

НАУКОВІ ЗАПИСКИ

УКРАЇНСЬКОГО НАУКОВО-ДОСЛІДНОГО ІНСТИТУТУ ЗВ'ЯЗКУ

- **Загальні питання розвитку телекомунікацій**
- **Інформаційні технології і мережі наступного покоління**
- **Телекомунікаційні транспортні мережі**
- **Телекомунікаційні телефонні мережі**
- **Радіомережі і радіотехнології**
- **Управління мережами і послугами телекомунікацій**
- **Технологічні засоби телекомунікацій**
- **Інфокомунікаційні послуги і якість обслуговування**
- **Надійність телекомунікаційних мереж і захист інформації**
- **Метрологія і стандартизація зв'язку**
- **Поштовий зв'язок**
- **Обчислювальна техніка та програмне забезпечення**

УДК621.396.677.49

Коляденко Ю.Ю., д.т.н., Харьковский нац. унив-т радиоелектроники
Токарь Л.А., Харьковский нац. унив-т радиоелектроники

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ СОТОВЫХ СИСТЕМ ПОДВИЖНОЙ СВЯЗИ НА СРЕДСТВА АВИАЦИОННОЙ СВЯЗИ

Коляденко Ю.Ю., Токарь Л.А. Аналіз впливу стільникових систем рухомого зв'язку на засоби авіаційного зв'язку. У статті розглянута проблема впливу базових (БС) і мобільних станцій (МС) системи стільникового рухомого зв'язку стандарту GSM-900 на роботу авіаційних радіоелектронних засобів (РЕЗ) в сумісних частотних діапазонах на міжсистемному рівні.

Коляденко Ю.Ю., Токарь Л.А. Анализ влияния сотовых систем подвижной связи на средства авиационной связи. В статье рассмотрена проблема влияния базовых (БС) и мобильных станций (МС) системы сотовой подвижной связи стандарта GSM-900 на работу авиационных радиоэлектронных средств (РЭС) в совмещенных частотных диапазонах на межсистемном уровне.

Kolyadenko Yu. Yu., Tokar' L. O. Analysis of influence of cellular mobile transmission systems on aviation communication systems. The problem of influence of base (BS) and mobile stations (MS) of GSM-900 cellular mobile communication system on the operation of aviation radio electronic facilities (REF) in associated frequency ranges at the interconnection level is considered.

Введение. Широкое внедрение радиотехнологий, увеличение количества функционирующих радиоэлектронных средств (РЭС) существенно усложняет электромагнитную обстановку (ЭМО) и повышает вероятность возникновения непреднамеренных радиопомех (НРП) для работы сетей сотовой подвижной связи (ССПС) и авиационных средств радиосвязи и радионавигации. Особенно остро эта проблема возникает в настоящее время в связи с развитием сети ССПС стандарта GSM-900. Именно этот стандарт является наиболее опасным потенциальным источником помех военным средствам радионавигации и посадки, работающих в совпадающей полосе частот.

Целью данной работы является проведение анализа влияния ССПС на авиационные средства связи на примере работы ССПС GSM-900.

Основная часть. В соответствии с данными о тактико-технических характеристиках авиационных РЭС [1-7], а также исходными данными ССПС стандарта GSM-900 (частотно-территориальные планы, координаты установки и технические характеристики, цифровые карты местности) [8] рассматривается вопрос о проведении анализа ЭМС. При этом учитывается групповое влияние всей совокупности РЭС, функционирующих в заданной полосе частот на исследуемой территории.

В соответствии с известными методами анализа [9] в каждом цикле решаются задачи:

- частотного анализа потенциально несовместимых группировок РЭС;
- энергетического анализа потенциально несовместимых группировок РЭС.

Для комплексной оценки ЭМС использован вероятностный анализ, основанный на методе Монте-Карло с усреднением параметров помех всей влияющей группировки либо усреднением показателя оценки ЭМС – отношение сигнал/помеха+шум (ОСПШ).

Частотный анализ является начальным этапом оценки ЭМС потенциально несовместимых группировок РЭС. В зависимости от распределения и назначения рабочих частот проанализированы частотные характеристики всех РЭС, работающих в исследуемом диапазоне частот. При этом РЭС возможно разделить на четыре группы:

- совместимые при любых условиях применения;

- совместимые за счет территориального разнosa;
- совместимые за счет частотного разнosa;
- совместимые за счет проведения других организационно-технических мероприятий.

Частотный анализ ЭМС РЭС включает в себя выявление возможных частотных каналов проникновения помех в радиоприемное устройство (РПрУ) и определение значений рабочих частот передатчика и приемника, которые соответствуют выявленным каналам. Эти данные необходимы для проведения энергетического анализа ЭМС базовых станций стандарта GSM-900 и авиационных РЭС.

Выявление возможных частотных каналов проникновения помех в радиоприемное устройство (РПрУ) проведено на основе проверки следующего неравенства:

$$\left| p \cdot f_j - \frac{n}{m} \cdot f_i - \eta \cdot f_{np} \cdot \frac{(n + z_k)}{m} \right| \leq \frac{\Delta f_{jx}(p, m) + \Delta f_{ix}}{2}, \quad (1)$$

где p – порядковый номер гармоники несущей частоты радиопередающего устройства (РПДУ); f_j – несущая частота РПДУ j -го РЭС; n – порядковый номер гармоники частоты гетеродина РПрУ; m – порядок преобразования НРП в РПрУ; f_i – частота настройки РПрУ i -го РЭС; η – признак настройки частоты гетеродина, который равен $+1$ для верхней настройки гетеродина и равен -1 для нижней настройки гетеродина; f_{np} – промежуточная частота РПрУ; z_k – признак основного ($z_k = -1$) или зеркального ($z_k = +1$) каналов приема; $\Delta f_{jx}(p, m)$ – полоса частот радиоизлучения j -го РЭС на p -той гармонике и на уровне X дБ при образовании m -го комбинационного канала приема; Δf_{ix} – полоса пропускания усилителя промежуточной частоты (УПЧ) РПрУ i -го РЭС на уровне X дБ.

При проверке выполнения частотного критерия предусматривается, что передатчик j -го типа и приемник i -го типа могут перестраиваться в пределах диапазонов частот $[f_{j \min}, f_{j \max}]$, $[f_{i \min}, f_{i \max}]$, где $f_{j \min}$, $f_{j \max}$ – соответственно нижняя и верхняя границы диапазона рабочих частот РПДУ j -го типа; $f_{i \min}$, $f_{i \max}$ – аналогично, границы диапазона рабочих частот РПрУ i -го типа.

Проверка неравенства для разных значений параметров p, n, m позволяет определить такие их соединения $p = p'$, $n = n'$, $m = m'$, при которых возможно проникновение помех в РПрУ. При этом значения p' , n' , m' характеризуют возможные частотные каналы проникновения помех.

При частотном анализе выявлены потенциальные источники взаимных помех по основному или побочным внеполосным каналам излучения и приема. На основании данных о частотном диапазоне работы авиационных РЭС и группировок ССПС стандарта GSM-900 определены потенциально несовместимые РЭС. Потенциально несовместимыми РЭС с ССПС стандарта GSM-900 являются:

- бортовая аппаратура радиотехнической системы ближней навигации (РСБН);
- бортовая и наземная радиостанции, которые работают в диапазоне дециметровых волн;
- автоматический пеленгатор, который работает в диапазоне дециметровых волн;
- устройство контроля зоны (УКЗ) инструментальной системы посадки;
- контрольно-выносной пункт наземных радиомаяков РСБН;
- выносной индикатор кругового обзора (ВИКО) РСБН;

- контрольный выносной пункт (КВП) РСБН;
- обзорные радиолокационные станции сантиметрового диапазона.

Основными авиационными РЭС, влияющими на приемники базовых и мобильных станций ССПС стандарта GSM-900 являются бортовые и наземные радиостанции диапазона дециметровых волн (третья гармоника).

Результаты расчетов каналов проникновения помех стандарта GSM-900 на потенциально несовместимые авиационные РЭС показывают, что основными каналами влияния группировки ССПС стандарта GSM-900 на авиационные РЭС являются:

- основной канал приема дальномерного канала бортовой радиотехнической системы ближней навигации - излучение группировки ССПС в основном диапазоне;
- основной канал приема наземной аппаратуры ВКО РСБН - излучение группировки ССПС в основном диапазоне;
- основной канал приема наземной аппаратуры КВП РСБН - излучение группировки ССПС в основном диапазоне;
- основной канал приема бортовых радиостанций диапазона ДМВ - излучение группировки ССПС на третьей субгармонике;
- основной канал приема наземных радиостанций диапазона ДМВ - излучение группировки ССПС на третьей субгармонике;
- основной канал приема автоматических пеленгаторов, работающих в диапазоне ДМВ - излучение группировки ССПС на третьей субгармонике;
- основной канал приема обзорных РЛС сантиметрового диапазона - излучения группировки ССПС на третьей гармонике;
- основной канал приема УКЗ инструментальных систем посадок - излучение группировки ССПС на основных частотах.

Особенностью влияния ССПС стандарта GSM-900 в режиме группового использования каналов на авиационные РЭС является тот факт, что в полосу пропускания приемника могут попасть не только излучения группы БС и МС, работающих в совпадающей полосе частот, но и группы БС и МС соседних сот, работающих на соседних частотных каналах. Количество групп БС и МС, работающих на разных частотных каналах и влияющих на приемники авиационных РЭС, зависит от: соотношения полосы пропускания приемника и полосы излучения БС и МС, количества БС и МС в группе и параметров их антенн, частотно-территориального плана (ЧТП) ССПС в областном центре.

В результате расчета норм ЭМС между дальномерным каналом (ДК) РСБН-6С и группировкой ССПС стандарта GSM-900 с групповым использованием частот, которые находятся на заданной территории, получены зависимости необходимого частотного разнеса от расстояния.

На рис. 1 представлены зависимости средней мощности помех группировки ССПС стандарта GSM-900, приведенной ко входу приемника ДК РСБН-6С (режим „Навигация”) от расстояний в общей группировке для различных высот полета летательного аппарата.

На рис.1 показано: а – высота полета 15000 м, б – высота полета 10000 м, в – высота полета 5000 м, г – высота полета 1000 м, д – высота полета 750 м, е – высота полета 500 м, ж – допустимая мощность помехи. Из графиков видно, что на расстоянии РСБН-6С от группировки ССПС меньше 430 км при различных высотах полета летательного аппарата средняя мощность помехи оказалась больше допустимого уровня, что свидетельствует о недопустимой ЭМО с точки зрения ЭМС.

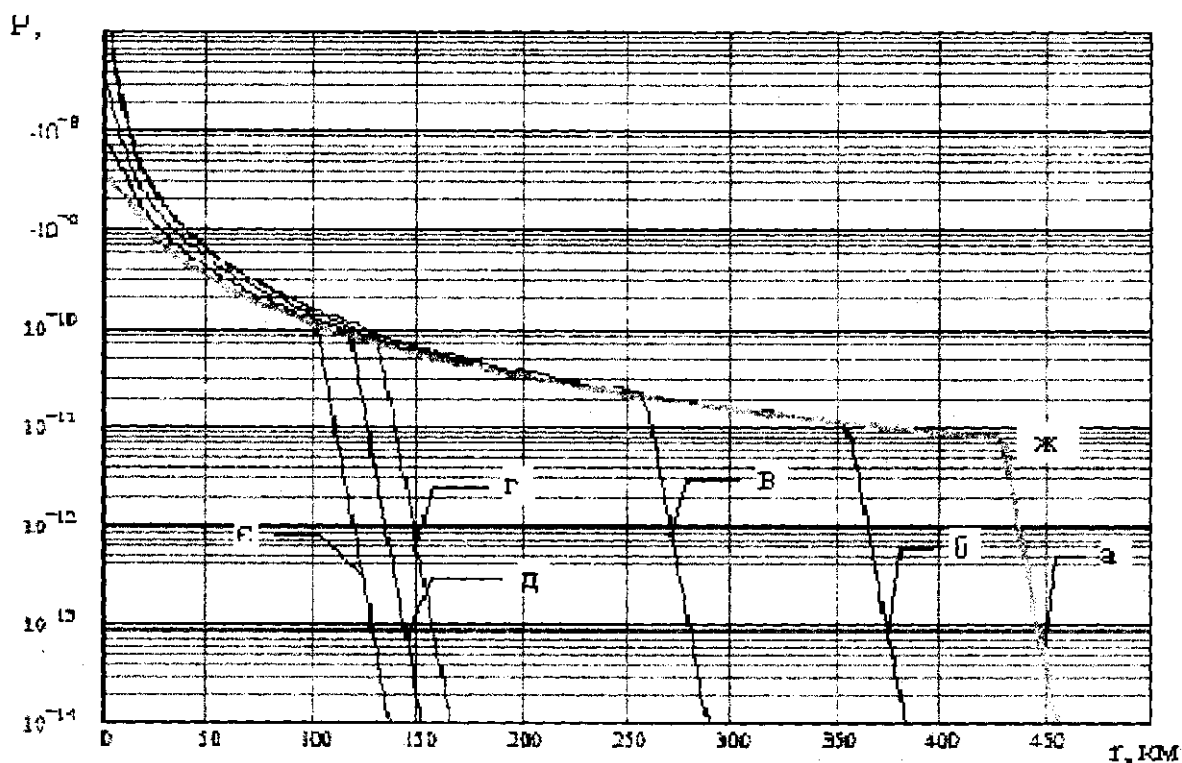


Рис. 1. Зависимость мощности помехи группировки ССПС стандарта GSM-900 на входе приемника ДК РСБН-6С от расстояния при различных высотах полета летательного аппарата.

На рис.1 показано: а – высота полета 15000 м, б – высота полета 10000 м, в – высота полета 5000 м, г – высота полета 1000 м, д – высота полета 750 м, е – высота полета 500 м, ж – допустимая мощность помехи. Из графиков видно, что на расстоянии РСБН-6С от группировки ССПС меньше 430 км при различных высотах полета летательного аппарата средняя мощность помехи оказалась больше допустимого уровня, что свидетельствует о недопустимой ЭМО с точки зрения ЭМС.

На рис. 2 показана зависимость средней мощности помехи группировки ССПС стандарта GSM-900 на входе приемника бортовой радиостанции Р-863 от расстояния к общей группировке при различных высотах полета летательного аппарата (а – высота полета 15000 м, б – высота полета 10000 м, в – высота полета 5000 м, г – высота полета 1000 м, д – высота полета 750 м, е – высота полета 500 м, ж – допустимая мощность помехи).

Из графиков рис.2 видно, что при высоте полета летательного аппарата 15000 м, 10000 м и 5000 м средняя мощность помехи не превышает допустимый уровень помехи при различных расстояниях приемника бортовой радиостанции Р-863 от общей группировки ССПС, что обеспечивает нормальное функционирование Р-863. При высоте полета летательного аппарата 1000 м минимальным допустимым расстоянием радиостанции Р-863 от группировки ССПС является 3300 м. При высоте полета 750 м минимальным расстоянием является 3600 м, а при высоте полета 500 м минимальным расстоянием является 4000 м. Уменьшение расстояний Р-863 от группировки ССПС может приводить к снижению качества связи и даже к сбоям работы аппаратуры связи.

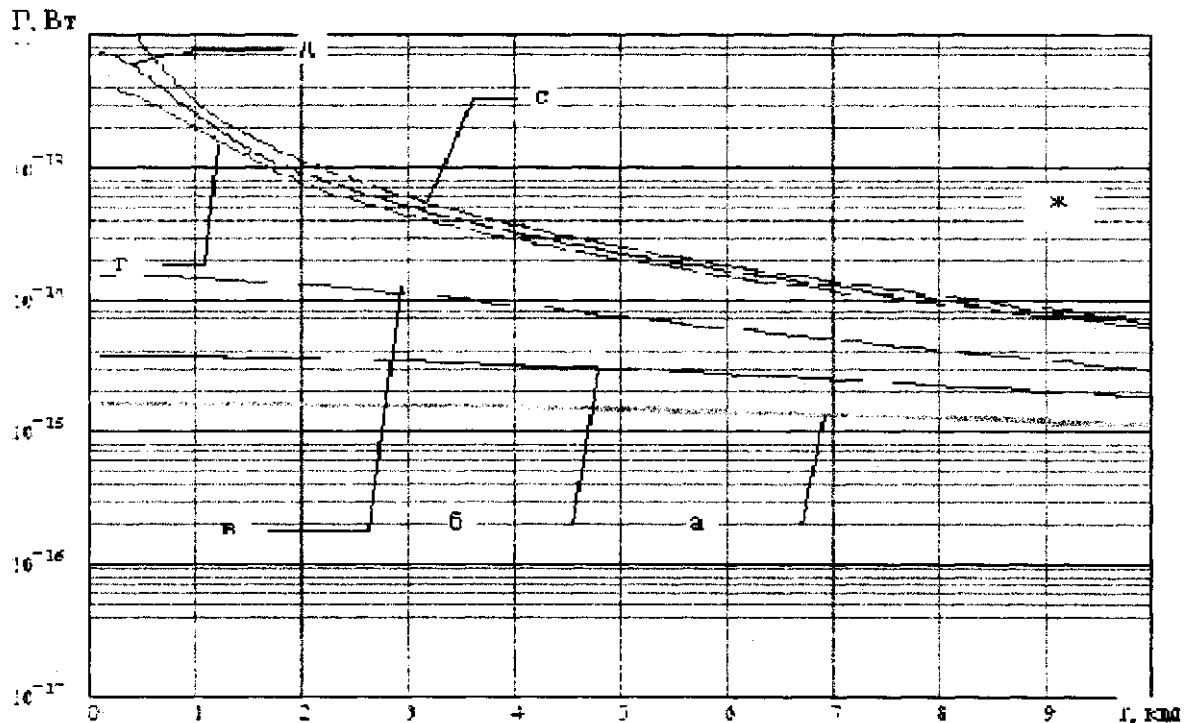


Рис. 2. Зависимость средней мощности помехи группировки ССПС стандарта GSM-900 на входе приемника бортовой радиостанции Р-863 от расстояния при различных высотах полета летательного аппарата

На рис. 3 представлены зависимости средней мощности помех группировки ССПС стандарта GSM-900 на входе приемника глосадного канала РСБН-6С от расстояния к общей группировке ССПС при различных высотах полета самолета (а – высота полета 500 м, б – высота полета 1000 м, в – высота полета 5000 м, г – допустимая мощность помехи).

Из данных графиков видно, что при всех исследуемых высотах полета летательного аппарата минимально допустимое расстояние его до общей группировки ССПС должно составлять не менее 185 км.

На рис. 4 представлены зависимости средней мощности помех от группировки ССПС стандарта GSM-900 на входе приемника ДК РСБН-6С (режим „Посадка”) от расстояний до общей группировки для различных высот полета летательного аппарата (а – высота полета 500 м, б – высота полета 1000 м, в – высота полета 5000 м, г – допустимая мощность помехи).

Данные графики свидетельствуют о том, что также при всех исследуемых высотах полета летательного аппарата минимально допустимое расстояние его до общей группировки ССПС должно составлять не менее 185 км.

На рис. 5 представлены зависимости средней мощности помех от группировки МС различного класса мощности и группировки БС ССПС стандарта GSM-900 на входе приемника наземной радиостанции Р-863 при приеме по главному лепестку диаграммы направленности антенны (а – базовые станции, б – мобильные станции (20 Вт), в – мобильные станции (8 Вт), г – мобильные станции (0,8 Вт), д – допустимая мощность помех на входе приемника).

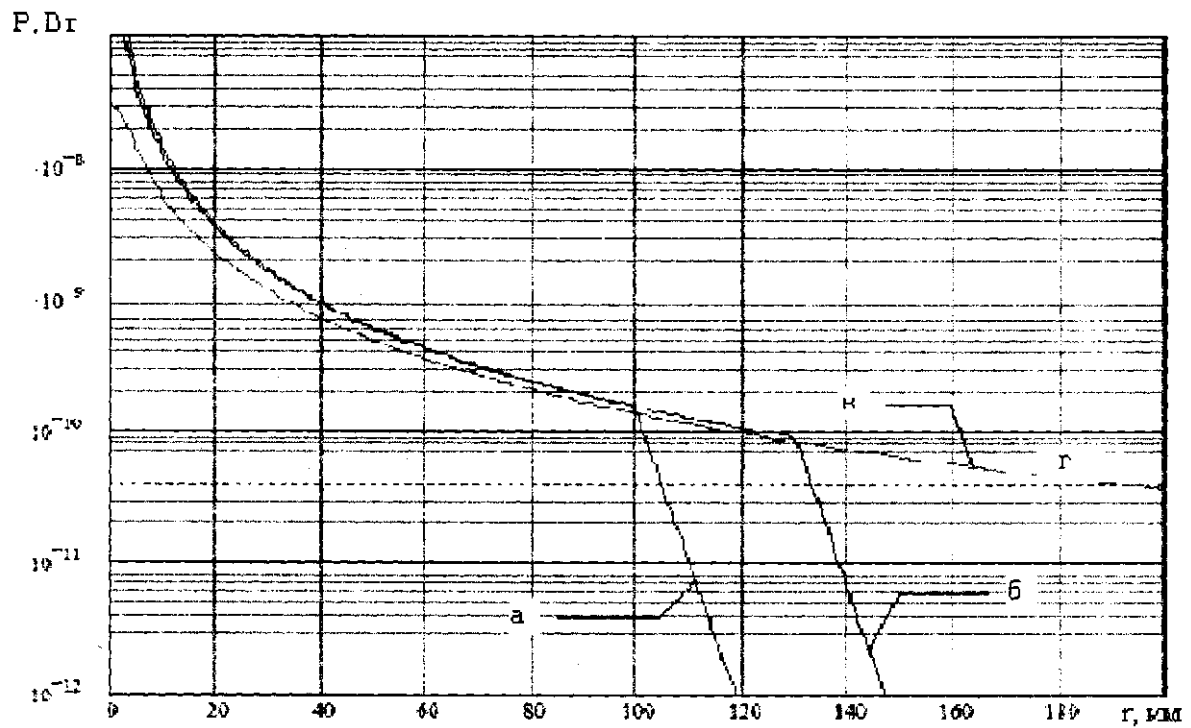


Рис. 3. Зависимости средней мощности помех группировки ССПС стандарта GSM-900 на входе приемника гласидного канала РСБН-6С от расстояния при различных высотах полета самолета

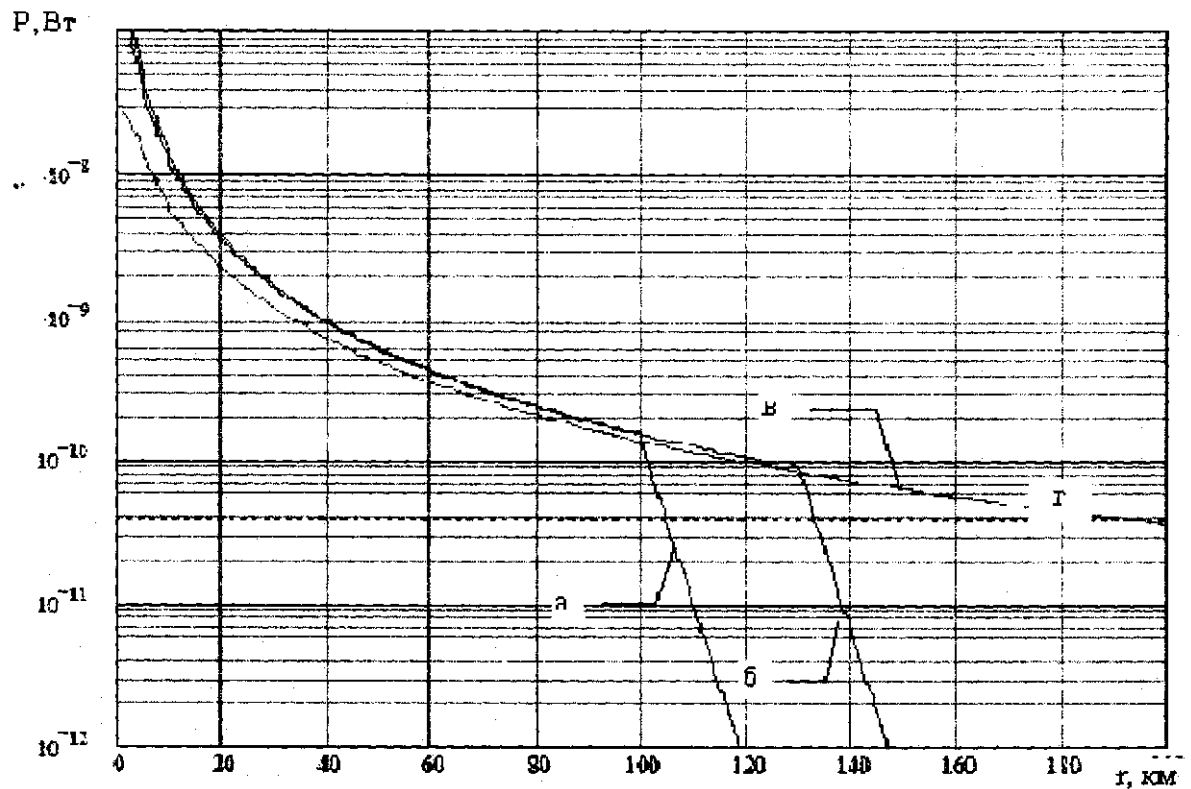


Рис. 4. Зависимости средней мощности помех группировки ССПС стандарта GSM-900 на входе приемника ДК РСБН-6С (режим „Посадка“) от расстояний до общей группировки для различных высот полета летательного аппарата

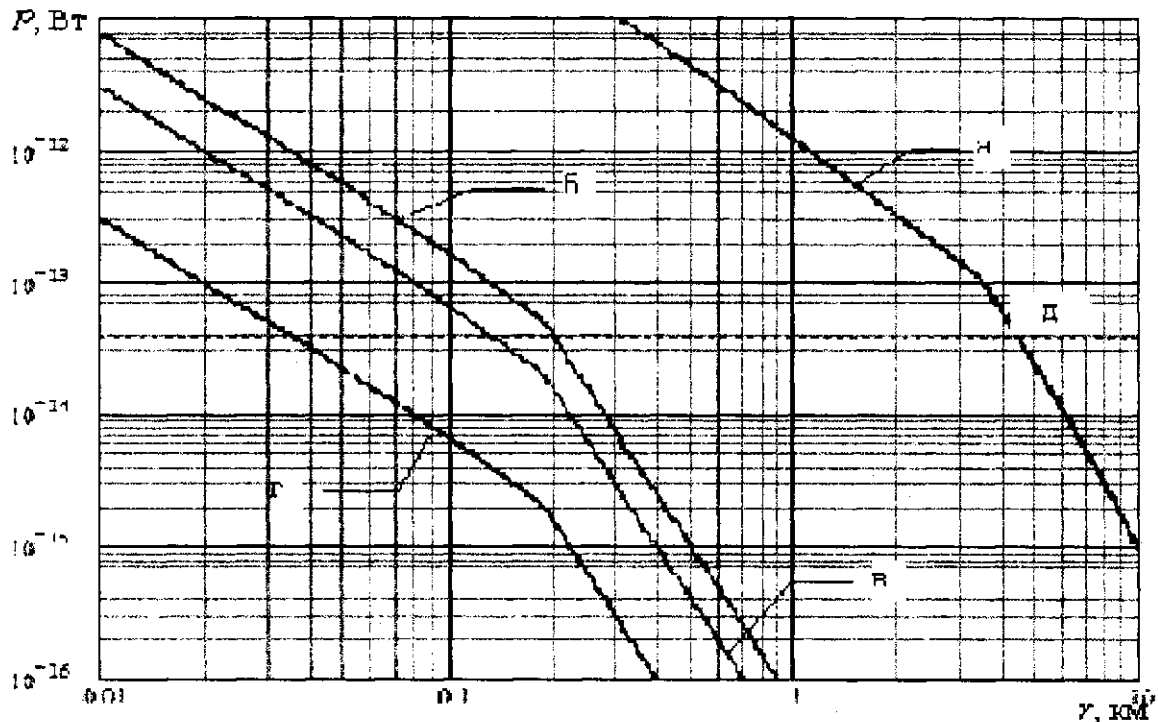


Рис. 5. Зависимости средней мощности помех группировки МС различного класса мощности и группировки БС ССПС стандарта GSM-900 на входе приемника наземной радиостанции Р-863

Анализ зависимостей рис. 5 позволяет сделать вывод о том, что наибольшее влияние на приемники наземной радиостанции Р-863 оказывают БС. Минимально допустимое расстояние радиостанции Р-863 до БС должно составлять не менее 4,5 км. Наименьшее влияние оказывают МС. При этом МС с мощностью передачи 0,8 Вт не должны находиться ближе 25 м от радиостанции Р-863, МС с мощностью 8 Вт - не ближе 150 м и МС с мощностью 20 Вт - не ближе 200 м. Так как БС работают совместно с МС, то можно сделать вывод о том, что радиус действия БС должен составлять не более 4300 м при расстоянии БС до Р-863 - 4,5 км.

На рис. 6. представлены зависимости средней мощности помех группировки МС различного класса мощности и группировки БС ССПС стандарта GSM-900 на входе приемника УКЗ ПРМГ-5 при приеме по главному лепестку диаграммы направленности антенны (а – базовая станция, б – мобильная станция (20 Вт), в – мобильная станция (8 Вт), г – мобильная станция (0,8 Вт), д – допустимая мощность помех на входе приемника).

Из этих графиков видно, что при приеме по главному лепестку ДНА минимальное расстояние от группировки БС ССПС должно составлять не менее 6 км. Минимальное расстояние от группировки МС с мощностью 20 Вт должно составлять не менее 250 м. Минимальное расстояние от группировки МС с мощностью 8 Вт должно составлять не менее 150 м, а минимальное расстояние от группировки МС с мощностью 0,8 Вт должно составлять не менее 30 м. При этом расстояние от общей группировки БС будет определять радиус действия БС.

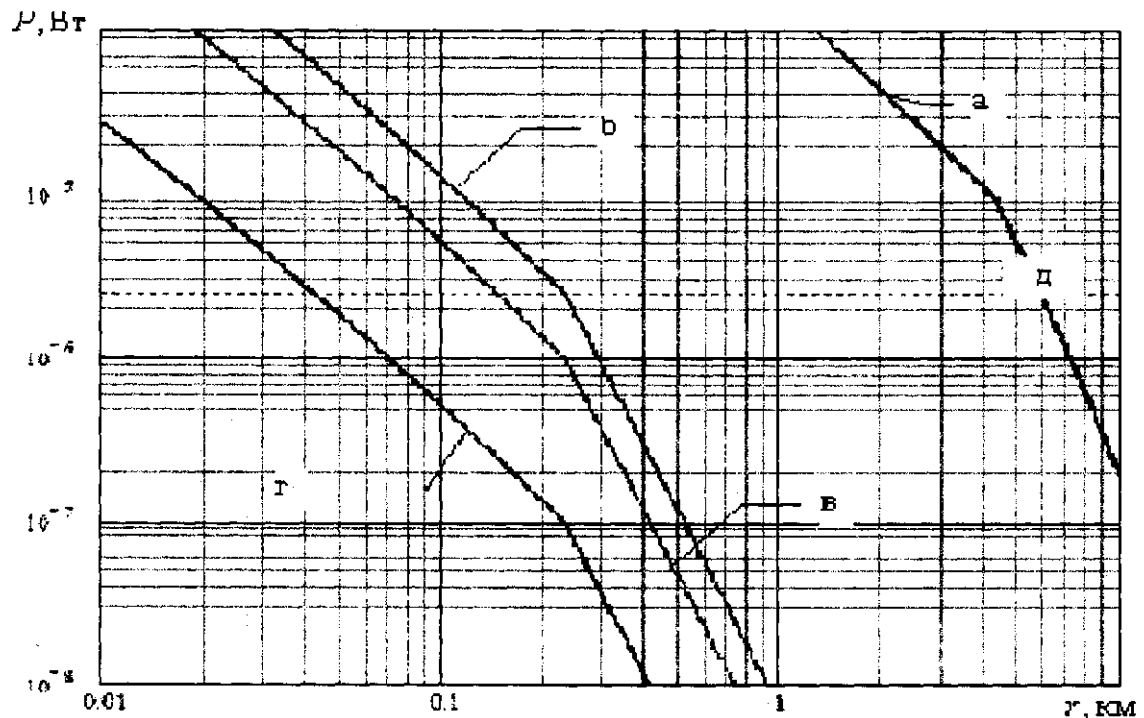


Рис. 6. Зависимости средней мощности помех группировки МС различного класса мощности и группировки БС ССПС стандарта GSM-900 на входе приемника УКЗ ПРМГ-5 при приеме по главному лепестку диаграммы направленности антенны

На рис. 7 представлены зависимости средней мощности помех группировки МС различного класса мощности и группировки БС ССПС стандарта GSM-900 на входе приемника УКЗ ПРМГ-5 при приеме по боковому лепестку диаграммы направленности антенны (а – базовая станция, б – мобильная станция (20 Вт), в – мобильная станция (8 Вт), г – мобильная станция (0,8 Вт), д – допустимая мощность помех на входе приемника).

Из графиков рис. 7 определено, что при приеме УКЗ ПРМГ-5 по боковому лепестку ДНА минимальное расстояние группировки ССПС до УКЗ ПРМГ-5 должно составлять не менее 5 - 6 км.

На рис. 8 представлены зависимости средней мощности помехи от группировки МС различного класса мощности и группировки БС ССПС стандарта GSM-900 на входе приемника радиостанции Р-845 (а – базовая станция, б – мобильная станция (20 Вт), в – мобильная станция (8 Вт), г – мобильная станция (0,8 Вт), д – допустимая мощность помех на входе приемника). При рассмотрении можно выявить, что минимальное расстояние между группировкой ССПС и приемником радиостанции Р-845 должно составлять не менее 7,5 км.

На рис. 9. представлены зависимости средней мощности помехи от группировки МС различного класса мощности и группировки БС ССПС стандарта GSM-900 на входе приемника ВИКО РСБН-4Н при приеме по главному лепестку ДНА (а – базовая станция, б – мобильная станция (20 Вт), в – мобильная станция (8 Вт), г – мобильная станция (0,8 Вт), д – допустимая мощность помех на входе приемника). Из данных графиков видно, что минимально допустимым расстоянием группировки ССПС до приемника ВИКО РСБН-4Н является расстояние 60 км.

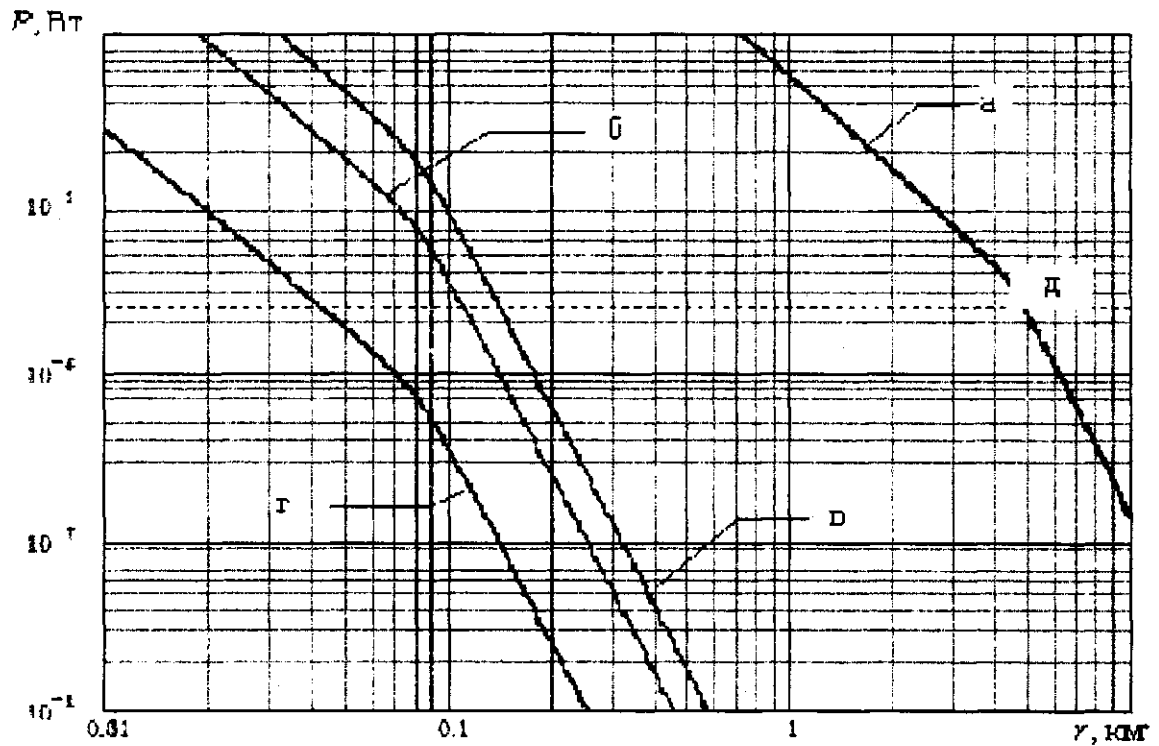


Рис. 7. Зависимости средней мощности помех группировки МС различного класса мощности и группировки БС ССПС стандарта GSM-900 на входе приемника УКЗ ПРМГ-5 при приеме по боковому лепестку диаграммы направленности антенны

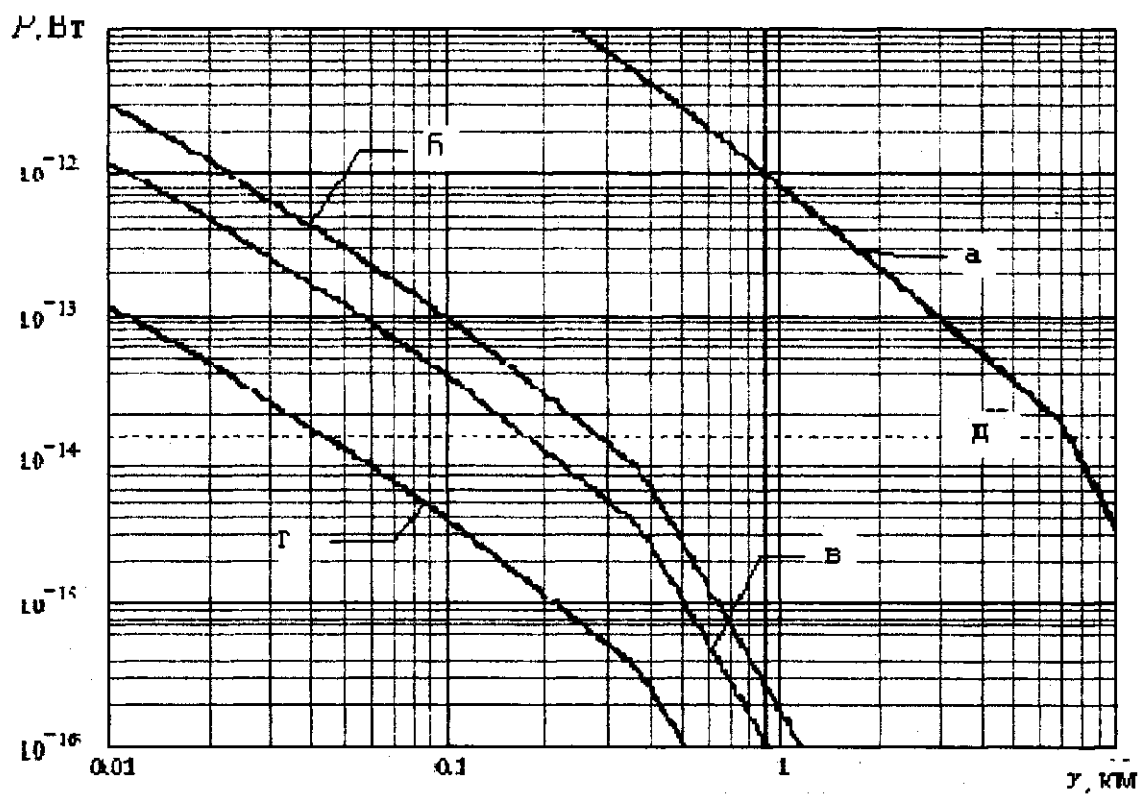


Рис. 8. Зависимости средней мощности помехи от группировки МС различного класса мощности и группировки БС ССПС стандарта GSM-900 на входе приемника радиостанции Р-845

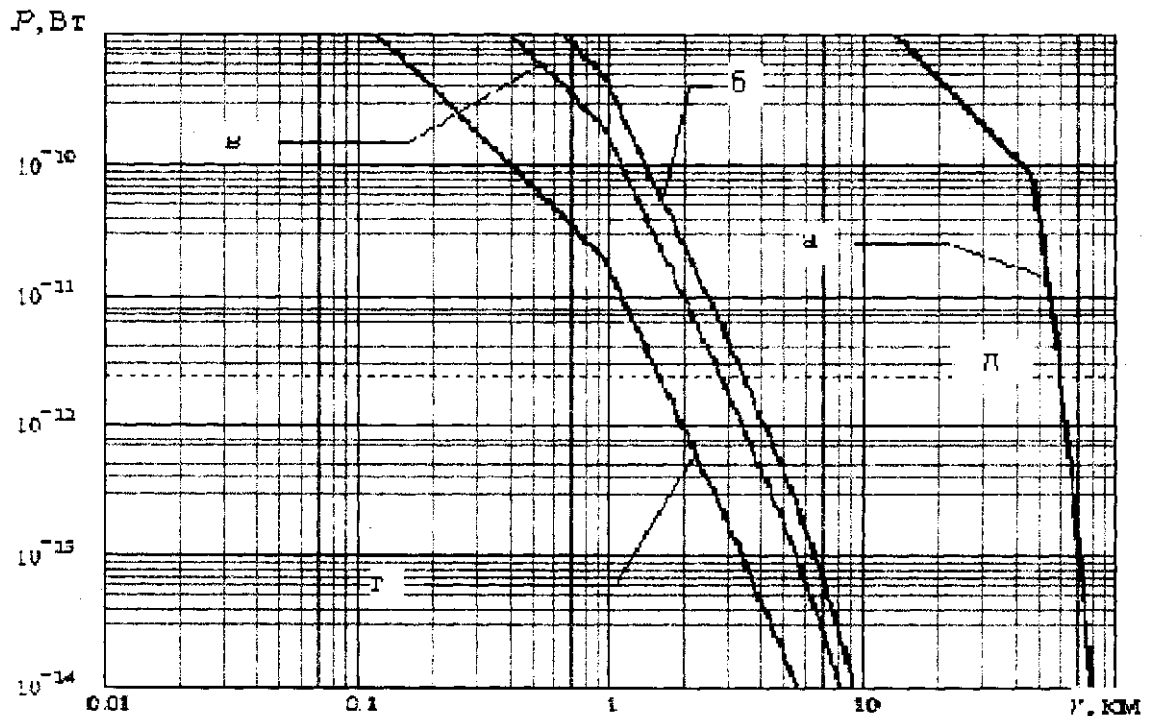


Рис. 9. Зависимости средней мощности помехи от группировки МС различного класса мощности и группировки БС ССПС стандарта GSM-900 на входе приемника ВКО РСБН-4Н при приеме по главному лепестку ДНА

На рис. 10 представлены зависимости средней мощности помехи от группировки МС различного класса мощности и группировки БС ССПС стандарта GSM-900 на входе приемника контрольно-выносного пункта РСБН-4Н при приеме по главному лепестку ДНА (а – базовая станция, б – мобильная станция (20 Вт), в – мобильная станция (8 Вт), г – мобильная станция (0,8 Вт), д – допустимая мощность помех на входе приемника).

Из данных графиков видно, что минимально допустимым расстоянием группировки ССПС до приемника контрольно-выносного пункта РСБН-4Н при приеме по главному лепестку ДНА является расстояние 50 км.

На рис. 11 представлены зависимости средней мощности помехи от группировки БС и МС ССПС стандарта GSM-900 на входе приемника радиолокационной станции 1РЛ139РЗ (а – группировка БС и МС, б – допустимая мощность помех на входе приемника).

Из данных графиков видно, что минимально допустимым расстоянием приемника радиолокационной станции 1РЛ139РЗ от группировки БС и МС ССС стандарта GSM-900 является расстояние 1,3 км.

Заключение.

1. Анализ показал, что излучение группировки ССПС стандарта GSM-900 с мощностью передатчиков БС 50 Вт и коэффициентом усиления антенн 21 дБ влияет на:

- бортовую аппаратуру радиотехнической системы ближней навигации РСБН-6С;
- бортовую радиостанцию Р-863 диапазона МВ и ДМВ;
- выносной индикатор кругового обзора (ВИКО) РСБН;
- контрольно-выносной пункт (КВП) РСБН;
- УКЗ ПРМГ-5;
- обзорную радиолокационную станцию (ОРС) 1РЛ139РЗ.

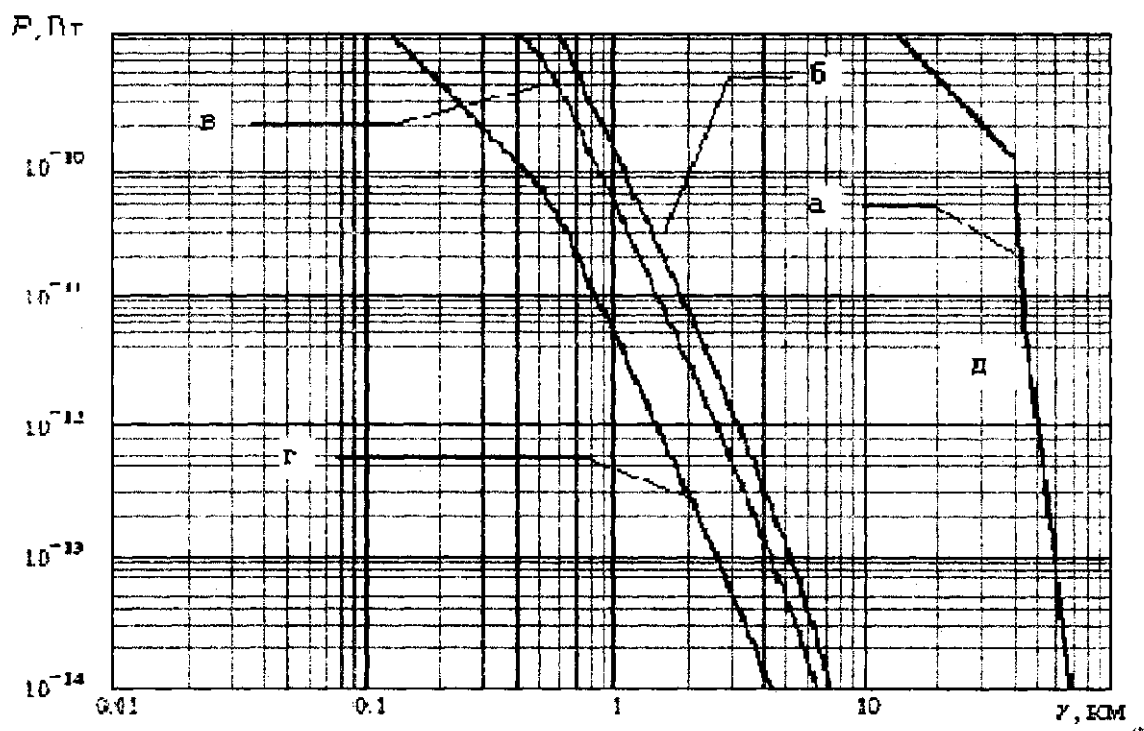


Рис. 10. Зависимости средней мощности от помехи группировки МС различного класса мощности и группировки БС ССПС стандарта GSM-900 на входе приемника контрольно-выносного пункта РСБН-4Н при приеме по главному лепестку ДНА

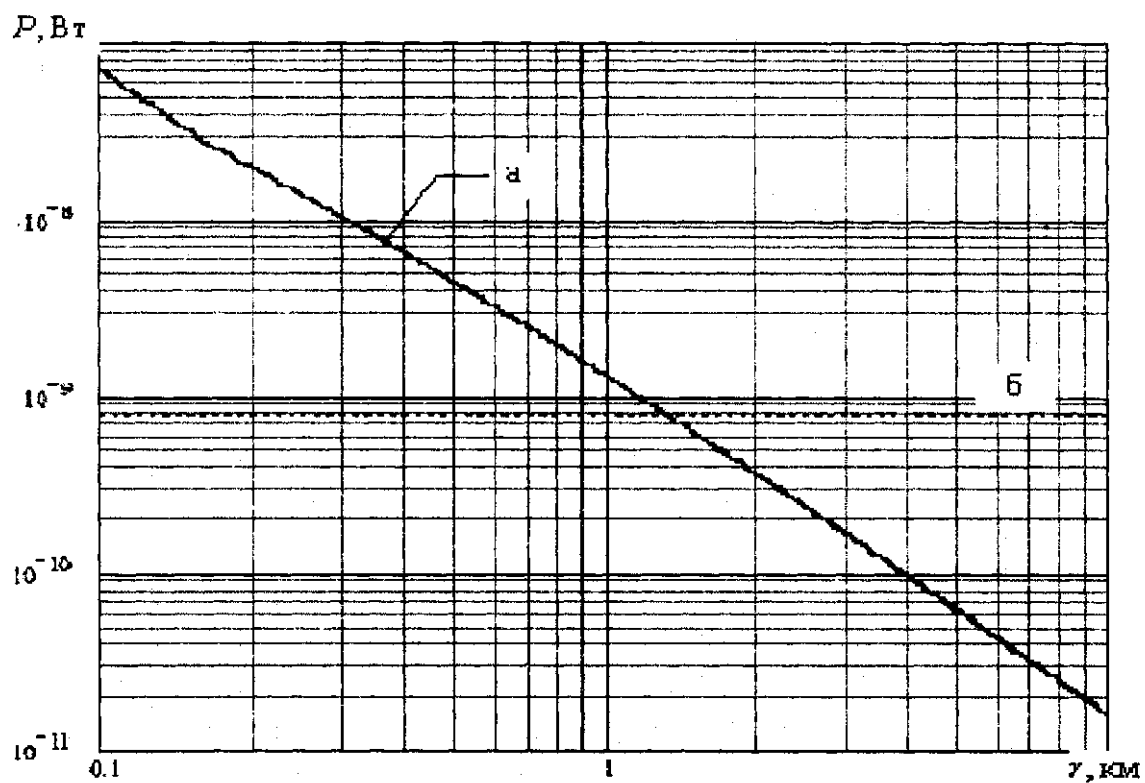


Рис. 11. Зависимости средней мощности помехи от группировки БС и МС ССПС стандарта GSM-900 на входе приемника радиолокационной станции 1РЛ139РЗ

2. Для обеспечения ЭМС систем сотовой подвижной связи GSM-900 и систем авиационной связи требуется территориальный и частотный разнос. Так, к примеру, дальность влияния помехи на основной частоте излучения и приема дальномерного канала РСБН-6С в режиме „Навигация” и источника помех – БС ССПС стандарта GSM-900 в зависимости от высоты полета, составляет: от 90 км до 175 км при ориентации ДНА в пространстве Г – Б (главным лепестком на прием и боковым - на передачу); от 120 км до 481 км при ориентации ДНА в пространстве Г – Г (главным лепестком на прием и главным - на передачу).

Дальность влияния помехи на основной частоте излучения и приема дальномерного канала РСБН-6С в режиме „Посадка” и источника помех – группировки ССПС стандарта GSM-900, в зависимости от высоты полета, составляет: от 51 км до 58 км при ориентации ДНА в пространстве Г – Б (главным лепестком на прием и боковым - на передачу); от 115 км до 190 км при ориентации ДНА в пространстве Г – Г (главным лепестком на прием и главным - на передачу). Разнос по частоте между приемником РСБН-6С и группировкой ССПС стандарта GSM-900 при нахождении авиационной техники в районе расположения группировки и в зависимости от ориентации ДНА, должен составлять для БС, расположенных в исследуемой области: не меньше 1,76 МГц в режиме „Навигация” и не меньше 2,1 МГц в режиме „Посадка”.

Литература

1. Самолётная аппаратура радиотехнической системы ближней навигации. Приёмник СПАД-2И. Техническое описание. ВШ2.026.019 ТО.
2. Радиостанция Р- 863. Руководство по технической эксплуатации. ЯДИЖ1. 101.013 РЭ.
3. Техническое описание 1РЛ139РЗ. ЯБ1. 000.016.
4. Посадочная радиомаячная группа ПРМГ-5. Наземное оборудование инструментальной посадки. Дальномерно-курсовой радиомаяк. Книга 1. Техническое описание. ТЖ2.006.019. ТО.
5. ВИКО радиомаяков системы РСБН-2Н, РСБН-4Н. Техническое описание. ТЖ1. 400.006 ТО.
6. Радиомаяк системы РСБН-4. Контрольно-юстировочная аппаратура. Техническое описание. Том 1. Книга 6. ЕУ1. 241.198 ТО.
7. Радиомаяк системы РСБН-4Н. Антенно-фидерные устройства. Техническое описание. Том 1. Книга 4. ЕУ1. 241.198 ТО.
8. Кечиев Л.Н., Тряпицын А.В. Межсистемная электромагнитная совместимость. Методические указания и задания к курсовой работе по дисциплине “ЭМС и защита информации”. – М.: МИЭМ, 2002. – 48 с.
9. Управление радиочастотным спектром и электромагнитная совместимость радиосистем. Учебное пособие/ Под ред. д.т.н., проф. Быховского М.А. – М.: Эко-Трендз, 2007.