

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЧАСТОТНОГО РАЗНОСА ДЛЯ РЭС ВОЗДУШНОЙ РАДИОНАВИГАЦИИ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ПОМЕХ ОТ ПЕРЕДАТЧИКОВ СИСТЕМ СОТОВОЙ ПОДВИЖНОЙ СВЯЗИ СТАНДАРТА GSM

Введение

Особенностью современного состояния развития систем сотовой подвижной связи (ССПС) и других средств связи является значительный рост их числа, расширение зон обслуживания и, как следствие, усложнение решения задач выделения (присвоения) новых полос частот и обеспечения электромагнитной совместимости (ЭМС) с различными радиоэлектронными средствами (РЭС) в общих полосах частот.

В связи с ограничением частотного ресурса ввод новых ССПС приводит к увеличению нагрузки и, как следствие, усложнению процедуры выделения полос частот для новых систем. Неуклонная потребность в частотном ресурсе (по Решениям ГКРС) за последние годы в системах радиосвязи (спутниковые, навигационные, радиолокация, подвижная связь и многие другие) и возрастающий спрос на широкополосные сигналы исключают возможность использовать полосу частот только одной радиослужбой (за исключением сигналов бедствия и безопасности) и делают задачу эффективного использования полос частот различными радиослужбами актуальной.

Поэтому при размещении РЭС, совместно использующих радиочастотный спектр (РЧС) в едином территориальном районе, необходимо обеспечить их ЭМС. В некоторых случаях имеющегося частотного ресурса недостаточно для полного обеспечения ЭМС всех РЭС при заданном их местоположении. В указанной ситуации можно говорить о наличии дефицита частотного ресурса для обеспечения ЭМС рассматриваемых РЭС и о необходимости использования частотно-территориального разнеса (ЧТР).

Одним из важных направлений для изучения эффективного распределения и использования радиочастотного ресурса является диапазон 890 – 960 МГц, в котором работают ССПС стандарта GSM-900 и РЭС воздушной радионавигации [1]. Эта проблема особенно актуальна в связи с появлением нескольких национальных операторов сетей GSM-900, что влечет рост плотности базовых станций (БС) в областных центрах.

Поэтому постановка задачи сводится к определению ЧТР и норм ЭМС РЭС между передатчиками БС ССПС стандарта GSM-900 и РЭС воздушной радионавигации, работающих в данном частотном диапазоне.

Основная часть

Расчет норм ЧТР РЭС является неотъемлемой составной частью решения задач обеспечения ЭМС РЭС. Нормы ЧТР рассматриваются для потенциально несовместимых типов РЭС. Нормы ЧТР используются для выявления степени влияния непреднамеренной радиопомехи (НРП) на качество функционирования РЭС и оценки эффективности мероприятий для обеспечения ЭМС РЭС.

Расчет норм ЧТР РЭС заключается в определении для каждого ν -го канала проникновения НРП, выявленного на этапе оценки ЭМС анализируемых типов РЭС, необходимого частотного разнеса Δf_ν при размещении РЭС в едином территориальном районе при различной ориентации их диаграмм направленности антенн (ДНА), при которых выполняется следующий детерминированный критерий ЭМС РЭС:

$$P_{\nu\nu}(\Delta f_\nu / r, \theta) \leq P_{\text{предл}} \quad (1)$$

где $P_{jv}(\Delta f_j / r, \theta)$ – мощность НРП от передатчика j -го РЭС, приведенная ко входу приемника i -го РЭС, дБ/Вт ; $P_{i\text{вход}}$ – допустимое значение мощности НРП на входе приемника i -го РЭС при влиянии на него излучения передатчика j -го РЭС, дБ/Вт .

Решение приведенного неравенства для множества значений взаимных удалений РЭС r и вариантов взаимной ориентации их ДНА θ позволяет получить нормы ЧТР РЭС в виде зависимостей необходимого частотного разнеса Δf_v от r и θ .

Нормы ЧТР РЭС рассчитаны в следующем порядке:

1. Проведен расчет норм территориального разнеса РЭС. Рассмотрено воздействие передатчика БС группировки ССПС на приемник РЭС воздушной радионавигации в условиях города [2]. Для этого определено значение расстояния R_m между передатчиком БС группировки ССПС и РЭС воздушной радионавигации:

$$R_m = \sqrt{(R_0 + r \cos \theta)^2 + r^2 \sin^2 \theta + (h_{np} - h_{mр})^2}. \quad (2)$$

где R_0 – расстояние между центром города, в котором расположена группировка ССПС, и приемником РЭС; $h_{np}, h_{mр}$ – высоты приемной и передающей антенн соответственно.

2. Вычислена относительная мощность НРП на входе приемного устройства БС группировки ССПС с учетом особенностей применения и условий размещения.

Для расчета использована формула радиосвязи [3, 4] при подстановке соответствующего значения коэффициента ослабления помехи излучаемой/принимаемой по боковым лепесткам ДН антенн [5, 6].

Рассчитана мощность НРП, приведенная ко входу основного канала приемного устройства РЭС воздушной радионавигации [7]:

$$P_{jv} = S_0 \mu \int_{f_1}^{f_2} S(f, f_1) K(f, f_2) G_1(\alpha_1, \beta_1, f) \eta_1(f) G_2(\alpha_2, \beta_2, f) \eta_2(f) V(R, f) df, \quad (3)$$

где F_1 и F_2 – границы максимального промежутка частот, вне которого одна из подынтегральных функций равна нулю; S_0 – множитель, определяемый соотношением

$$S_0 = P_p / \int_{f_1}^{f_2} S(f, f_1) df. \quad (4)$$

Использованы следующие технические характеристики РЭС:

– нормированная спектральная плотность мощности излучения БС $S(f, f_1)$, определенная как функция частоты f при заданной рабочей полосе частот f_1 передатчика (935...960 МГц) [$S(f_1, f_1) = 1, S(f, f_1) < 1$ при $f \neq f_1$];

– мощность передатчика БС P_p , равная 32 Вт;

– односигнальная АЧХ радиоприемного устройства РЭС воздушной радионавигации – нормированный коэффициент усиления $K(f, f_2)$, определенный как функция частоты f в рабочей полосе частот f_2 (939,6 – 966,9 МГц) [$K(f_2, f_2) = 1, K(f, f_2) < 1$ при $f \neq f_2$];

– коэффициент усиления антенны БС $G_1(\alpha_1, \beta_1, f)$, зависящий от частоты f и углов (α_1, β_1) , равный 18 дБ;

– коэффициент усиления антенны РЭС воздушной радионавигации $G_2(\alpha_2, \beta_2, f)$, равный 1,5 в направлении главного и бокового лепестков, зависящий от частоты f и углов (α_2, β_2) ;

– коэффициенты передачи $\eta_1(f), \eta_2(f)$ на частоте f АФТ передатчика БС группировки ССПС и приемника РЭС;

– коэффициент поляризационных потерь μ ;

– коэффициент ослабления радиоволн $V(R, f)$ как функция частоты и расстояния при следующих параметрах: высотах фазовых центров антенн и характеристиках среды распространения радиоволн.

– поляризации сигналов БС и РЭС воздушной радионавигации приняты совпадающими

Формула (4) определяет зависимость искомой мощности $P_{\eta v}$ от всех факторов, учет которых предусмотрен постановкой задачи

3 Для заданного расстояния между РЭС рассчитано превышение $P_{\eta v}$ мощности НРП над допустимым уровнем $P_{\eta v \text{ доп}}$

$$\Delta P_{\eta v} = P_{\eta v} - P_{\eta v \text{ доп}} \quad (5)$$

Допустимая мощность НРП на входе приемника РЭС воздушной радионавигации при выполнении детерминированной оценки качества функционирования РЭС вычисляется по формуле

$$P_{\text{доп}} = P_{\text{с}} / K_{\text{защ}} \quad (6)$$

где $P_{\text{с}}$ – средняя мощность полезного сигнала на входе приемного устройства РЭС, Вт, $K_{\text{защ}}$ – коэффициент защитного отношения.

Электромагнитная совместимость РЭС считается обеспеченной, если приведенная ко входу приемника РЭС воздушной радионавигации мощность НРП $P_{\text{прп}}$ не превышает допустимую мощность НРП на входе приемника от передатчика БС группировки ССПС $P_{\text{доп}}$. При этом величина, определяемая по формуле

$$\Delta P_{\eta} = P_{\text{прп}} - P_{\text{доп}} \quad (7)$$

характеризует степень запаса обеспечения ЭМС.

Для проведения расчетов норм ЭМС между БС стандарта GSM-900 и РЭС воздушной радионавигации было разработано программное обеспечение с применением прикладного математического пакета программ Mathcad 2001 Pro

Программа состоит из подпрограмм, имеет блок ввода исходных данных (блок 1), блок расчетов (блок 2) и блок вывода результатов расчетов (блок 3). Алгоритм взаимодействия подпрограмм приведен на рис. 1



Рис. 1

Ввод начальных данных выполняется с помощью файлов данных

Начальными данными передатчика для проведения расчетов являются количество передатчиков, мощность излучения, вид сигнала, коэффициент усиления антенны в направлении главного и бокового лепестка, вид поляризации и высота фазового центра антенны. относительный уровень бокового излучения на гармониках и субгармониках, минимальная и мак-

симальная частота, количество частотных каналов работы, шаг дискретизации, полоса частот на уровне -3 , -30 , -60 дБ

Начальными данными приемника для проведения расчетов являются количество приемников, чувствительность, коэффициент защиты, коэффициент усиления антенны в направлении главного и бокового лепестка, вид поляризации и высота фазового центра антенны, потери в фидере на рабочих частотах, тип антенны, относительная восприимчивость по боковым каналам, коэффициент прямоугольности, минимальная и максимальная рабочие частоты, количество частотных каналов, шаг дискретизации, полоса пропускания усилителя промежуточной частоты, промежуточная частота, вид настройки гетеродина

Для расчетов вводятся значения удельной проводимости и относительной диэлектрической проницаемости земной поверхности на трассе распространения радиоволн

В соответствии с алгоритмом расчет норм ЭМС содержит расчет территориальных интервалов между БС ССПС стандарта GSM-900 и РЭС воздушной радионавигации при работе на исследуемых каналах проникновения НРП, расчет частотных интервалов для обеспечения ЭМС между БС ССПС стандарта GSM-900 и РЭС воздушной радионавигации

Данным расчетам предшествовала проверка программного обеспечения на достоверность полученных результатов и стабильность расчетов. Для этого в программу вводились данные РЭС воздушной радионавигации. В качестве рецепторов были выбраны бортовая аппаратура радиотехнической системы ближней навигации РСБН-6С. В качестве источников помех были выбраны БС группировки ССПС стандарта GSM-900. Результаты сравнивались с действующими нормами ЭМС [8].

В результате расчета норм ЭМС между РСБН-6С и БС группировки ССПС стандарта GSM-900 получены зависимости частотного разнеса от расстояния.

Результаты расчета необходимого частотного разнеса при парной оценке ЭМС между передатчиками БС стандарта GSM-900 и приемником ДК РСБН-6С (режим "Навигация") показаны на рис. 2. --- — один канал, --- — группа из двух каналов, --- — группа из трех каналов, --- — группа из четырех каналов, --- — группа из пяти каналов.

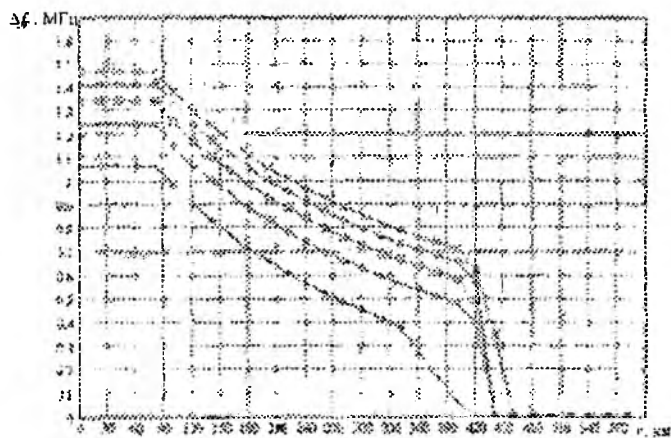


Рис. 2

Из данных графиков видно, что при небольших расстояниях между передатчиками БС стандарта GSM-900 и приемником ДК РСБН-6С, не превышающих 80 км, частотный разнос не зависит от расстояний и определяется лишь количеством частотных каналов. Так, при использовании одного канала необходимым оказался частотный разнос порядка $1,07$ МГц. При использовании групп из двух каналов — $1,24$ МГц. При использовании групп из трех каналов требуется $1,35$ МГц частотного разнеса. При использовании четырех каналов необходимым частотным разнесом является $1,4$ МГц, а при использовании пяти и более каналов $1,48$ МГц. При увеличении расстояний от 80 до 400 км между передатчиками БС стандарта GSM-900 и приемником ДК РСБН-6С необходимость в частотном разнесе плавно снижается. И при достижении расстояний 400 км и выше между данными системами частотный разнос не требуется. Это говорит о том, что данные системы могут использовать одну полосу частот.

Результаты расчета необходимого частотного разнеса при парной оценке ЭМС между передатчиками БС стандарта GSM-900 и приемником ГК РСБН-6С (режим "Посадка") показаны на рис. 3: $\text{---}+$ — один канал, $\text{---}\diamond$ — группа из двух каналов, $\text{---}\square$ — группа из трех каналов, $\text{---}\times$ — группа из четырех каналов

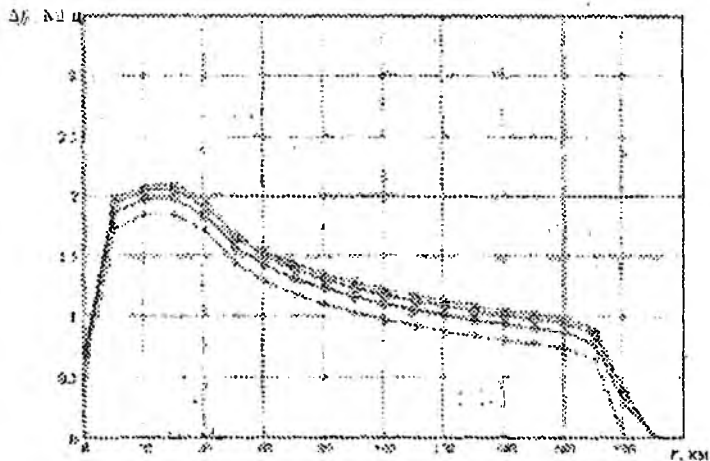


Рис. 3

При анализе обеспечения ЭМС между БС ССПС стандарта GSM-900 и бортовой аппаратурой РСБН в режиме "Посадка" учтены частоты работы БС, которые располагаются в зоне действия инструментальной системы посадки, т. е. до 40 км.

При проведении анализа рассматривалась групповая оценка. Этот вид оценки приведен к парной оценке путем замены всех НРП одной эквивалентной помехой или выделением и учетом только основной помехи из всей совокупности, которая возникает на входе приемника. Данный метод оценки использован для областных центров Украины, где плотность расположения БС стандарта GSM-900 очень высока. Особенно это касается тех областных центров, где наблюдается нулевой частотный разнос между БС стандарта GSM-900 и РЭС воздушной радионавигации при недостаточном территориальном разнесе.

Результаты расчета необходимого частотного разнеса при групповой оценке ЭМС между передатчиками БС стандарта GSM-900 и приемником ДК РСБН-6С (режим "Навигация") показаны на рис. 4: $\text{---}+$ — один канал, $\text{---}\diamond$ — группа из двух каналов, $\text{---}\square$ — группа из трех каналов, $\text{---}\times$ — группа из четырех каналов, $\text{---}\star$ — группа из пяти и больше каналов.

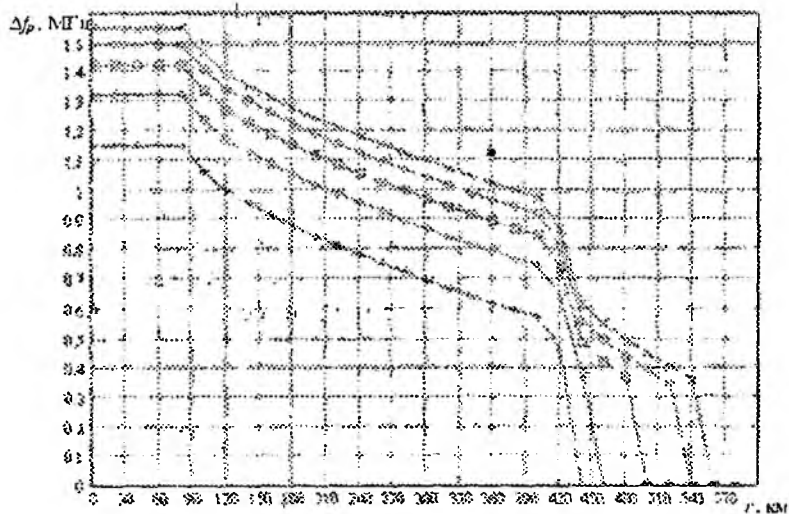


Рис. 4

Групповая оценка ЭМС показала, что в полосу пропускания приемника могут попадать не только излучения от группы БС, которые работают в одном частотном канале, но и группы БС соседних сот, работающие на соседних частотных каналах. Количество групп БС, работающих на разных частотных каналах и влияющих на приемники РСБН-6С, зависит от следующих факторов: соотношения полосы пропускания приемника и полосы излучения БС, количества БС и параметров их антенн, ЧТП ССПС в областном центре.

Нормы территориального разнеса определены с помощью цикла расстояния, в котором мощность увеличивалась в геометрической прогрессии до тех пор, пока не будет получено нужное значение разницы мощностей (НРП и разрешенной). Из полученных норм ТР определено расстояние для расчета ЭМС РЭС [8]. Это расстояние разбивается на несколько интервалов соответственно логарифмического масштаба. На границах полученных интервалов определено значение превышения мощности НРП над разрешенной мощностью и определен необходимый частотный разнос.

Заключение

Согласно Примечанию S5.323 (ВКР-97) полоса частот 890 – 960 МГц распределена РЭС воздушной радионавигации. Отдельные участки этой полосы частот используются цифровыми ССПС стандарта GSM, причем только 15 % общей полосы частот используется практически без ограничений, что существенно тормозит развитие этих сетей.

Обилие РЭС различного назначения очень осложняет ЭМО и создает высокий уровень межсистемных помех, особенно в областных центрах Украины. ЭМС РЭС воздушной радионавигации и РЭС сетей GSM обеспечивается на основе введения частотных и территориальных ограничений с использованием норм ЧТР.

Проведен расчет норм ЧТР РЭС при размещении РЭС в едином территориальном районе при различной ориентации их диаграмм направленности антенн.

Рассмотрено воздействие передатчика БС группировки ССПС на приемник РЭС воздушной радионавигации в условиях города.

Разработано программное обеспечение с применением прикладного математического пакета программ Mathcad 2001 Pro.

В результате расчета норм ЭМС между РСБН-6С и БС группировки ССПС стандарта GSM-900 получены зависимости частотного разнеса от расстояния.

Список литературы: 1. Коляченко Ю. Ю., Токарь Л. А. Методика учета групповых воздействий в диапазонах GSM- и DCS-стандартов // Радиотехника: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2007. Вып. 151. С. 164-170. 2. Калинин А. И. Распространение радиоволн на трассах наземных и космических радиолиний. М. Связь, 1979. 3. Феоктистов Ю. А., Митасов В. В., Батурин Л. И. и др. / Под ред. Феоктистова Ю. А. Теория и методы оценки электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств М.: Радио и связь, 1988. 4. Уайт Д. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств и непреднамеренные помехи. М.: Сов. радио, 1977. 5. Report ITU-R SM.2028-1 Monte Carlo simulation methodology for the use in sharing and compatibility studies between different radio services or systems. 6. РД 45.030-99 ОТТ на радиорелейное оборудование цифровых магистральных радиорелейных линий. 7. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств и систем / Под ред. Н. М. Царькова. М.: Радио и связь, 1986. 8. Бадалов А. Л. Нормы на параметры электромагнитной совместимости РЭС. Справочник. М.: Радио и связь, 1990.

*Харьковский национальный
университет радиотехники*

Поступила в редколлегию 17.11.2008