

МАГИСТЕРСКАЯ ДИСЕРТАЦИЯ

**МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ ИСТОЧНИКОВ
РАДИОИЗЛУЧЕНИЙ В ГОРОДСКИХ УСЛОВИЯХ**

Санкт-Петербург 2018

Оглавление

Перечень сокращений.....	4
Введение.....	6
1. Анализ условий функционирования комплексов местоопределения ИРИ ОВЧ-УВЧ диапазонов в городе.....	10
1.1 Условия применения комплексов местоопределения.....	11
1.2 Особенности сигнально–помеховой обстановки в условиях города.....	15
1.3 Условия эксплуатации комплексов местоопределения в городе.....	25
1.4 Требования к городским комплексам местоопределения.....	28
2. Модель распространения радиоволн в условиях городской застройки.....	33
2.1 Энергетическая модель городской трассы радиоконтроля.....	35
2.2. Модель трассы радиоконтроля в условиях многолучевости.....	41
2.3 Обобщенная модель распространения радиоволн в условиях города.....	43
2.4 Анализ адекватности, чувствительности и надежности модели.....	51
3. Алгоритмы обработки координатно-информативных параметров радиосигналов в комплексах местоопределения.....	57
3.1. Алгоритмы обработки в измерителе.....	59
3.2 Алгоритмы обработки в системе.....	72
3.3 Одноэтапный алгоритм определения координат ИРИ.....	78
3.4 Алгоритм определения координат подвижного источника радиоизлучений.....	84
3.5 Алгоритм определения координат ИРИ на подвижном комплексе местоопределения.....	93
Заключение.....	97
Список использованных источников.....	99

Перечень сокращений

ИРИ	–	источник радиоизлучения
ОВЧ	–	очень высокие частоты
УВЧ	–	ультравысокие частоты
РЭС	–	радиоэлектронное средство
ППРЧ	–	программная перестройка рабочей частоты
ППП	–	пространственно - поляризационные параметры
ЭМВ	–	электромагнитные волны
ЭМД	–	электромагнитная доступность
МФСС	–	многофункциональные системы связи
ЭДС	–	электродвижущая сила
АЭ	–	антенный элемент
МНК	–	метод наименьших квадратов
АЦП	–	аналого – цифровое преобразование
СВ	–	собственный вектор
ПП	–	пространственно поляризованные
СЗ	–	собственные значения
КМ	–	ковариационная матрица
ОМП	–	определение местоположения
АР	–	антенная решетка
МНК	–	метод наименьших модулей
МВВКП	–	метод вариационно – взвешенных квадратических приближений
МП	–	максимально правдоподобный
РРВ	–	распространение радиоволны
ССРН	–	система спутниковой радионавигации
СКО	–	среднеквадратическое отклонение
РЭО	–	радиоэлектронная обстановка
МОК	–	метод определения координат

Введение

В настоящее время в радиолокации, радионавигации, для средств радиоэлектронной разведки определили появление и развитие в составе силовых структур систем радиоконтроля в ОВЧ-УВЧ диапазоне, которые приходится в основном на территории городов и населенных пунктов, актуальной является определение координат источников радиоизлучения (ИРИ). В частности, большое распространение получила задача определения направления и координат источника радиоизлучения с помощью комплексов местоопределения.

Среди известных методов определения координат ИРИ можно, прежде всего, выделить позиционные методы (угломерный, разностно-дальномерный и угломерно-дальномерный). Наиболее широко в системах определения координат ИРИ применяются угломерные методы, реализуемые с использованием радиопеленгаторов. При этом в случае неизменности положения ИРИ в процессе измерений возможна дальнейшая оптимизация для повышения точности местоопределения путем соответствующего усреднения полученных результатов многократных измерений координаты источника с использованием алгоритмов максимума правдоподобия и минимума среднеквадратического отклонения (СКО). Данный метод является двухэтапным: на первом этапе измеряются пеленги ИРИ, соответствующие двум положениям, и вычисляются значения координат источника; на втором этапе по полученному массиву значений координат производится оценка истинного значения координат источника.

Таким образом, объективное существование выше изложенного противоречия, а также недостаточный уровень развития алгоритмического обеспечения процесса обеспечения ЭМД объектов КБС определяют актуальность настоящего исследования, направленного на разработку алгоритмов обеспечения ЭМД объектов КБС в условиях сложной сигнально-помеховой обстановки, применение которых на практике приведет к повышению качества как процесса обеспечения ЭМД объектов КБС, так и процесса КБСИ в целом. В качестве объекта исследования в диссертационной работе выбраны перспективные комплексы контроля безопасности связи. Предметом исследования является процесс обеспечения ЭМД радиосиг-налов подлежащих КБС в условиях сложной сигнально-помеховой обстановки.

Актуальность темы магистерской диссертации является разработка одноэтапного алгоритма обработки координатно-информативных параметров сигналов, в качестве которых выступают регистрируемые напряжения сигнала на входах приемных трактов, подключенных к соответствующим распределенным в пространстве датчикам поля (антенным элементам) получить оценки координат их (сигналов) источников.

Основой для выполнения указанных требований является совершенствование и развитие информационных, расчетно-аналитических и измерительно-пеленгационных систем, в состав которых должны входить стационарные, мобильные и носимые пеленгационные комплексы, позволяющие определять координаты источников радиоизлучения (ИРИ) в условиях высокой плотности городской застройки. К тому же даже имеющаяся пеленгационная техника не всегда удовлетворяет требованиям качества и функциональности и требует дальнейшей доработки в направлении повышения точности определения координат ИРИ в городских условиях.

Таким образом, целью магистерской диссертации является повышение точности определения координат источников радиоизлучения (ИРИ) в городских условиях.

Для достижения поставленной цели в магистерской диссертации решается задача определения координат источников радиоизлучения. Условия, в которых решается задача, представляют собой городскую среду с высокой плотностью застройки и соответственно многолучевым характером распространения радиоволн (наличием многочисленных переотражений ЭМВ от зданий-интерференционных помех). При этом задача осложняется тем, что при наличии в точке измерения нескольких ЭМВ с различными направлениями прихода на одной частоте радиопеленгатор измеряет направление прихода результирующей волны (не различает одновременно несколько различных направлений прихода).

Для достижения целей в магистерской диссертации решается следующая задача:

разработка одноэтапного алгоритма обработки координатно-информативных параметров сигналов в движении и получение экспериментальных данных от истинного направления на источник излучения в городском многолучевом канале.

Объектом исследования является процесс определения местоположения источников радиоизлучения.

Предметом исследования являются алгоритмы расчёта координат источников радиоизлучений и преобразования координатно-пеленговой информации при использовании комплексов местоопределения.

Диссертация состоит из введения, трёх глав, заключения, списка использованных источников, включающий в себя 35 наименований. Основной текст работы изложен на 87 страницах, содержит 22 рисунка и 4 таблицы.

1. Анализ условий функционирования комплексов местоопределения ИРИ ОВЧ-УВЧ диапазонов в городе

Условия функционирования комплексов местоопределения можно условно разделить на три группы: условия применения; условия электромагнитной обстановки; условия эксплуатации.

К условиям применения обычно относят:

задачи систем радиоконтроля, в интересах которых необходимо определять местоположение ИРИ;

совокупность объектов радиоконтроля, систем связи и непосредственно источников радиоизлучений, их принадлежность, условия размещения и эксплуатации;

характеристики городской застройки в районе сбора информации;

Условия электромагнитной обстановки характеризуют:

параметры загрузки диапазона “полезными” и “фоновыми” радиоизлучениями, а также помехами искусственного и естественного происхождения;

количество и плотность ИРИ в районе сбора информации системы радиоконтроля;

технические характеристики систем связи и ИРИ различной принадлежности.

К условиям эксплуатации можно отнести:

технические характеристики измерителей координатно-информативных параметров сигналов ИРИ ОВЧ-УВЧ диапазона;

ограничения на состав, структуру и топологию системы местоопределения, развернутой в городе;

алгоритмы обработки, измеряемых координатно-информативных параметров радиосигналов;

алгоритмы управления пространственно разнесенными измерителями из состава системы.

1.1. Условия применения комплексов местоопределения

Преимущества современных сетей и средств радиосвязи в ОВЧ-УВЧ диапазоне, в том числе достаточно высокое качество связи при относительно низких затратах и глобальность, обеспечили им одно из ведущих мест в мировой телекоммуникационной сети. Следствием этого явилось увеличение количества и плотности, особенно в городах, активно работающих средств радиосвязи ОВЧ-УВЧ диапазона.

Опыт последних локальных вооруженных конфликтов свидетельствует о том, что радиосвязь в ОВЧ-УВЧ диапазоне становится основной в системах боевого управления противоборствующих сторон. Свидетельством этому является и тот факт, что организация управления незаконными вооруженными формированиями в период контртеррористической операции на Северном Кавказе РФ осуществлялась в основном с использованием специально разработанной системы радиосвязи боевого управления.

Следует отметить, что наряду со специальными сетями радиосвязи, объекты оперативной заинтересованности практически всех силовых структур активно пользуются услугами, предоставляемыми гражданскими сетями мобильной радиосвязи (сетями связи общего пользования).

Данные обстоятельства определили появление и развитие в составе силовых структур систем радиоконтроля (радиоэлектронной разведки) в

ОВЧ-УВЧ диапазоне, районы сбора информации, которых приходится в основном на территории городов и населенных пунктов.

Интенсивное освоение ОВЧ-УВЧ диапазона сетями связи различного назначения актуализировало проблему контроля его использования со стороны государства, что привело в свою очередь к наращиванию соответствующей компоненты радиоконтроля в подразделениях радиочастотной службы на территории РФ.

Объективной особенностью функционирования систем радиоконтроля различного назначения сегодня является возрастание ценности информации о местоположении источников радиоизлучений.

Типовыми задачами систем радиоконтроля различной принадлежности могут быть:

- ведение разведки в сетях боевого управления вероятного противника в локальных вооруженных конфликтах с определением местоположения объектов-носителей ИРИ и ретрансляторов;
- сопровождение групп специального назначения (своих войск), оснащенных радиомаяками;
- радиоразведывательное обеспечение при проведении оперативно-технических мероприятий силовыми структурами, в том числе специальными органами ПС ФСБ РФ на границе и приграничной территории с определением местоположения объектов оперативной заинтересованности, использующих радиотелефоны и портативные радиостанции;
- техническое обеспечения контроля использования радиочастотного ресурса РФ в регионах, городах и населенных пунктах, в том числе определение местоположения источников помех и другие.

Основным объектом и одновременно источником радиоконтроля в условиях мирного времени на территории РФ является взаимоувязанная сеть связи РФ, представляющая собой комплекс технически сопряженных сетей связи общего пользования и ведомственных сетей.

Анализ принадлежности средств радиосвязи гражданского применения в диапазоне 30...3000 МГц, которые используются в большинстве промышленных регионов страны, показывает, что значительную долю в их общем количестве занимают РЭС, относящиеся к сухопутной подвижной службе. К сухопутной подвижной службе относятся: системы сотовой связи, системы транкинговой связи и системы персонального радиовызова.

В условиях локального вооруженного конфликта, на примере контртеррористической операции в Чеченской республике, основными источниками радиоэлектронной разведки могут быть:

- специально создаваемые конвенциональные сети радиосвязи на базе полупрофессиональных комплексов радиосредств (носимые, автомобильные радиостанции, ретрансляторы и др.) как правило, одной фирмы;
- сети радиосвязи на базе профессиональных комплексов и радиостанций военного назначения, работающих, в том числе в режиме ППРЧ;
- системы спутниковой связи INMARSAT, THURAYA, IRIDIUM (в первую очередь речь идет об абонентских терминалах в зоне конфликта);
- сети связи общего пользования (сотовые, транкинговые, персонального вызова);
- радиорелейные линии связи;
- сети связи, реализованные по технологии RadioEthernet.

Объективно необходимым условием радиоконтроля, в том числе определения местоположения ИРИ в заданном районе сбора является электромагнитная доступность к ним с позиций измерительных пунктов. Перемещение районов сбора информации на территории городов и населенных пунктов требует, во-первых, учета особенностей распространения радиоволн в условиях городской застройки и, во-вторых, учета условий размещения контролируемых ИРИ и собственно измерителей.

К основным особенностям распространения радиоволн ОВЧ-УВЧ диапазона в городских условиях следует отнести:

- наличие в основном закрытых трасс радиоконтроля;

- дифракцию электромагнитных волн (ЭМВ) от крыш ближних зданий к проезжей части улиц;
- дифракцию ЭМВ на сложном экране в виде рядов зданий;
- сложную интерференцию множества отраженных сигналов;
- большое число «фоновых» ИРИ;
- высокий уровень промышленных помех;
- неравномерность городской застройки;
- значительный разброс параметров распространения на трассах радиоконтроля в широком диапазоне частот (от 30 до 3000 МГц);
- достаточно широкий диапазон характеристик ИРИ выступающих объектами радиоконтроля.

Констатация факта закрытых трассах радиоконтроля в городских условиях следует из того, что чаще всего объектом контроля выступает абонентская станция (возимая или носимая), следовательно, располагаться она будет чаще всего на уровне полутора метров от земли. Измеритель, в свою очередь, находясь даже на уровне (выше уровня на 3-5 метров) крыш зданий, будет иметь прямую видимость с ИРИ, как правило, только в случае нахождения с ним на одной улице. Ситуация еще более усложняется если измеритель находится на транспортном средстве. Таким образом, в большинстве случаев между измерителем и ИРИ не будет прямой видимости или хотя бы радиовидимости, и как следствие этого до измерителя будет доходить только дифракционная составляющая излучения.

В пределах городской застройки, в том числе пересеченной местности, к антенне измерителя приходит результирующее поле от ИРИ и от отражающих предметов, что обуславливает сложную интерференционную картину, а также возможность несовпадения направления прихода и поляризации волны с направлением и поляризацией антенны ИРИ.

1.2. Особенности сигнально-помеховой обстановки в условиях города

Загрузку частотного спектра в ОВЧ-УВЧ диапазоне в конкретном районе сбора информации в самом общем виде зависит от уровня урбанизации конкретного региона, состояния его базовой инфраструктуры, в первую очередь телекоммуникационной сети.

Общая характеристика загрузки радиочастотного спектра в диапазоне 30...3000 МГц приведена в таблице 1.1.

Таблица 1.1

Тип радиоэлектронной системы	Диапазон частот, МГц	Мощность ИРИ, Вт
Радиолюбительский диапазон	144..146	5..50
Системы радиосвязи ОВЧ-УВЧ диапазона Министерства обороны	30..88, 108..174, 225..400	0,1..1000
Ведомственные системы радиосвязи с подвижными объектами ОВЧ-УВЧ диапазона	108..174, 430..470	0,1..60
Системы радиорелейной и тропосферной связи	60..3000	1..50000
Радио и телевизионное вещание	40..700	100..1000
Разведывательно-сигнализационные системы	100..200	1..15
Системы радионавигации	100..400, 1500..1600	10..10000
Транкинговые сети	140..170, 330..350, 420..450	базовые станции 50..100, абонентские возимые до 20, абонентские носимые до 5
Радио удлинители	250..390, 800..900, 1880..1900	0,1..1
Системы спутниковой связи	1500..1700 2480..2500	1..100
Система СПРС стандарта CDMA	450..470, 800..900	базовые станции 50..100, абонентские носимые до 5
Система СПРС стандарта GSM	890..960, 1700..1900	базовые станции 10..50, абонентские носимые до 5
Системы радиолокации и радиоуправления	1000..3000	1000..1000000
Радиоинтерфейсы в сетях межмашинного	2400..3000	0,01..2

В настоящее время на территории РФ применяются стандарты следующих сотовых систем связи: NMT-450, AMPS, D-AMPS, GSM, DCS-1800, IS-95, IMT-MC. Два из них, NMT-450 и GSM, приняты в качестве федеральных.

В стандарте NMT-450 для базовых станций выделен диапазон частот 463-468 МГц, для подвижных станций – 453-458 МГц. При сетке частот 25 кГц, система обеспечивает, соответственно, 180 каналов связи. Радиус соты 15...40 км. Служебные сигналы передаются по цифровому каналу со скоростью 1200 бит/с, тип манипуляции FFSK.

В стандарте AMPS для базовых станций выделен диапазон частот 870-890 МГц, для подвижных станций - 825-845 МГц. Сетка частот 30 кГц. Радиус сот 2...13 км. Возможно использование секторных антенных систем. Развитием данного стандарта является его цифровая модификация D-AMPS. В последнем используется технология множественного доступа с временным уплотнением (TDMA).

В стандарте GSM для базовых станций выделен диапазон частот 920-960 МГц, для подвижных станций – 875-915 МГц. В данном стандарте используется многостанционный доступ с временным разделением каналов. В структуре TDMA кадра длительность 4 миллисекунды содержатся 8 временных позиций на каждой из 124 несущих. Система синхронизации рассчитана на компенсацию абсолютного времени задержки сигналов до 233 мкс, что определяет максимальный радиус ячейки 35 км. В стандарте GSM выбрана гауссовская манипуляция с минимальным частотным сдвигом. Стандарт обеспечивает высокую степень безопасности передачи сообщений благодаря использованию алгоритма шифрования с открытым ключом (RSA).

В стандарте DCS-1800 для базовых станций выделен диапазон частот 1805-1880 МГц, для подвижных станций - 1710-1785 МГц. Стандарт

реализован по аналогии со стандартом GSM и при сетке частот 200 кГц образует, соответственно, 374 частотных канала. Радиус ячейки в зависимости от плотности застройки и мощности передатчика базовой станции варьирует от 0,5 до 8 км.

Стандарт IS-95 относится к стандартам систем сотовой связи на основе метода множественного доступа с кодовым разделением каналов (CDMA). Диапазон рабочих частот 825-850 МГц для подвижных станций и 870-894 МГц для базовых станций. Кодовое разделение позволяет на одной несущей в полосе 1,25 МГц организовать одновременно до 55 каналов. Развитием этого стандарта явился CDMA-2000. Основное отличие состоит в когерентном приеме сигналов подвижных станций.

В профессиональных системах подвижной радиосвязи наиболее эффективное использование выделенного частотного ресурса обеспечивается в транкинговых системах. В России нашли широкое применение сети следующих стандартов: Алтай, Smartrunk, MPT 1327, EDACS, TETRA. Первые три системы относятся к аналоговым и имеют зону покрытия для одной базовой станцией до 60 км. Система EDACS работает, как в аналоговом, так и в цифровом режиме передачи речевых сообщений. Ширина полосы индивидуального канала 25 кГц. В цифровом режиме в нем обеспечивается передача сообщений со скоростью 9600 бод.

Стандарт TETRA является утвержденным на цифровой транкинг в Европе. В стандарте используется частотно-временное уплотнение каналов с сеткой частот 25 кГц и четырьмя временными окнами на каждой частотной позиции.

Для использования в системах персонального радиовызова наиболее широкое распространение получили протоколы POCSAG, ERMES и FLEX. Ширина полосы частот одного канала для всех протоколов 25 кГц, скорость передачи сообщений варьируется от 512 до 6400 бод. Система POCSAG использует двухуровневую частотную модуляцию с девиацией частоты 4,5 кГц. Протокол FLEX отличается более высокой скоростью передачи

информации, поскольку при работе на скорости 6400 бод использует четырехуровневую частотную модуляцию (значение частоты девиации - 4,8 кГц). Для функционирования пейджинговых систем по протоколу ERMES выделяется единый диапазон частот 169,4-169,8 МГц, что дает возможность организовать роуминг между системами данного стандарта.

Как уже отмечалось в локальных вооруженных конфликтах управление войсками (силами) может осуществляться в сетях радиосвязи на базе профессиональных комплексов и радиостанций военного назначения.

В соответствии со сложившимся распределением основных пользователей в ОВЧ-УВЧ диапазоне частот для работы различных систем и средств радиосвязи военного назначения следующие поддиапазоны :

- 30-88 МГц (войсковые радиостанции оперативно-тактического звена управления сухопутных войск и в том числе нового поколения типа SINCGARS);

- 108÷136 МГц (диапазон для управления воздушным движением в режиме радиоканала);

- 136÷156 МГц (диапазон для связи с наземными средствами);

- 156÷174 МГц (диапазон для связи с морскими объектами);

- 225÷400 МГц (войсковые радиостанции ближней связи тактической авиации ВВС и ВМС США, выпускаемые по программе Have Quick);

- 420÷450 МГц (многофункциональные системы связи и контроля местоположения объектов типа EPLRS);

- 960÷1215 МГц (системы и средства управления воздушным движением и в том числе МФСС типа ДЖИТИДС);

Типовыми представителями современных профессиональных радиостанций, которые активно применяются в локальных вооруженных конфликтах, являются радиостанции серии «Фалкон 3», их основные тактико-технические характеристики приведены в **приложений А**.

Процесс радиоконтроля, в том числе местоопределения объективно реализуется в условиях помех радиоприему [15]. Последние можно

классифицировать: по характеру воздействия на принимаемый сигнал; по электрическим, спектральным и статистическим характеристикам; по месту и причинам возникновения.

По характеру воздействия на принимаемый сигнал помехи разделяют на закрывающие и модулирующие. Закрывающие помехи линейно складываются с сигналом, вызывая его искажение. Модулирующие помехи случайным образом изменяют интенсивность сигнала. Они проявляются в виде замираний, их воздействие аналогично паразитной модуляции. И те и другие типы помех характерны для городских трасс радиоконтроля.

По электрическим, спектральным и статистическим характеристикам радиопомехи делятся на флуктуационные, импульсные и сосредоточенные.

Флуктуационная помеха представляет собой непрерывный во времени случайный процесс с нормальным распределением мгновенных значений и нулевой дисперсией. Энергетический спектр флуктуационной помехи в пределах полосы частот сигнала чаще всего неизменный (“белый шум”). Типичным примером флуктуационной помехи являются внутренние шумы приемника.

Импульсная помеха [22] представляет собой случайную последовательность одиночных импульсов, следующих друг за другом через промежутки времени, обеспечивающие затухание предыдущего до начала последующего импульса. К таким помехам относятся многие виды промышленных помех.

Сосредоточенная помеха имеет энергетический спектр, сосредоточенный в узкой полосе, соизмеримой либо меньшей полосы сигнала. К таким помехам относятся станционные помехи и излучения аппаратов различного назначения и др. Результат воздействия большого числа сосредоточенных помех от удаленных источников может создавать помеху, близкую по своим свойствам к флуктуационной.

По месту возникновения помехи делят на внутренние и внешние.

Внутренние помехи – собственно тепловые шумы антенно-приемного тракта измерителя.

Внешние помехи (внешние шумы), складываются из помех за счет грозовых разрядов в атмосфере, промышленных помех, станционных помех, шумов космического пространства, шумов обусловленных излучением атмосферы с учетом гидрометеоров, шумов обусловленных излучением поверхности Земли.

По причинам возникновения помехи можно классифицировать на промышленные, взаимные и помехи в движении.

Промышленные помехи обусловлены излучениями различного рода электрических устройств, используемых в промышленности, на транспорте, в медицине, связи, быту и т.д. Уровень промышленных помех, как правило, уменьшается с укорочением волны. Поляризация поля промышленных помех преимущественно вертикальная, так как их распространение происходит в основном земной волной.

Взаимные помехи представляют собой дискретные сигналы с посторонних радиостанций, выделяющиеся на фоне станционных помех. Их электрические и статистические характеристики подобны характеристикам полезных сигналов. Энергетический спектр взаимных радиопомех сосредоточен на отдельных участках, соизмеримых или даже меньших полосы частот сигнала. Поэтому их часто называют случайными сосредоточенными помехами.

Помехи в движении возникают в результате радиоизлучений от искрения в работающих электроустановках, электризации в процессе трения о грунт шин и гусениц либо соударения частиц грунта, пыли, гидрометеоров и воздуха о токонесущие элементы подвижного объекта (особенно об антенны), а также в результате вторичного излучения различного рода подвижных контактов под действием работающих на объекте радиопередатчиков.

Источниками искрения являются система зажигания двигателя, электродвигатели стартера, вентиляторов и стеклоочистителей, цепи зарядки аккумуляторов с системой генератора, импульсные датчики контрольных приборов и электропереключатели. У подвижных объектов, не имеющих специального оборудования для подавления помех, их уровень особенно значителен в диапазоне 30-120 МГц и может превышать тысячи микровольт на метр.

Все виды помех, за исключением взаимных и комбинационных, создают в месте приема так называемое шумовое поле, характеризующееся случайным сочетанием фаз, амплитуд, поляризации и направлений прихода и подчиняющихся определенным статистическим закономерностям.

Для городских условий в ОВЧ-УВЧ диапазоне наибольший вклад в помеховую обстановку вносят стационарные (взаимные) шумы, промышленные (индустриальные помехи), шумы космического пространства и помехи в движении.

Реальная загрузка ОВЧ-УВЧ диапазона в городе на примере Санкт-Петербурга проиллюстрирована на рисунках 1.1. (30-200 МГц), 1.2. (300-500 МГц), 1.3. (500-700 МГц), 1.4. (2300-2500 МГц) и 1.5. (2700-2900 МГц).

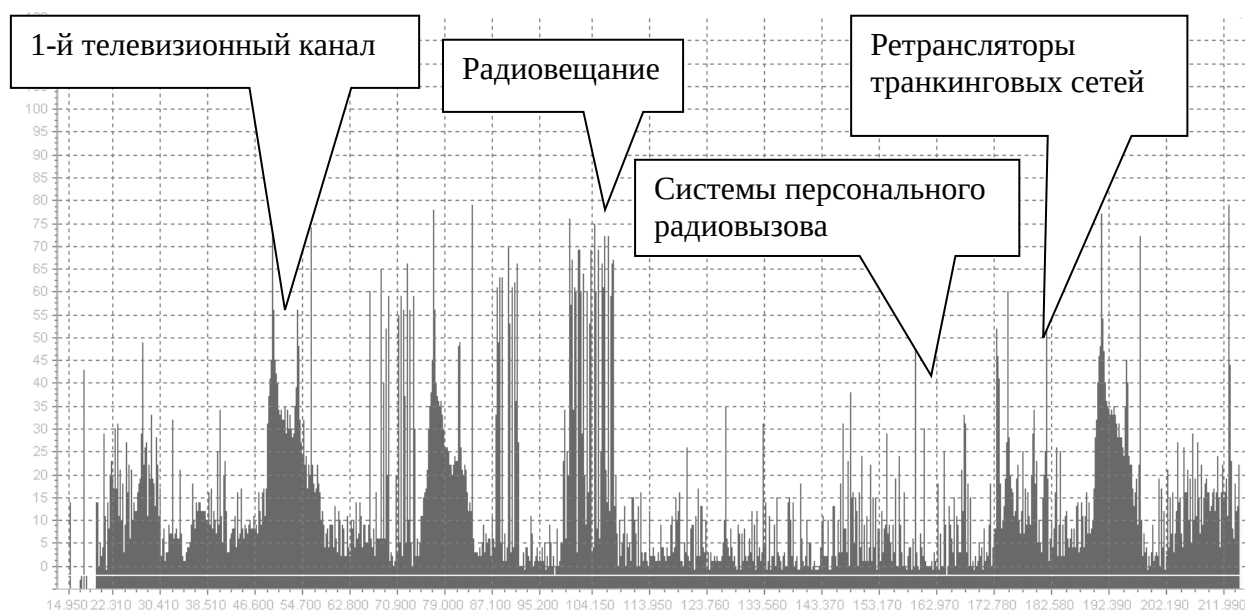


Рис 1.1

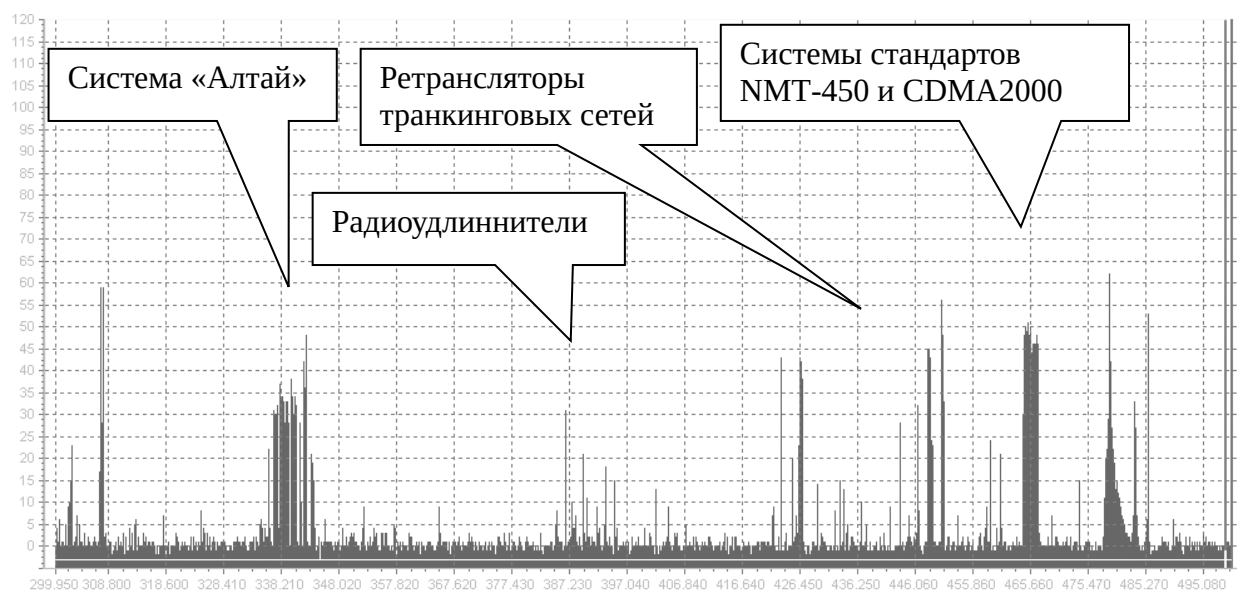


Рис.1.2

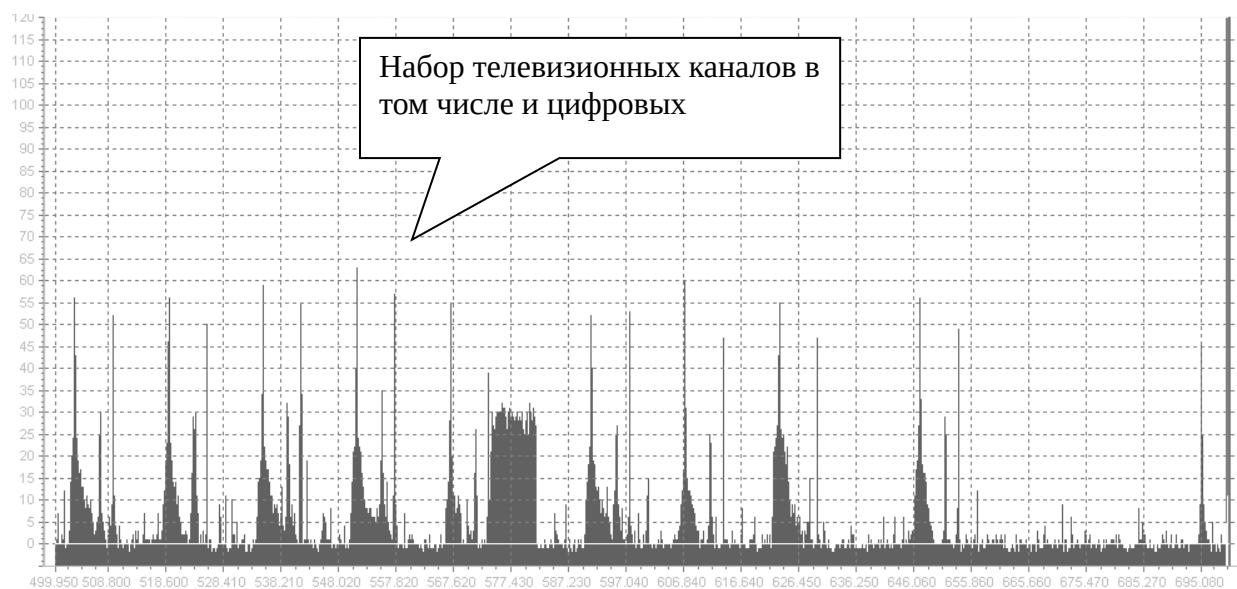


Рис.1.3

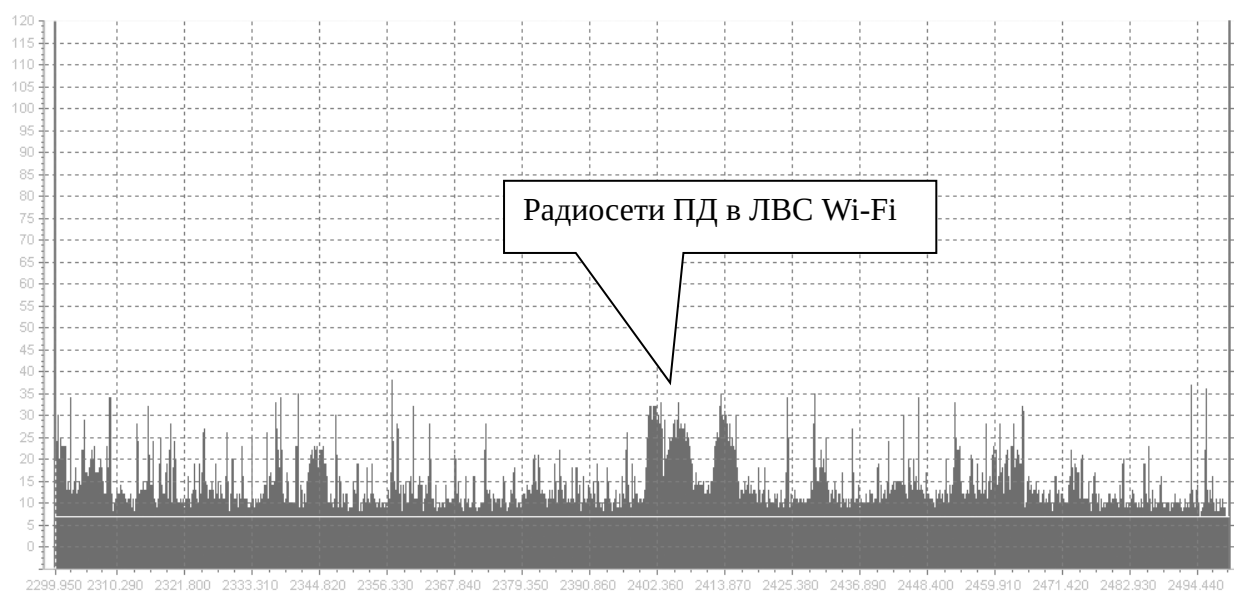


Рис.1.4



Рис.1.5

Анализируя загрузку в ОВЧ-УВЧ диапазоне необходимо отметить следующее:

- для диапазона 30-300 МГц (рис. 1.1.) характерно достаточно плотное размещение мощных радиоизлучений в сетях телевизионного, радиовещания

и персонального вызова. Кроме того, данный диапазон активно задействуют ведомственные, любительские радиосети, а также сети охранной сигнализации. Средний шумовой фон в этом диапазоне на 30...40 дБ превосходит уровень собственных шумов современного приемного тракта;

- менее интенсивно загружен диапазон 300-800 МГц (рис. 1.2, 1.3). Из мощных радиопередающих устройств работают базовые станции в сетях сотовой связи стандартов NMT-450, CDMA-2000, ретрансляторы транкинговых сетей TETRA, Алтай передатчики телевизионных каналов, в том числе цифрового телевидения;

- наиболее динамична сигнально-помеховая обстановка в диапазоне 800-3000 МГц. Вместе с работой сетей сотовой связи стандартов AMPS, IS-95(CDMA), GSM900 и DCS1800 здесь отмечаются ретрансляторы транкинговой системы стандарта EDACS, радиоудлиннители стандарта DECT, излучения в радиорелейных линиях связи, излучения базовых станций и абонентских терминалов в сетях подвижной спутниковой связи стандартов THURAYA, INMARSAT, IRIDIUM, GLOBALSTAR. Диапазон 2300 - 2500 МГц активно задействуется для передачи данных в локальных вычислительных сетях.

Сравнительный анализ сигнально-помеховой обстановки для пяти измерительных пунктов в составе межведомственной системы радиоконтроля на территории Санкт-Петербурга указывает на то, что:

- во-первых, она достаточно сильно коррелированна для ОБЧ диапазона во времени, по частоте и в пространстве, в то время как средний шумовой фон в отдельных пунктах может существенно отличаться (на 20...30 дБ);

- во-вторых, в УВЧ диапазоне уже на удалении 7...10 км между стационарными измерительными пунктами в них может наблюдаться значительная декорреляция по его нагрузке, как вследствие ухудшения дифракционных свойств радиосигналов с увеличением частоты, так и из-за повторного использования частот в сетях подвижной радиосвязи.

1.3. Условия эксплуатации комплексов местоопределения в городе

Современные комплексы радиоконтроля (местоопределения) в городе, как правило, могут включать стационарную и мобильную (подвижную) компоненты, а также портативные (носимые) средства [17].

Стационарная компонента – совокупность стационарных измерителей, объединенных общей системой управления, составляет основу системы радиоконтроля. Действительно, антенные системы стационарных измерителей размещают на крышах доминирующих по высоте зданий, что обеспечивает максимальную зону ЭМД. При наименьших ограничениях на массогабаритные характеристики, энергопотребление, климатические и механические воздействия в стационарных измерителях могут быть использованы несколько литеров антенных устройств, многоканальные высоко динамичные аналого-цифровые приемные тракты, высокоскоростные тракты сбора и обработки результатов измерений и, таким образом, реализованы максимально высокие потенциально достижимые технические характеристики.

Мобильная компонента включает мобильные (подвижные) измерители, которые могут размещаться на автомобилях, в некоторых случаях на летно-подъемных средствах и выполнять задачи радиоконтроля со стоянок и в движении. Мобильные средства предназначены для наращивания возможностей стационарной компоненты в районах с ограниченной ЭМД, а также проведение высокоточных измерений в непосредственной близости от источника радиоконтроля. Как правило, при таком исполнении измерителей существуют ограничения на массогабаритные характеристики, энергопотребление, возрастают требования к надежности (профессиональному исполнению) приемных трактов и трактов обработки часто за счет снижения уровня технических характеристик, наконец, требует

решения задача их навигационного обеспечения (постоянное знание своих координат и ориентации антенной системы).

Портативные (носимые) средства в городе предназначены для ведения радиоконтроля в ближней зоне (100...200 метров). Основные требования к ним – минимальные массогабаритные характеристики, энергопотребление и иногда скрытность исполнения. Приемлемое качество работы данных средств радиоконтроля достигается при их узко диапазонном исполнении. В интересах силовых структур в этих средствах могут комплексировать аппаратуру радио и видео наблюдения.

Особенности эксплуатации комплексов местоопределения в городе определяются также принятым способом управления в общем случае в пространственно распределенной системе.

Различают командный, автономно-командный и автономный способы управления системой.

При командном способе – поиск и опознавание радиоизлучения реализуются на пункте управления системой. После чего последний формирует и передает периферийным измерителям команду на местоопределение его источника. После перестройки измерителей, выполнения ими измерений и передачи результатов на пункт управления в последнем осуществляется их обработка с целью получения координат источника радиоизлучения.

При автономно-командном способе процедуры поиска, опознавания радиоизлучения, подачи команды в сеть на местоопределение его источника и обработки результатов измерений могут выполняться любым из измерителей сети. Данный способ управления предпочтителен для реализации в сетях, где доступность ИРИ для различных территориально разнесенных элементов изменяется в широких пределах. При автономно-командном способе управления могут формироваться динамические сети для местоопределения конкретного источника радиоизлучения с максимальной

эффективностью (получить требуемое качество при минимизации задействуемого сетевого ресурса).

При автономном способе управления каждый измеритель в сети работает автономно (по заданию) в заданном диапазоне частот и (или) секторе разведки. Результаты измерений независимо с временной меткой передаются на пункт управления для обработки. При данном способе управления снижаются требования к качеству каналов связи в пространственно - распределенной системе, однако затруднен контроль маршрута перемещения ИРИ на подвижном объекте.

Решение задачи – определение координат ИРИ возможно одним подвижным измерителем. В данном случае различают два способа его применения: путем набора необходимой статистики и ее обработки на "благоприятном" (по кругу относительно ИРИ) маршруте движения; путем "наезда" на ИРИ, когда измеритель движется в направлении прихода радиосигнала. В обоих случаях процесс местоопределения ИРИ подвижным измерителем достаточно длительный, однако позволяет задействовать минимальное количество средств, в том числе вне района действия стационарно компоненты.

1.4. Требования к городским комплексам местоопределения

В общем перечне требований к комплексам местоопределения выделяют, как правило, требования к отдельным измерителям различного исполнения (стационарного, мобильного и портативного) и требования к пространственно - распределенным системам.

Перечень основных параметров измерителей, к которым могут быть предъявлены требования:

- диапазон рабочих частот;
- точность и достоверность определения параметров положения ИРИ (направление в азимутальной и угломестной плоскостях; время задержки распространения сигнала до двух пунктов приема, время распространения сигнала до пункта приема);
- быстродействие (минимальное необходимое время контакта с радиоизлучением);
- скорость просмотра рабочего диапазона частот при энергетическом и пространственном обнаружении ИРИ;
- возможность и разрешающая способность при пространственной селекции ИРИ;
- массогабаритные характеристики;
- энергопотребление;
- скрытность исполнения и другие.

Для стационарных и мобильных измерителей рабочий диапазон частот должен охватывать, очевидно, весь ОВЧ-УВЧ диапазон. Исключения могут составлять специализированные варианты их исполнения, а также портативные средства радиоконтроля.

Требования к точности и достоверности измерений параметров положения ИРИ формируются исходя из необходимости или их

пространственного разделения, или определения их координат с точностью, необходимой для принятия по ним решения в конкретной ситуации. Как правило, стационарные измерители должны измерять параметры положения с отклонением от истинных не хуже 1...2% от дальности при достоверности не хуже 0,9, что соответствует, например, погрешности измерения углов по азимуту и углу места не более 0,5...1 градуса. Это позволит при необходимости увеличения точности определения координат ИРИ адресно вывести в заданный район, например, подвижный измеритель. Потенциально достижимые точности, пеленгования подвижным измерителем на автомобиле в ОВЧ-УВЧ диапазоне могут составлять 1..2 градуса в УВЧ диапазоне и до 10 градусов в нижней части ОВЧ диапазона. "Узким" местом в случае с подвижным измерителем, если он находится на земле и когда интенсивно меняется его "окружение", является определение достоверности проводимых измерений.

Требование к минимально необходимому времени контакта с радиоизлучением для местоопределения его источника обусловлено необходимостью радиоконтроля в сетях радиосвязи с временным разделением каналов (например, GSM), псевдослучайной перестройкой рабочей частоты и составляет единицы – доли миллисекунд.

Требуемая сегодня скорость просмотра рабочего диапазона частот не только с целью энергетического, но и пространственного обнаружения ИРИ кратковременно работающих на излучение должна составлять единицы ГГц в секунду. Что позволит обнаружить "коротко живущий" радиосигнал в любом участке ОВЧ-УВЧ диапазона частот и обновить информацию о загрузке рабочего диапазона частот за время не более 2...3 секунды.

Наличие функции пространственной селекции в современных измерителях является необходимым условием ведения радиоконтроля в условиях многолучевости и в системах с кодовым разделением каналов, когда наличие функций частотной и временной селекции радиосигналов оказывается недостаточно.

Перечень основных параметров пространственно – распределенных систем измерителей, к которым могут быть предъявлены требования, это:

- точность и достоверность определения координат ИРИ;
- пропускная способность;
- количество и плотность размещения измерителей;
- возможность и точность синхронизации работы измерителей;
- наличие централизованного и децентрализованного управления элементами системы.

Требования к системе местоопределения определяет старшая система (например, разведки конкретной силовой структуры), в интересах которой она функционирует. Считается допустимой погрешность определения координат стационарной компонентой не более 100...300 метров. Дальнейшее уточнение местоположения ИРИ (до десятков метров) может быть реализовано за счет адресного применения мобильных, либо портативных средств.

Количество и плотность размещения измерителей в составе пространственно – распределенной системы диктуется необходимостью обеспечения из каждой частной зоны района сбора информации ЭМД как минимум к трем измерителя при их рациональной геометрии относительно данной зоны и, наконец, обеспечения требуемой точности определения координат. В связи с этим, требования к данным параметрам системы зависят от конкретного поддиапазона работы ИРИ в пределах общего ОВЧ-УВЧ диапазона, их мощности и плотности размещения в районе сбора информации. Результаты моделирования и экспериментальных исследований подтверждают, что для контроля, например, мощных передатчиков в ОВЧ диапазоне в городе Санкт - Петербург достаточно пяти измерительных пунктов, а для сопровождения абонентов сетей связи общего пользования, работающих на частотах 900 и 1800 МГц, необходимо от 20 до 50 измерителей.

Обеспечение возможности ведения радиоконтроля в сетях сотовой связи с частотно-временным и кодовым разделением каналов, а потому предусматривающих синхронизацию работы базовых и абонентских станций, определило необходимость синхронизации работы измерителей в системе с точностью десятки наносекунд.

Выводы по разделу

1. Проведенный анализ условий применения систем радиоконтроля ОВЧ-УВЧ в настоящее время подтверждает возрастание объема и сложности решаемых ими задач, как в мирное время, так и в ходе локальных вооруженных конфликтов. При этом, общими тенденциями являются перемещение районов сбора информации в города (населенные пункты) и возрастание ценности информации о местоположении источников радиоизлучений. Возможные варианты размещения измерителей и собственно интересующих источников радиоизлучений в городских условиях позволяют предположить, что между ними не будет прямой видимости или хотя бы радиовидимости, и как следствие этого до измерителя будет доходить только дифракционная составляющая излучения.

2. Результаты исследования сигнально-помеховой обстановки ОВЧ-УВЧ диапазона в условиях города указывают на его достаточно большую загрузку потенциальными источниками радиоконтроля, а так же помехами искусственного и естественного происхождения. При это в числе потенциальных источников радиоконтроля повышается удельный вес цифровых сетей радиосвязи с частотно-временным и кодовым разделением каналов, использующих принцип повторного использования частот на ограниченной территории с учетом особенностей распространения радиоволн УВЧ диапазона в городе.

3. На основе анализа условий применения, сигнально-помеховой обстановки и эксплуатации комплексов местоопределения в городе сформулированы требования к отдельным измерителям различного

исполнения и пространственно-распределенным системам в целом. На объективную необходимость внесения качественных изменений в существующие комплексы местоопределения указывают такие требования, как: ограниченное единицами-долями миллисекунд время электромагнитного контакта с радиоизлучением; необходимость пространственного разрешения ИРИ, работающих в одной полосе частот; ограниченное единицами секунд время просмотра ОВЧ-УВЧ диапазона с сохранением возможности пространственно-энергетического обнаружения ИРИ; необходимость синхронизации работы измерителей, как с источниками радиоконтроля, так и между собой в системе с точностью десятки наносекунд, наконец, погрешность определения местоположения ИРИ (особенно подвижных) в городе не более десятков метров при достоверности не хуже 0,9.