанавливать в целях обеспечения высокотехнологичной связью на небольших территориях с высокой плотностью абонентов — аэропортов, больших предприятий, муниципальных служб и т.д. Если таких задач не стоит, то предпочтительнее развернуть систему DMR.**

---

Эта статья основана на материале компании **Radio Activity S.r.l.** “DMR versus TETRA systems comparison“.