

Е.О. Гладкова, А.А. Гриценко, В.А. Жиров, Ю.А. Молотков
(ЗАО «Центр «Северная корона»)

ЧАСТОТНО-ТЕРРИТОРИАЛЬНОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ СЕТЕЙ ПОДВИЖНОЙ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ РАДИОСВЯЗИ СТАНДАРТА *DMR*

частотно-территориальное планирование, радиопокрытие, *DMR*

Введение

Аналоговые системы до сих пор успешно эксплуатируются в сетях так называемой конвенциональной радиосвязи. В то же время возрастающий дефицит частотного ресурса и необходимость расширения сервисов заставляет задумываться о замене аналоговых систем цифровыми.

Для учета особенностей диапазона частот конвенциональной связи и сложившейся ситуации с использованием радиочастотного спектра Европейским Институтом стандартов связи был разработан стандарт *DMR* (*Digital Mobile Radio* – цифровое мобильное радио) [1-4]. Он в полной мере соответствует задачам «цифровизации» систем конвенциональной радиосвязи.

Производители оборудования начали выпуск соответствующей аппаратуры, которая позволяет разворачивать сети «с нуля» или модернизировать уже существующие аналоговые сети путем постепенной замены аналогового оборудования на цифровое.

Появилась необходимость частотно-территориального планирования сетей по стандарту *DMR*. В силу специфики частотного диапазона, ограниченности частотного ресурса, слабой направленности антенн эта задача существенно отличается от задач частотно-территориального планирования сетей подвижной и фиксированной радиосвязи.

В статье представлен опыт частотно-территориального планирования сетей по стандарту *DMR*, накопленный в ходе выполнения практических задач. Раскрываются основы методического обеспечения с иллюстрацией программной реализации всех этапов планирования.

1 Стандарт *DMR*

Рассмотрим вкратце некоторые особенности стандарта *DMR*, которые необходимо учитывать при частотно-территориальном планировании.

Разработчиками стандарта *DMR* и производителями соответствующего оборудования предполагалось, что сети стандарта *DMR* будут использовать тот же частотный ресурс, что и существующие

аналоговые системы профессиональной подвижной радиосвязи (рисунок 1 [5-7]), выделение новых полос частот не предусматривается.

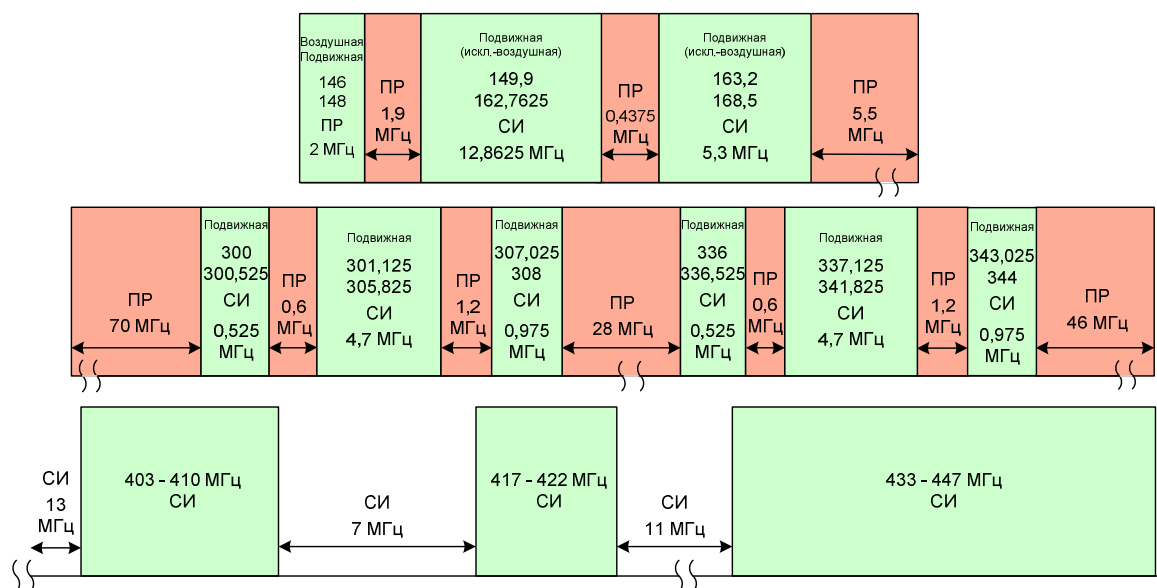


Рис. 1. Полосы радиочастот, выделенные для подвижной радиосвязи в России

При развертывании сетей *DMR* в диапазонах частот, занятых аналоговыми системами, неизбежно возникает проблема внутрисистемных помех. Она создает серьезные трудности частотно-территориального планирования, требует использования специального методического и программного обеспечения. Эти вопросы обсуждаются далее.

В основе технологии *DMR* лежит механизм многостанционного доступа с временным разделением каналов (*TDMA*). В *DMR* на одном частотном канале располагается два логических временных канала, что позволяет увеличить канальную емкость сети в два раза.

Применение адаптированных для систем радиосвязи алгоритмов речевого кодирования *ACELP* (*CELP*) и введение системы коррекции ошибок позволяет существенно снизить влияние среды распространения на качество предоставляемых услуг и сервисов. Качество речевого обмена по сравнению с аналоговыми системами радиосвязи не снижается, а в большинстве случаев оказывается лучше.

В системе *DMR*, как и во всех цифровых системах, пороговый характер связи выражен сильнее, чем в аналоговых. Это обстоятельство иллюстрируется рисунком 2. На нем представлены зависимости качества связи (например, артикуляционной разборчивости речи) от расстояния между базовой и абонентской радиостанциями. Заметим, что это обстоятельство предъявляет более высокие требования к точности прогноза радиопокрытия и расчета уровней помех.

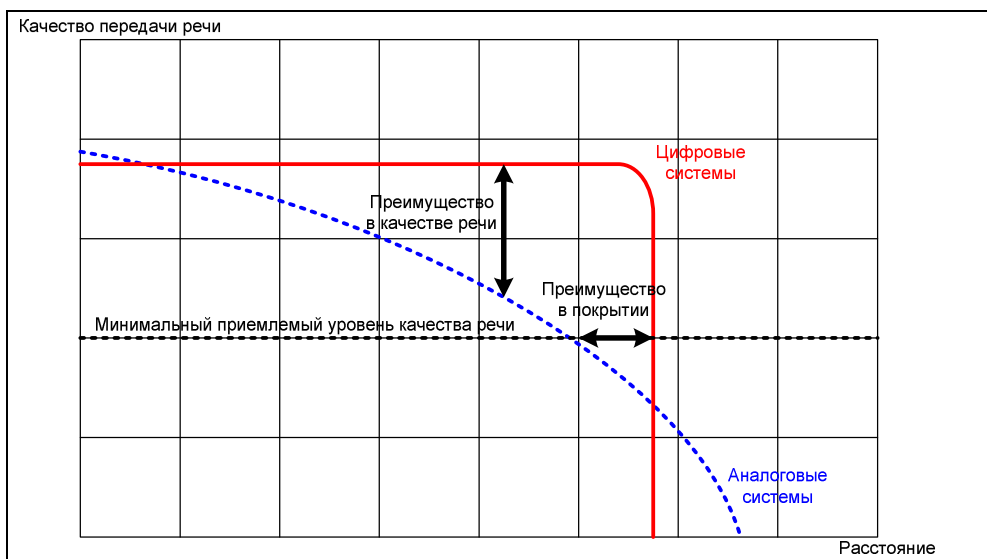


Рис. 2. Зависимость качества передачи речи от расстояния

Стандартом предусмотрена возможность создания полноценной сети радиосвязи путем масштабирования подсистемы стационарных радиостанций, подключаемых к центру управления сетью по сети передачи данных, использующей *IP*-протокол. В свою очередь, центр управления сетью может быть присоединен к другим телекоммуникационным системам, в том числе и к другим сетям *DMR*. Наличие такого функционала позволяет строить сети, аналогичные цифровым транкинговым сетям, при этом их построение и эксплуатация оказывается более простой.

Появление цифровых каналов существенно облегчило интеграцию сетей профессиональной радиосвязи с системами навигации. В стандарте *DMR* это также реализовано.

Большинством производителей оборудования *DMR* реализован открытый подход к системе программного обеспечения, что позволяет создавать специализированные программно-аппаратные телекоммуникационные комплексы под конкретные задачи заказчика.

Основные технические характеристики оборудования стандарта *DMR* приведены в таблице 1.

Ожидается, что оборудование стандарта *DMR* может применяться в системах связи аварийных служб, производственных предприятий, нефтегазовых объектов и предприятий, на транспортных объектах и узлах и др.

ТАБЛИЦА 1. Технические характеристики АС

Наименование характеристики / диапазон частот	160 МГц	330 МГц	450 МГц
Тип модуляции	4FSK		
Метод уплотнения каналов	TDMA		
Число каналов на несущую	2		
Максимальное значение мощности передатчиков АС (возимая/носимая), Вт	10/2	15/5	20/2
Чувствительность приемника при С/Ш = 12 дБ не хуже, мкВ	0,5 (симплекс) 0,8 (дуплекс)	1	1
Избирательность приемника по соседнему каналу не хуже, дБ	70	70	75
Избирательность приемника по побочным каналам не хуже, дБ	70	70	80

Возможный вариант схемы организации технологической радиосвязи для линейного объекта показан на рисунке 3.

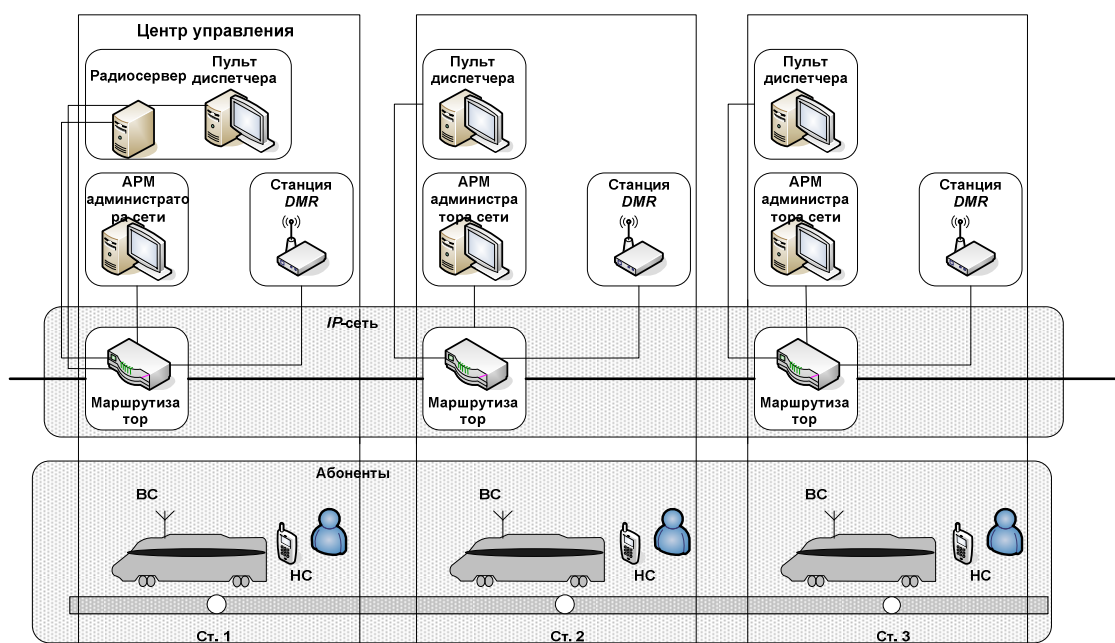


Рис. 3. Схема организация технологической радиосвязи для линейного объекта

Таким образом, основная специфика частотно-территориального планирования сетей *DMR* заключается в особенностях обеспечения радиопокрытия и сложностях исключения внутрисистемных помех. Эти вопросы рассматриваются далее.

2 Основной подход к планированию сети *DMR*

Решение задачи частотно-территориального планирования означает определение приемлемой конфигурации расположения базовых станций, достаточной высоты антенн и мощности передатчиков для удовлетворения

требованиям к радиопокрытию, а также формирование частотного плана сети, обеспечивающего необходимую канальную емкость. Под радиопокрытием понимается обеспечение требуемого превышения уровня сигнала над суммарным уровнем помех для прямого и обратного направлений в определенной области вокруг базовой станции.

Последовательность частотно-территориального планирования сети *DMR* с детализацией шагов по этапам приведен на рисунке 4.

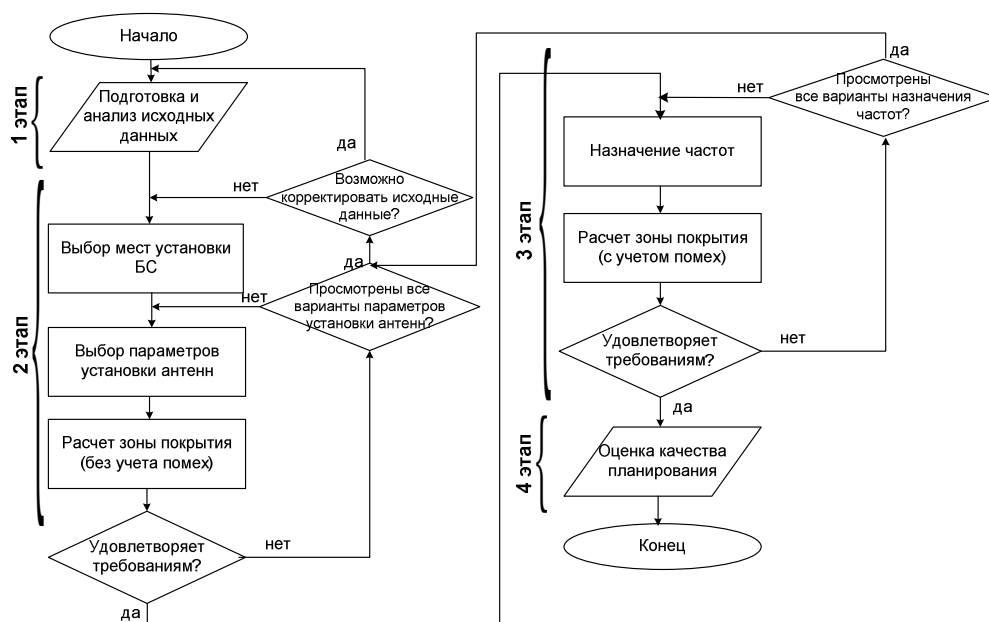


Рис.4. Последовательность территориального планирования сети *DMR*

Удобно выделить четыре основных этапа:

- анализ имеющихся исходных данных и формирование согласованного с заказчиком массива данных для формирования частотно-территориального плана;
- расчет «начального» радиопокрытия, без учета помех, и при необходимости согласованная с заказчиком корректировка исходных данных;
- формирование частотного плана и расчет итогового радиопокрытия с учетом помех;
- количественная оценка качества планирования, визуализация результатов расчета итогового радиопокрытия с учетом помех, формирование частотно-территориального плана.

Для проведения расчетов радиопокрытия обычно используют модели по Рекомендациям Международного союза электросвязи [8-10].

В основе принципа общей оценки радиопокрытия при частотно-территориальном планировании лежит расчет и оценка на соответствие заданным требованиям уровня принимаемого сигнала в прямом и обратном направлении в каждой точке заданной области. Учет помех

проводится для всех базовых станций проектируемой сети. Таким образом, в прямой постановке получается сложная и трудоемкая процедура расчета, которая требует особой организации вычислений и специализированного программного обеспечения.

В ЗАО «ИКЦ «Северная корона» разработан соответствующий программный комплекс «Зона», позволяющий реализовать рассмотренный алгоритм территориального планирования.

3 Практическая реализация алгоритма планирования

Основой для формирования частотно-территориального плана являются исходные данные, включающие в себя: сведения о местоположении базовых станций и возможностях размещения антенного оборудования, требования к показателям качества и параметры оборудования абонентских и базовых станций, сведения об организации связи, конфигурации оборудования, режимов работы станций сети. Для проведения расчетов необходимо картографическое обеспечение, требования к которому определяются районом строительства сети радиосвязи.

При выборе картографического обеспечения следует исходить из принципа адекватности точности представления местности и методов прогнозирования радиопокрытия. Как правило, в качестве картографического обеспечения используются цифровые карты и модели местности, также применяются данные *SRTM* в комбинации их с топокартами и спутниковыми снимками.

Выполнение мероприятий первого этапа алгоритма позволяет сформировать ситуационный план. Он поясняет постановку задачи планирования, основные требования и ограничения. Пример ситуационного плана показан на рисунке 5.



Рис.5. Ситуационный план планируемой сети

Второй этап заключается в формировании частотного плана, который определяется требуемой канальной емкостью базовых станций и доступным частотным ресурсом. Корректность частотного плана играет решающую роль с точки зрения обеспечения требуемого качества радиопокрытия, так как неудачное решение ведет к образованию взаимных помех, а значит к потерям радиопокрытия.

При формировании частотного плана часто используется принцип группового назначения частот. Такой подход применен и при планировании сети *DMR*.

На основе разработанного ситуационного плана подбираются районы возможного размещения базовых станций, позволяющие разнести одинаковые группы частот. Пример такого выбора показан на рисунке 6.

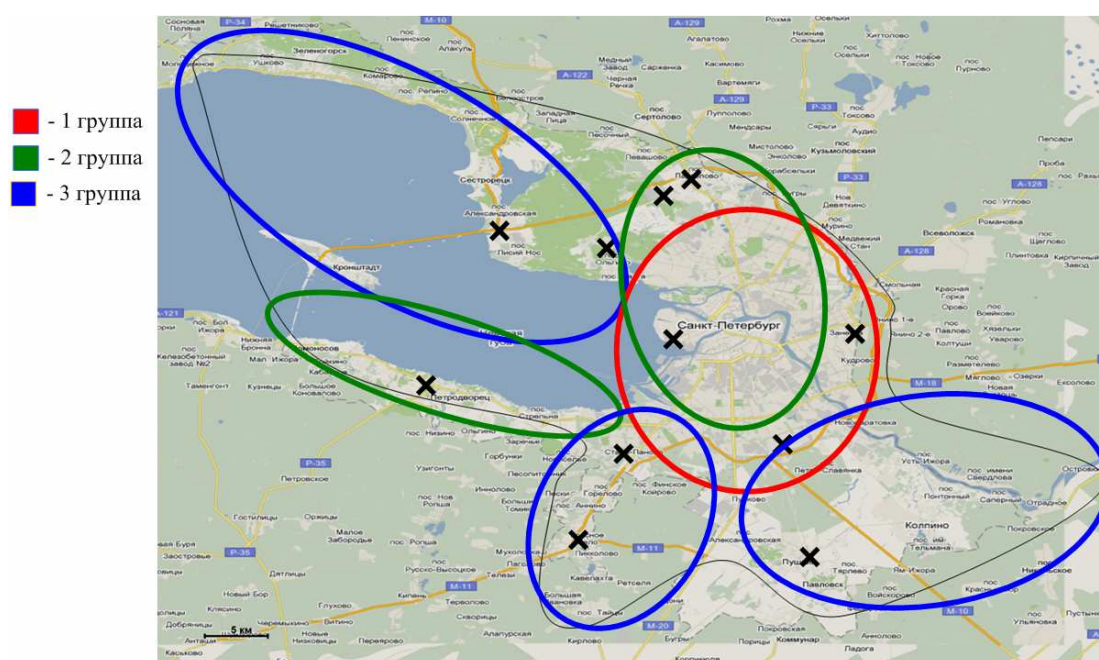


Рис.6. Распределение групп частот по возможным районам расположения базовых станций

Следующим шагом является расчет зон радиопокрытия для выбранных мест размещения базовых станций и предварительно назначенных групп частот. По результатам расчета с учетом заданных требований и оценки рассчитанного радиопокрытия, включая визуальную, окончательно определяются места размещения базовых станций и ориентации антенн. Таким образом, по результатам второго этапа формируется возможная максимальная зона радиопокрытия и параметры размещения оборудования базовых станций.

Учет внутрисистемных помех при расчете зоны радиопокрытия производится на третьем этапе. Неудовлетворительная оценка радиопокрытия с учетом помех приводит к необходимости коррекции результата предыдущего этапа. В результате формируется радиопокрытие

с учетом частотных назначений и помех. Итоговая зона радиопокрытия с учетом помех показана на рисунке 7.

Для количественной оценки качества планирования используется обобщенный показатель радиопокрытия, который отражает требования заказчика и характеризует радиопокрытие с учетом помех и проведенных частотных назначений. В качестве такого показателя используется процент точек, в которых выполняется условие радиопокрытия. Для его расчета осуществляется дискретизация требуемой области радиопокрытия, в окрестности каждой точки расчетным путем проверяется условие обеспечения радиопокрытия.

Заключительным документом является сформированный частотно-территориальный план, включающий в себя места размещения радиоэлектронных средств, их характеристики и назначенные им частоты.

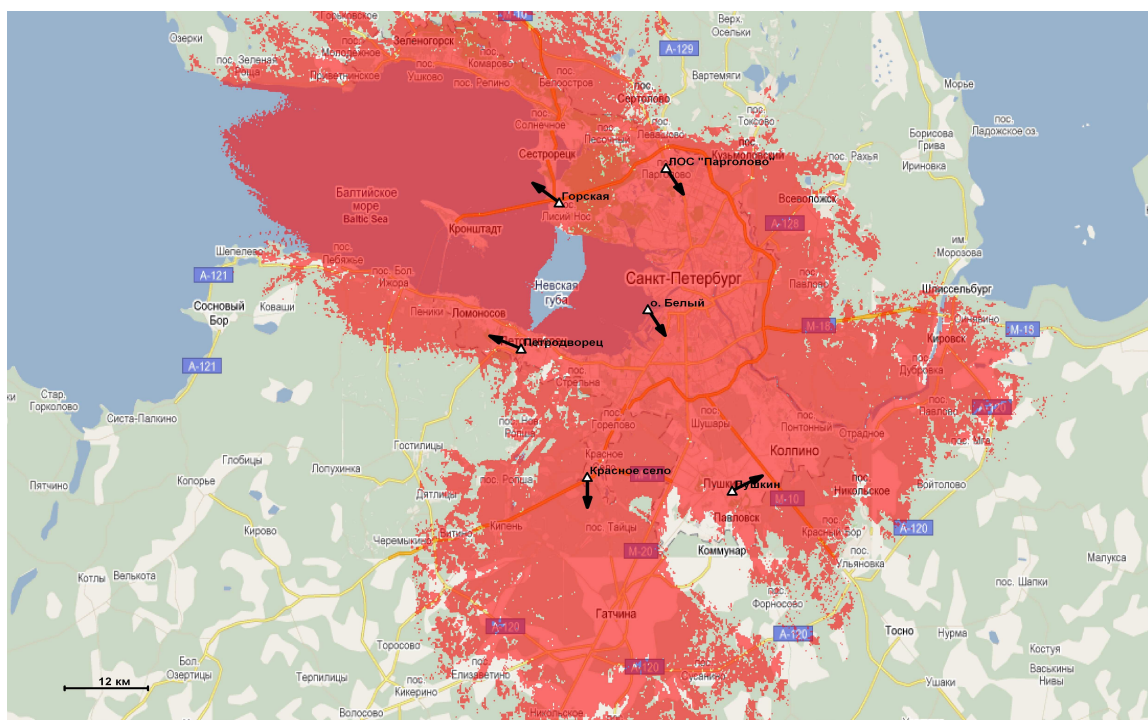


Рис.7. Общая зона покрытия с учетом помех

Используя предложенный алгоритм частотно-территориального планирования и специализированное программное обеспечение ЗАО «ИКЦ «Северная корона» была спланирована первая в Европе сеть подвижной радиосвязи стандарта *DMR*. Данная сеть успешно эксплуатируется в Санкт-Петербурге для обеспечения технологической связи предприятий городского водоканала. Эксплуатация показывает корректность частотно-территориального плана, высокую степень соответствия прогнозируемого и реального радиопокрытия.

Заключение

Опыт частотно-территориального планирования сетей стандарта *DMR* свидетельствует о необходимости соблюдения следующих рекомендаций:

- необходима строгая этапность планирования;
- при планировании должны использоваться модели прогнозирования радиопокрытия, учитывающие особенности рельефа;
- для объективной оценки качества радиопокрытия следует использовать количественные показатели;
- необходимо использовать специализированное программное обеспечение, учитывающее особенности технологии и специфику планирования сетей *DMR*.

Следование этим рекомендациям позволит повысить качество частотно-территориального планирования, исключить ошибки и снизить затраты не только на строительство, но и на эксплуатацию сети.

Библиографический список

1. *Standard ETSI TS 102 361-1 v1.4.5. Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Digital Mobile Radio (DMR) Systems; Part 1: DMR AIR Interface (AI) protocol – France: ETSI, 2007.*
2. *Standard ETSI TS 102 361-2 v1.2.6. Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Digital Mobile Radio (DMR) Systems; Part 2: DMR voice and generic services and facilities – France: ETSI, 2007.*
3. *Standard ETSI TS 102 361-3 v1.1.7. Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Digital Mobile Radio (DMR) Systems; Part 3: DMR data protocol – France: ETSI, 2007.*
4. *Standard ETSI TS 102 361-4 v1.3.1. Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Digital Mobile Radio (DMR) Systems; Part 4: DMR trunking protocol – France: ETSI, 2010.*
5. Решение ГКРЧ № 06-18-04-001 «О выделении полос радиочастот в диапазоне 450 МГц для радиоэлектронных средств фиксированной и сухопутной подвижной радиосвязи гражданского назначения» от 11.12.2006.
6. Решение ГКРЧ № 09-03-01-3 «О выделении полос радиочастот 300-308 МГц и 336-344 МГц для использования радиоэлектронными средствами сухопутной подвижной и фиксированной служб гражданского назначения» от 28.04.2009.
7. Решение ГКРЧ № 09-03-01-1 «О выделении полосы радиочастот 146-174 МГц для использования радиоэлектронными средствами подвижной и фиксированной служб гражданского назначения» от 28.04.2009.
8. Рекомендация МСЭ-R P.1546-4. Метод прогнозирования для трасс связи «пункта с зоной» для наземных служб в диапазоне частот от 30 МГц до 3000 МГц. – Женева: ITU, 2010.
9. Рекомендация МСЭ-R P.1812-1. Метод прогнозирования распространения сигнала на конкретной трассе для наземных служб «из пункта в зону» в диапазонах УВЧ и ОВЧ. – Женева: ITU, 2010.
10. Рекомендация МСЭ-R P.530-13. Данные о распространении радиоволн и методы прогнозирования, требующиеся для проектирования наземных систем прямой видимости. – Женева: ITU, 2010.

Аннотация. Аналоговые системы до сих пор успешно эксплуатируются в сетях так называемой конвенциональной радиосвязи. В то же время возрастающий дефицит частотного ресурса и необходимость расширения сервисов заставляет задумываться о замене аналоговых систем цифровыми. Стандарт *DMR* в полной мере соответствует задачам «цифровизации» систем конвенциональной радиосвязи. Выпускаемое по стандарту оборудование позволяет развертывать сети «с нуля» или модернизировать уже существующие аналоговые сети путем постепенной замены аналогового оборудования на цифровое. Появилась необходимость частотно-территориального планирования сетей по стандарту *DMR*. В силу специфики частотного диапазона, ограниченности частотного ресурса, слабой направленности антенн эта задача существенно отличается от задач частотно-территориального планирования сетей подвижной и фиксированной радиосвязи. В статье представлен опыт частотно-территориального планирования сетей по стандарту *DMR*, накопленный в ходе выполнения практических задач. Раскрываются основы методического обеспечения с иллюстрацией программной реализации всех этапов планирования.