

**МЕТОДИКА УЧЕТА ГРУППОВЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ
В ДИАПАЗОНАХ GSM- и DCS-СТАНДАРТОВ****Постановка задачи**

Развитие сотовых систем связи (ССС) осуществляется за счет все большего освоения новых диапазонов частот, ранее относящихся к военному ведомству. При совместном использовании частотных диапазонов сотовыми системами и военными средствами радиорелейной связи (РРС) (Р-409, Р-419, Р-404, Р-414), а также средствами авиационной связи (САС) (ПРМГ, РСБН, КВП РСБН, РСБН-А, ДРЛ, РЛС), как правило, учитываются влияния частот базовых станций ССС на военные средства. Для этого используется методика оценки условий электромагнитной совместимости (ЭМС), основанная на рассмотрении дуэльной ситуации, когда позиции базовых станций и станций военной связи четко и однозначно определены.

Вместе с тем, практика показывает, что заметную роль играет электромагнитная обстановка (ЭМО), создаваемая множеством подвижных средств ССС, носимых и возимых. Необходимость учета этой ЭМО наталкивается на трудности определения соответствующих параметров подвижной группировки. Очевидно, что такой учет возможен только на основе вероятностного подхода, который принципиально отличается от традиционного детерминистского подхода, используемого при дуэльном взаимодействии.

Для решения такой задачи нами разработана методика анализа ЭМС группировок РЭС различного назначения. Методика позволяет учитывать групповые взаимодействия и случайные расположения РЭС в пространстве и динамику структур ССС в различных ситуациях. Основными этапами разработанной методики анализа ЭМС группировок РЭС являются:

- 1) подготовка исходных данных для моделирования электромагнитной обстановки в группировках систем подвижной связи;
- 2) формирование модели группировок радиоэлектронных средств;
- 3) оценка сигнально-помеховой обстановки (СПО) в группировках;
- 4) прогнозирование взаимодействия группировок в динамике;
- 5) оценка электромагнитной обстановки и электромагнитной совместимости группировок РЭС СПС.

Укрупненная блок-схема алгоритма проведения анализа ЭМС группировок ССС представлена на рис. 1.

Основная часть

Подготовка исходных данных для моделирования электромагнитных взаимодействий систем подвижной связи. Для моделирования и анализа электромагнитной совместимости систем подвижной связи (СПС) вначале вводятся необходимые параметры (блок 1). Оценка ЭМС начинается с анализа предварительных характеристик сетей, необходимых для проведения оценки. Для моделирования и анализа ЭМС СПС необходимо определить:

- 1) размеры, исследуемой зоны X, Y, Z ;
- 2) тип исследуемой зоны (помещение, здание, город, пригород, сельская местность);
- 3) количество сетей N_c или отдельных РЭС $N_{РЭС}$ в исследуемой зоне;
- 4) присвоить номер n_i каждой сети;
- 5) количество стен между сетями $N_{ст}$ (при анализе ЭМС в здании);
- 6) количество межэтажных перекрытий между сетями N_p (при анализе ЭМС в здании).

Для каждой сети необходимо задать следующие данные.

Тип сети (ССС – сотовые системы связи, САРД – системы абонентского радиодоступа, ССПС – системы спутниковой подвижной связи), или РЭС (например, РРС или САС).

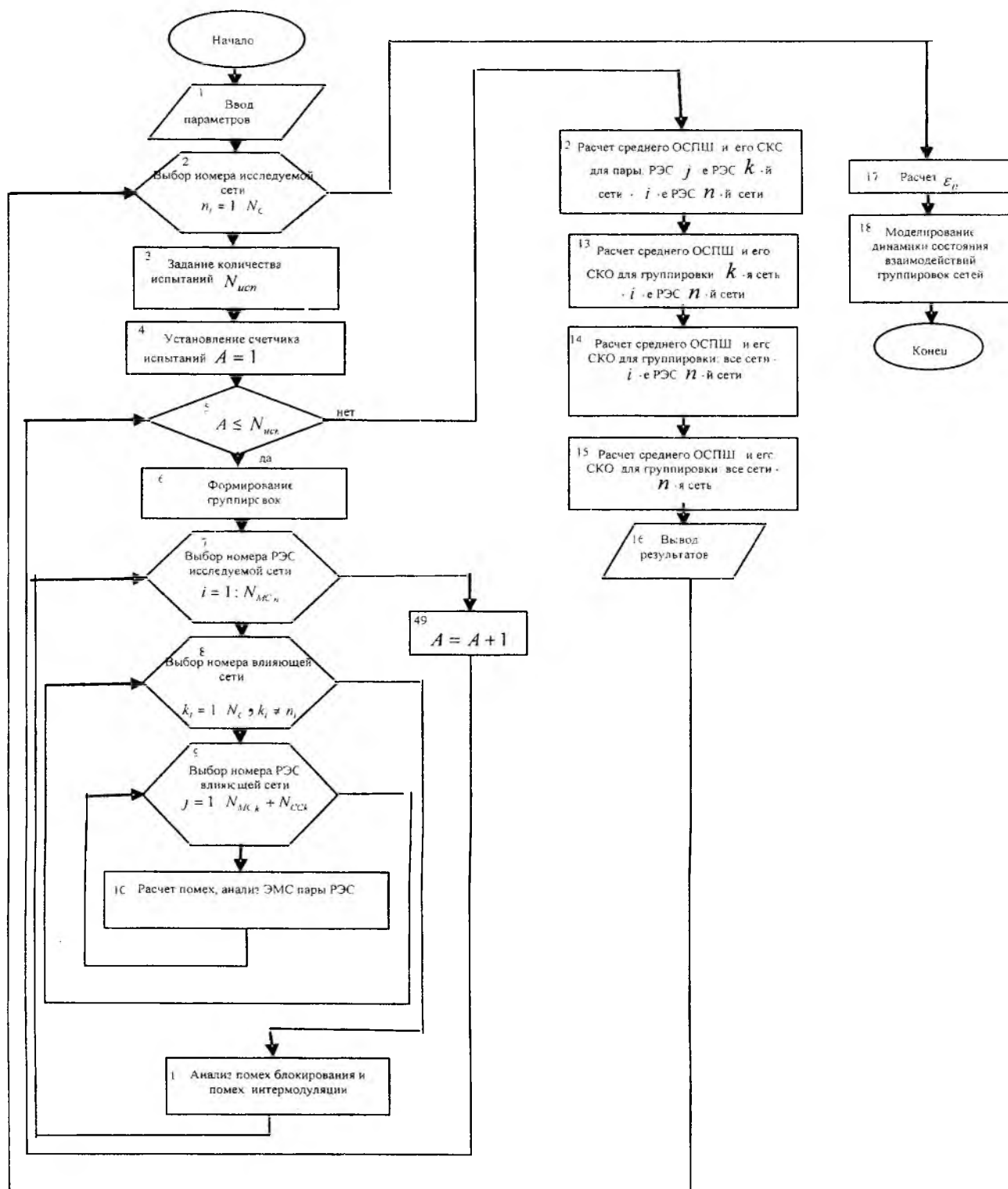


Рис. 1

Количество стационарных станций (СС) СПС $N_{СС}$. Ими могут выступать базовые станции (БС), точки доступа (ТД), РРС и т.д.

Данные о СС СПС:

- координаты на плоскости $x \in X, y \in Y$;
- высоты антенн $h_i = z \in Z$;
- радиус действия R_d СС;
- количество приемо-передатчиков, установленных на СС $N_{пт}$;

- выделенный диапазон частот на прием $f_{\min \text{ пр}}, f_{\max \text{ пр}}$;
- выделенный диапазон частот на передачу $f_{\min \text{ пер}}, f_{\max \text{ пер}}$;
- канальный разнос Δf_k .
- дуплексный разнос Δf_d

Данные о мобильных станциях (МС) СПС:

- количество МС $N_{\text{МС}}$ в зоне действия каждой СС сети;
- закон распределения координат размещения МС $p(g)$.

5) Технические характеристики РЭС, необходимые для проведения оценки.

Характеристики приемников РЭС:

- рабочая частота, $f_{\text{ОР}}$;
- избирательность приемника по соседнему каналу, $S_{\text{СК}}, \text{дБ}$;
- избирательность приемника по зеркальному каналу, $S_{\text{ЗК}}, \text{дБ}$;
- избирательность приемника по другим побочным каналам приема, $S_{\text{ПКП}}, \text{дБ}$;
- признак настройки гетеродина приемника, ξ ,
- значение промежуточной частоты, $f_{\text{ПЧ}}, \text{МГц}$;
- чувствительность приемника P_{SR} ;
- значения побочных каналов приема $f_{\text{п.пр}}$;
- полоса пропускания приемника $\Delta f_{\text{пр}}$ на уровнях 3, 30 и 60 дБ;
- коэффициент усиления антенны в направлении главного и бокового лепестков $G_{\text{пр}}$;
- коэффициент полезного действия приемного фидера $\eta_{\text{пр}}$;
- относительный уровень побочных каналов приема $W_{\text{РЭС}}^{(3)}$;
- поляризация;
- вид нелинейности приемного тракта, задание известных параметров:
- коэффициенты нелинейности a_i ;
- интермодуляционная избирательность $\sigma_{\text{ИМ}}$;
- допустимое значение коэффициента перекрестных искажений $k_{\text{пч.доп}}$;
- защитное отношение A_3 ;
- эквивалентная шумовая температура приемника T_3 ;

Характеристики передатчиков РЭС:

- при наличии системы управления выходной мощностью:
- минимальная выходная мощность $P_{\text{пер min}}$;
- максимальная выходная мощность $P_{\text{пер max}}$;
- при отсутствии системы управления выходной мощностью:
- выходная мощность $P_{\text{пер}}$;
- коэффициент полезного действия передающего фидера $\eta_{\text{пер}}$;
- коэффициент усиления антенны в направлении главного и бокового лепестков $G_{\text{пер}}$;
- признаки вида сигнала;
- полоса частот излучения на уровнях $\Delta f_{\text{пер}}$ 3, 30 и 60 дБ;
- поляризация;
- относительный уровень побочного излучения $W_{\text{РЭС}}^{(2)}$;
- значения побочных каналов передачи $f_{\text{п.пер}}$.

После ввода параметров выбирается номер исследуемой сети (блок 2). При этом под исследуемой сетью понимают сеть, подверженную влиянию. Все остальные сети являются влияющими.

Для формирования группировок РЭС в данной методике используется модель случайного размещения МС с привлечением метода Монте-Карло. Эта модель и сам подход к моделированию описан ниже. Для моделирования случайного размещения МС в соответствии с методом Монте-Карло необходимо задать количество испытаний $N_{\text{исп}}$ (блок 3).

Формирование группировок радиоэлектронных средств в исследуемом пространстве.

Для создания методики учета ЭМО, создаваемой подвижной группировкой, необходимо построить математическую модель размещения этой группировки. Рассмотрим такую модель.

В качестве модели размещения РЭС СПС в пространстве [1-5] предложено использовать метод Монте-Карло. Идея метода Монте-Карло состоит в следующем: производится “розыгрыш” – моделирование случайного явления с помощью некоторой процедуры, дающей случайный результат [6]. Конкретное осуществление процесса складывается каждый раз по-иному. Произведя такой “розыгрыш” большое число раз, получим статистический материал – множество реализаций случайного явления, который можно обрабатывать методами математической статистики.

Суть данной задачи состоит в том, чтобы в области ограниченной территории N выбрать случайно распределенные излучающие элементы с плотность распределения $p(N, k)$, где k – количество РЭС.

Моделирование случайного размещения РЭС целесообразно осуществлять путем генерирования координат РЭС x, y, z с различными законами распределения. Наиболее возможными законами распределения являются:

- равномерное распределение с плотностью распределения

$$p(\chi) = \frac{1}{b-a}, \chi \in (a, b), \quad (1)$$

где a и b – пределы изменения случайной величины; χ – координаты x, y, z ;

- нормальное распределение с плотностью распределения

$$p(\chi) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\chi-m)^2}{2\sigma^2}}, \chi \in (-\infty, \infty), \quad (2)$$

где m и σ математическое ожидание, и среднеквадратическое отклонение соответственно;

- комбинации распределений.

На рис. 2 показан пример возможной комбинации размещения МС в пределах зон обслуживания 4-х БС.

Взаимные расстояния взаимодействующих РЭС рассчитываются согласно выражению

$$d_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2 + (z_i - z_j)^2}, \quad (3)$$

где d_{ij} – расстояние от i -го элемента до ji -го элемента.

Для оценки СПО формируются модель группировки РЭС (блок 6). Блок-схема алгоритма формирования группировок ССС приведена на рис. 3.

Группировка РЭС формируется в пределах территориальной зоны с радиусом d_0 и центром в точке расположения исследуемой сети. Расстояние d_0 рассчитывается исходя из того, чтобы уровень помехи на входе любого приемника исследуемой сети не превышал чувствительности наиболее чувствительного приемника. Расстояние d_0 определяется по кривым из рекомендации ITU-R P 370-7. Минимальное расстояние d_0 можно рассчитать, положив мощность передатчика как максимальную мощность из множества влияющих БС $P_{\text{пер}} = \max(P_{\text{пер } i})$ и учитывать только потери этого мешающего сигнала в свободном пространстве:

$$d_0 = \frac{10^{0,05(P_{\text{пер}} - P_{\text{пр min}})} \lambda}{4\pi} \quad (3)$$

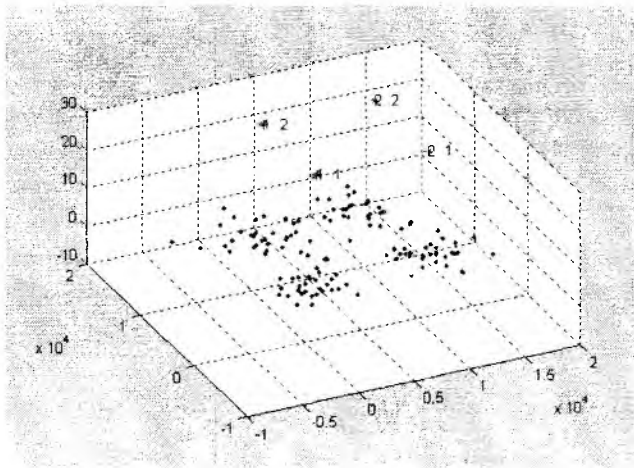


Рис. 2



Рис. 3

Для каждой сети в зоне обслуживания БС, попавшей в пределы территориальной зоны с радиусом d_0 , производится размещение МС с заявленным законом распределения, формируются координаты размещения x_i, y_i, z_i . По координатам размещения рассчитываются все взаимные расстояния d_{nikj} между i -м РЭС n -й сети и j -м РЭС k -й сети.

Чтобы удостовериться в том, что условия ЭМС будут выполняться, необходимо в каждом конкретном случае присвоения рабочих частот РЭС производить расчет, учитывающий все РЭС, работающие в этом районе.

Для каждой из сетей распределяется частотный ресурс между МС из выделенного (заявленного) частотного диапазона БС с учетом канального разноса.

Если в СПС предусмотрена процедура управления мощностью, то производится расчет выходной мощности МС. В реальных СПС выбор мощности осуществляется исходя из соотношения сигнал/шум. На соотношение сигнал/шум влияют многие факторы: различного рода затухания сигналов, замирания сигнала при многолучевом распространении, интерференция, расстояния между МС и СС и т.д. При моделировании взаимодействий, в частности при формировании группировок РЭС ССС, учесть все факторы невозможно в силу того, что сама СПО в группировке еще не сформирована. В данном случае при назначении выходной мощности МС можно оперировать значениями расстояний и выбранным типом исследуемой зоны.

Тогда значение выходной мощности МС можно вычислить с помощью выражения

$$P_{\text{пер}} = P_{\text{пр тр}} + W_{\text{ср}}, \quad (4)$$

где $P_{\text{пр тр}}$ – требуемое значение принимаемой мощности БС; $W_{\text{ср}}$ – затухание сигнала в среде распространения.

При получении значения $P_{\text{пер}}$ больше допустимого (максимального) значения мощности передачи, то $P_{\text{пер}}$ принимает значение $P_{\text{пер max}}$. При получении значения $P_{\text{пер}}$ меньше допустимого (минимального) значения мощности передачи принимается значение $P_{\text{пер min}}$.

Методика оценки сигнально-помеховой обстановки

Для оценки СПО вначале из сформированной группировки СПС выбирается сеть, подверженная влиянию, и номер РЭС (приемника) исследуемой (подверженной влиянию) сети

(блок 7) и рассчитывается мощность полезного сигнала на входе приемника этого РЭС. После этого выбирается номер влияющей сети (блок 8) и выбор номера РЭС (передатчика) влияющей сети (блок 9). Для выбранной пары РЭС производится расчет помех, анализ ЭМС пары РЭС (блок 10). Данный анализ является стандартным расчетом ЭМС в дуэльной обстановке и предполагает рассмотрение четырех типов каналов проникновения помех:

- ОО – от основного излучения передатчика по основному каналу приема;
- ОП – от основного излучения передатчика по побочному каналу приема;
- ПО – от побочного излучения передатчика по основному каналу приема;
- ПП – от побочного излучения передатчика по побочному каналу приема.

При расчете мощностей сигналов и помех используется модель распространения сигналов в радиолиниях, основанная на уравнении передачи:

$$P_{\text{пр}} = P_{\text{пер}} + G_{\text{пер}} + G_{\text{пр}} - \eta_{\text{пер}} - \eta_{\text{пр}} - W, \quad (5)$$

где $P_{\text{пр}}$ – мощность принимаемого сигнала (дБ); $P_{\text{пер}}$ – мощность передатчика; $G_{\text{пер}}, G_{\text{пр}}$ – соответственно: коэффициенты усиления передающей и приемной антенн; $\eta_{\text{пр}}, \eta_{\text{пер}}$ – коэффициенты полезного действия приемного и передающего фидеров; W – потери (ослабление) сигнала (дБ).

В общем виде ослабление сигнала (помехи) W определяются выражением

$$W = W_{\text{РЭС}} + W_{\text{ср}}, \quad (6)$$

где $W_{\text{РЭС}}$ – ослабление помехи, определяемое характеристиками РЭС. При расчете ослабления полезного сигнала можно считать $W_{\text{РЭС}} = 0$; $W_{\text{ср}}$ – ослабление сигнала (помехи), определяемое условиями среды распространения радиоволн.

Параметр ослабления энергии помехи $W_{\text{РЭС}}$ определяется следующими составляющими, дБ:

$$W_{\text{РЭС}} = W_{\text{РЭС}}^{(1)}(\Delta f) + W_{\text{РЭС}}^{(2)} + W_{\text{РЭС}}^{(3)} + W_{\text{РЭС}}^{(4)} + W_{\text{РЭС}}^{(5)}, \quad (7)$$

где $W_{\text{РЭС}}^{(1)}(\Delta f)$ – ослабление помехи, определяемое избирательностью приемника по основному каналу $S_{\text{пр}}(\Delta f)$, шириной спектра основного и внеполосного излучения передатчика и частотным разнесом между каналами излучения и приема, дБ; $W_{\text{РЭС}}^{(2)}$ – ослабление помехи за счет побочного излучения. Значения $W_{\text{РЭС}}^{(2)}$ определяются в результате проведения эксперимента. При отсутствии экспериментальных данных по значениям плотностей потоков мощности ослабление сигнала за счет побочного излучения принимается равным относительному уровню боковых излучений. Уровень боковых излучений определяется коэффициентом подавления по боковым излучениям. Для СПС он обычно составляет 60 дБ; $W_{\text{РЭС}}^{(3)}$ – ослабление помехи за счет приема по побочным каналам определяется избирательностью приемника по побочным каналам приема; $W_{\text{РЭС}}^{(4)}$ – ослабление помехи при полных частотных несовпадениях помехи с основным и побочными каналами приема. При этом помеха является продуктом нелинейностей радиоприемного тракта; $W_{\text{РЭС}}^{(5)}$ – ослабление помехи, вызванное различием в поляризации возбуждающего поля и антенны приемника, определяется соотношением

$$W_{\text{РЭС}}^{(5)} = 10 \cdot \lg(\gamma_{ij}), \quad (8)$$

где γ_{ij} – поправочный коэффициент, который учитывает расхождения поляризаций полезной радиоволны i -го РЭС с радиоволной помехи j -го РЭС.

Модели ослабления на трассе распространения радиоволн выбираются, исходя из обстановки, в которой используется СПС. Модели ослабления сигнала в пределах здания учитывают дополнительные ослабления, вызванные влиянием стен и перекрытий этажей, модели дополнительных потерь энергии сигнала при заполнении пространства различными предметами, модели медленных и быстрых замираний. Модели ослабления сигнала при его

распространении в открытом пространстве, в городской среде, в сельской местности основаны на эмпирических моделях Хата.

После расчета мощностей помех на входе i -го приемника исследуемой сети все значения мощностей помех суммируются.

После того как все влияющие сети учтены и проанализированы, анализируются помехи блокирования и помехи интермодуляции из общей группировки (блок 11).

После завершения всех испытаний по исследуемой сети обрабатываются статистические данные. Производится расчет среднего отношения сигнал/помеха+шум (ОСПШ) m_{nik} и СКО ОСПШ σ_{nik} для группировки всей сети [7], а также вывод результатов анализа (блоки 12-16).

Заключительным этапом анализа ЭМС группировок СПС является прогнозирование их взаимодействия в динамике. Для данного вида анализа используется модель взаимодействия и фазовых состояний [8]. Интенсивности взаимодействий ε оцениваются по отношению допустимого ОСПШ к разности между средним ОСПШ и его СКО (блок 17), полученным на заключительном этапе обработка статистических данных для каждой из исследуемых сетей (блок 18).

Заключение

Разработана методика учета групповых воздействий в диапазонах GSM- и DCS-стандартов. В отличие от существующих методик анализа ЭМС РЭС, разработанных в основном для стационарных систем радиосвязи в дуэльной обстановке, данная методика основана на комплексной оценке СПО, базируется на выборе показателей оценки ЭМС, учитывающих требования по качеству обслуживания, адекватных моделях, учитывающих множественные взаимодействия сетевых элементов, и динамику групповых взаимодействий.

Список литературы: 1. Коляденко Ю. Ю., Москалец Н. В. Анализ электромагнитной совместимости группировки беспроводных локальных сетей // Радиотехника. 2005. Вып. 142. С. 135-141. 2. Коляденко Ю. Ю., Москалец Н. В. Оценка взаимных влияний в системах абонентского радиодоступа в условиях распространения радиоволн в городской среде // Східно-Європейський журнал передових технологій. 2005. №3/2 (15). С. 102-104. 3. Коляденко Ю. Ю. Модель электромагнитной обстановки в зонах размещения беспроводных локальных сетей // Прикладная радиоэлектроника. 2005. Т. 7, №7. С. 25-29. 4. Коляденко Ю. Ю. Математическая модель взаимодействия элементов системы абонентского радиодоступа // Праці УНДІРТ. Теоретичний та науково-практичний журнал радіозв'язку, радіомовлення і телебачення. 2004. №1 (37). С. 31-35. 5. Коляденко Ю. Ю., Москалец Н. В., Корсак В. Ф. Анализ эффективности по критерию электромагнитной совместимости системы абонентского радиодоступа // Праці УНДІРТ, Теоретичний та науково-практичний журнал радіозв'язку, радіомовлення і телебачення. 2004. №4 (40). С. 53-58. 6. Венцель Е. С., Овчаров Л. А. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения. М.: Наука. Гл. ред. физ. мат. лит., 1991. 384 с. 7. Коляденко Ю. Ю., Москалец Н. В. Критерии оценки электромагнитной совместимости в системах абонентского радиодоступа // Східно-Європейський журнал передових технологій. 2005. № 5/2 (17) С. 133-137. 8. Коляденко Ю. Ю. Анализ взаимодействия и фазовые состояния группировки радиоэлектронных средств систем абонентского радиодоступа // Прикладная радиоэлектроника. 2004. Т.3, №3. С. 37-42.

Харьковский национальный
университет радиоэлектроники

Поступила в редколлегию 07.09.2007