МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ ISSN 0485-8972

РАДИО-ТЕХНИКА

155/2008

К 621.396.677.49

Ю. Ю. КОЛЯДЕНКО, Л. А. ТОКАРЬ

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 разноса (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 разноса 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:

$$P_{\text{пр}\nu}(\Delta f_\nu / r, \theta) \le P_{\text{пр}\nu\text{доп}}, \qquad (1)$$

где $P_{ijv}(\Delta f_v / r, \theta)$ – мощность НРП от передатчика j-го РЭС, приведенная ко входу приемника i-го РЭС, *дБ/Вт*; $P_{ijvдоп}$ – 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 и вариантов взаимной ориентации их ДНА θ позволяет получить нормы ЧТР РЭС в виде зависимостей необходимого частотного разноса Δf_v от r и θ.

Нормы ЧТР РЭС рассчитаны в следующем порядке:

1. Проведен расчет норм территориального разноса 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:

$$R_m = \sqrt{(R_0 + r\cos\theta)^2 + r^2\sin^2\theta + (h_{пр} - h_{пер})^2},$$

где R_0 – расстояние между центром города, в котором расположена группировка ССПС и приемником РЭС; $h_{пр}, h_{пер}$ – 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 соответствующих 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]:

$$P_{ijv} = S_0\mu \int_{F_1}^{F_2} S(f, f_1) K(f, f_2)\, G_1(\alpha_1, \beta_1, f)\eta_1(f) G_2(\alpha_2, \beta_2, f)\eta_2(f) V(R, f) df,$$

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

$$S_0 = P_p / \int_{F_1}^{F_2} S(f, f_1) df.$$

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*) $[S(f_1, f_1) = 1, S(f, f_1) < 1 \text{ при } f \neq f_1]$;

– 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*) $[K(f_2, f_2) = 1, K(f, f_2) < 1 \text{ при } f \neq f_2]$;

– 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 дующих параметрах: высотах фазовых центров антенн и характеристиках среды распро-ранения радиоволн;

- поляризации сигналов БС и РЭС воздушной радионавигации приняты совпадающими.

Формула (4) определяет зависимость искомой мощности P_{ijv} от всех факторов, учет ко-рых предусмотрен постановкой задачи.

3. Для заданного расстояния между РЭС рассчитано превышение P_{ijv} мощности НРП над пустимым уровнем $P_{ijvдоп}$:

$$\Delta P_{ijv} = P_{ijv} - P_{ijvдоп}. \quad (5)$$

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

$$P_{доп} = P_{ic} / K_{защ}, \quad (6)$$

де P_{ic} – средняя мощность полезного сигнала на входе приемного устройства РЭС, *Вт*; $K_{защ}$ – коэффициент защитного отношения.

Электромагнитная совместимость РЭС считается обеспеченной, если приведенная ко ходу приемника РЭС воздушной радионавигации мощность НРП $P_{прij}$ не превышает допус-имую мощность НРП на входе приемника от передатчика БС группировки ССПС $P_{доп}$. При том величина, определяемая по формуле

$$\Delta P_{ij} = P_{прij} - P_{доп}, \quad (7)$$

арактеризует степень запаса обеспечения ЭМС.

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

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

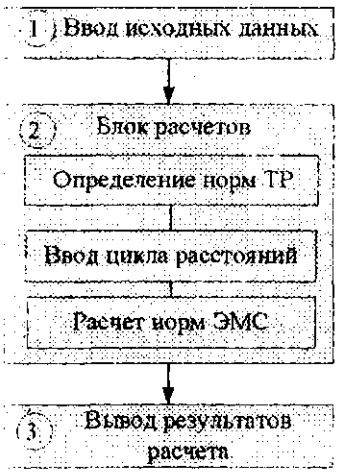

Рис. 1

Ввод начальных данных выполняется с помощью файлов данных.

Начальными данными передатчика для проведения расчетов являются: количество пере-датчиков, мощность излучения, вид сигнала, коэффициент усиления антенны в направлении главного и бокового лепестка, вид поляризации и высота фазового центра антенны, относи-тельный 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 проницательности 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 разноса от расстояния.

Результаты расчета необходимого частотного разноса 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.

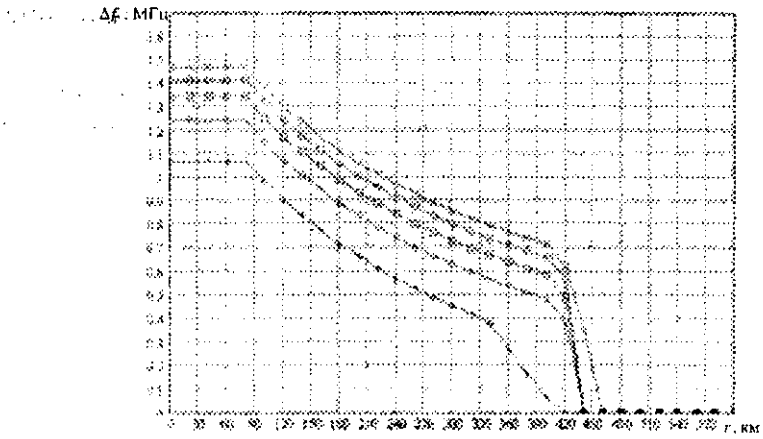

Рис. 2

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 разноса. При использовании четырех каналов необходимым частотным разносом 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 разносе 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 разноса при парной оценке ЭМС между передатчиками БС стандарта GSM-900 и приемником ГК РСБН-6С (режим "Посадка") показаны на рис. 3: один канал; – группа из двух каналов; – группа из трех каналов; – группа из четырех каналов.

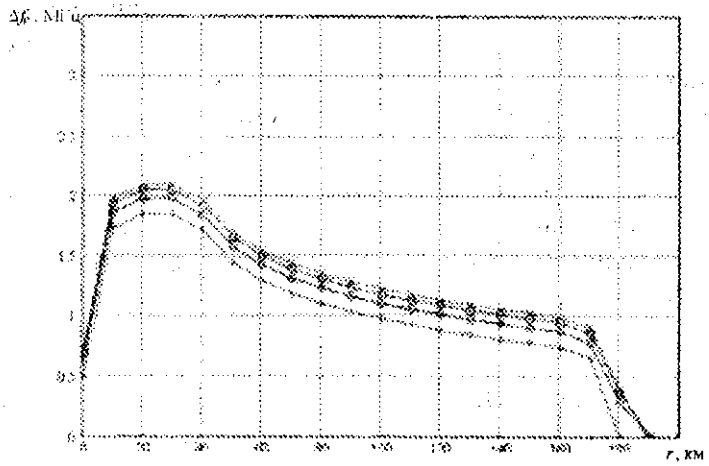

Рис. 3

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 разносе.

Результаты расчета необходимого частотного разноса при групповой оценке ЭМС между передатчиками БС стандарта GSM-900 и приемником ДК РСБН-6С (режим "Навигация") показаны на рис. 4: – один канал; – группа из двух каналов; – группа из трех каналов; – группа из четырех каналов; – группа из пяти и больше каналов.

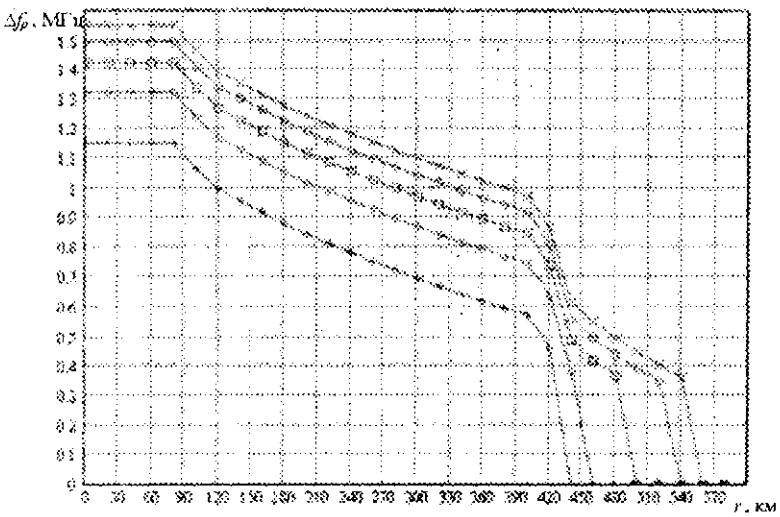

Рис. 4

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

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

Заключение

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

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

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

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

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

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

Список литературы: 1. *Коляденко Ю. Ю., Токарь Л. А.* Методика учета групповых воздействий в д пазонах GSM- и DCS-стандартов // Радиотехника: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2007. Вып. 151. С. 16 170. 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. Теория и методы оценки электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств М.: Радио связь, 1988. 4. *Уайт Д.* Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств и непреднамер ные помехи. М.: Сов. радио, 1977. 5. *Report* ITU-R SM.2028-1 Monte Carlo simulation methodology for use in sharing and compatibility studies between different radio services or systems. 6. *РД* 45.030-99 *ОТТ* радиорелейное оборудование цифровых магистральных радиорелейных линий. 7. *Электромагнит* совместимость радиоэлектронных средств и систем / Под ред. Н. М. Царькова. М.: Радио и связь, 19 8. *Бадалов А. Л.* Нормы на параметры электромагнитной совместимости РЭС. Справочник. М.: Радио связь, 1990.

Харьковский национальный
университет радиоэлектроники

Поступила в редколлегию 17.11.20