



Державний університет
інформаційно-комунікаційних технологій

ВІСНИК

Державного університету
інформаційно-комунікаційних технологій

Спеціальний
випуск
2009

ISSN 1729-7583

Державна адміністрація зв'язку
Міністерства транспорту та зв'язку України

Державний університет інформаційно-комунікаційних технологій

ВІСНИК

Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій

**Спеціальний випуск
2009**



Україна, 03110, Київ,
вул. Солом'янська, 7

тел. 380 (44) 248-86-01, 380 (44) 248-85-84
E-mail: nauka@duikt.edu.ua

**Засновник: Державний університет інформаційно-комунікаційних технологій
Журнал зареєстрований в Державному комітеті інформаційної політики,
телебачення та радіомовлення України 04.01.2003 р.
Свідоцтво КВ № 6846**

*Постановою президії ВАК України від 30 червня 2004 р. №3-05/7 журнал включено
до Переліку № 14 наукових фахових видань України,
в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт
на здобуття наукових ступенів доктора та кандидата наук в галузі технічних наук
(бюлетень ВАК України, № 8, 2004).*

Редакційна колегія:

Головний редактор – В.Г.КРИВУЦА
Заступник головного редактора – О.В. ДРОБИК
Відповідальний секретар – Н.І.КУНАХ

Члени редакційної колегії:

М.Ю.Артеменко, В.В.Барковський, Л.Н.Беркман, О.І.Власенко, В.І.Гостєв, В.С.Дем'янчук,
М.А.Дудченко, В.М.Загорулько, В.Г.Коба, Г.Ф.Конахович, Б.Я.Костік, В.Ф.Мачулін,
О.Я.Савченко, Г.О.Сукач, В.С.Смирнов, В.О.Хорошко, Г.Є.Чайка, В.І.Щелкунов, Г.М.Юн,
Ф.Й.Яновський.

*Рекомендовано до друку Вченою радою Державного університету інформаційно-
комунікаційних технологій (протокол №9 від 28 травня 2009 р.).*

Адреса редакції:

Україна, 03110, Київ, вул.Солом'янська, 7,
Державний університет інформаційно-комунікаційних технологій,
редакція журналу "Вісник Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій"
Тел. 380 (44) 248 86 01, 380 (44) 248 85 84

Видавництво ДУІКТ
03110, Київ, вул. Солом'янська, 7.
Надруковано видавництвом ДУІКТ
03110, Київ, вул. Солом'янська, 7.
Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до Державного реєстру
Серія ДК №2539 від 26.06.2006 р.

Зміст

<i>Кривуца В.Г., Беркман Л.Н., Колобов С.О.</i> МЕТОДИ ОПТИМІЗАЦІЇ БАГАТОВИМІРНИХ МЕРЕЖ.....	7
<i>Єщенко П.С., Коверник С.П.</i> НОВІ ПІДХОДИ ДО ВИЗНАЧЕННЯ ПЛАНОВОЇ РЕНТАБЕЛЬНОСТІ ПРИ ФОРМУВАННІ ТАРИФІВ НА ЗАГАЛЬНОДОСТУПНІ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ ПОСЛУГИ.....	13
<i>Вознюк В.І., Гридасов О.М., Свиридов Є.О.</i> СТАНДАРТИЗАЦІЯ ВИМОГ ЩОДО ЯКОСТІ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ ПОСЛУГ В УКРАЇНІ.....	15
<i>Воробієнко П.П., Гуляев К.Д., Зайцев Д.А.</i> СОВМЕСТНАЯ РАБОТА СТЕКА ПРОТОКОЛОВ Е6 С ДРУГИМИ СЕТЕВЫМИ ТЕХНОЛОГИЯМИ.....	18
<i>Олійник Д.І.</i> КОНЦЕПТУАЛЬНІ ПІДХОДИ ЩОДО КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ ПОСЛУГ ТА МЕРЕЖ.....	24
<i>Танащук К.О.</i> СКЛАДОВІ ЕКОНОМІЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ СФЕРИ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ УКРАЇНИ.....	27
<i>Балашов В.А., Балашова А.В., Ефремов В.П., Ляховецкий Л.М.</i> СОСТОЯНИЕ И ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ШИРОКОПОЛОСНОГО ДОСТУПА К ИНТЕРНЕТ.....	32
<i>Сазонова С.В.</i> ПРОЦЕСНО-ОРІЄНТОВНЕ УПРАВЛІННЯ ВИТРАТАМИ ВИРОБНИЧОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ПІДПРИЄМСТВ ГАЛУЗІ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ.....	37
<i>Гилка У.Л.</i> ОБМЕЖЕННЯ В ЗАСТОСУВАННІ ФІНАНСОВОГО АНАЛІЗУ НА ПІДПРИЄМСТВАХ ЗВ'ЯЗКУ.....	40
<i>Єщенко П.С.</i> ПРИНЦИПЫ РАЗДЕЛЬНОГО УЧЕТА ЗАТРАТ В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЯХ.....	46
<i>Єщенко П.С., Охрущак К.О.</i> АНАЛІЗ ПЕРСПЕКТИВ РОЗВИТКУ МЕТОДУ ОБЛІКУ ВИТРАТ ЗА ВИДАМИ ДІЯЛЬНОСТІ (АВ-COSTING).....	50
<i>Поповский В.В., Коляденко Ю.Ю., Ахмед Джамиль Муслим</i> МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ В ГРУППИРОВКАХ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ.....	55

<i>Поповский В.В., Коляденко Ю.Ю., Токарь Л.А.</i> МЕТОДИКА АНАЛИЗА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ В ГРУППИРОВКАХ СИСТЕМ ПОДВИЖНОЙ СВЯЗИ.....	64
<i>Поповский В.В., Коляденко Ю.Ю., Галуненко Е. В.</i> МЕТОДЫ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОГО ДОСТУПА В ЗАДАЧАХ ПОВЫШЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ СИСТЕМ ПОДВИЖНОЙ СВЯЗИ.....	75
<i>Пащук В.П., Афонін С.В.</i> АКТУАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ НОМЕРНОГО РЕСУРСУ ТМЗК УКРАЇНИ.....	83
<i>Гресько В.П., Павленко О.М., Сандул В.С.</i> НАПРЯМКИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВЗАЄМОЗ'ЄДНАННЯ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ ОПЕРАТОРІВ.....	86
<i>Балькін Г.Ф., Заплотинський Б.А.</i> УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ ПОСЛУГ У ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЯХ ШЛЯХОМ РЕГУЛЮВАННЯ НЕТЕХНІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ЯКОСТІ.....	90
<i>Мирний С.В., Братіца М.С., Свиридов Є.О.</i> КОНЦЕПТУАЛЬНІ ПІДХОДИ ДО СТВОРЕННЯ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ ПОСЛУГ В УКРАЇНІ.....	94
<i>Каптур В.А.</i> КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ ПОСЛУГ ЧЕРЕЗ СТВОРЕННЯ ЄДИНОЇ СИСТЕМИ ФІКСАЦІЇ СКАРГ АБОНЕНТІВ.....	97
<i>Укк В.К.</i> К ВОПРОСУ КОНТРОЛЯ ЗАЩИТЫ СООРУЖЕНИЙ СВЯЗИ ОТ ВЛИЯНИЯ ТЯГОВОЙ СЕТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА.....	101
<i>Гребенніков В.О.</i> КОНВЕРГЕНЦІЯ ФІКСОВАНИХ ТА МОБІЛЬНИХ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ: ПРОБЛЕМИ ТА ШЛЯХИ ЇХ РОЗВ'ЯЗАННЯ.....	104
<i>Лебедев Ю.В.</i> МЕТОДИ ТЕХНІЧНОГО КОНТРОЛЮ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ ПОСЛУГ ПРИ ЗДІЙСНЕННІ ЗАХОДІВ ДЕРЖАВНОГО НАГЛЯДУ ЗА РИНКОМ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ.....	107
<i>Гресько Ю.В., Коваль В.В., Петрусенко К.А.</i> ЕКВІВАЛЕНТНЕ СПРОЩЕННЯ ДО ДІАГОНАЛЬНИХ ФОРМ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ВЕДЕНИХ ПРИСТРОЇВ СИНХРОНІЗАЦІЇ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ	108
<i>Овчаренко О.М., Сафонов В.Р.</i> ВИКОРИСТАННЯ В УКРАЇНІ НОВІТНІХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ІНТЕРНЕТУ ПІД ЧАС СВІТОВОЇ ФІНАНСОВОЇ КРИЗИ.....	117

МЕТОДИКА АНАЛИЗА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ В ГРУППИРОВКАХ СИСТЕМ ПОДВИЖНОЙ СВЯЗИ

В.В. Поповский, Ю.Ю. Коляденко, Л.А. Токарь

*Харьковский национальный университет радиоэлектроники
Просп. Ленина, 14, Харьков, 61166, Украина*

Введение

Разработано много методов, методик, теоретических обоснований, направленных на улучшение электромагнитной обстановки (ЭМО) в радиолиниях, решение проблемы обеспечения электромагнитной совместимости (ЭМС) [1]. Можно считать, что в стационарных условиях, особенно при дуэльном рассмотрении (передатчик - приемник) задачи ЭМС практически разрешимы. Ситуацию и саму ЭМО сильно усложняет тот факт, что в эту обстановку вносятся различные, часто случайные факторы, носящие трудно прогнозируемый характер. В этих условиях рассчитать заранее ЭМО и решить задачу ЭМС с достаточной точностью не всегда удается, а часто просто невозможно из-за априорной неопределенности.

С появлением систем подвижной связи (СПС) сигнально-помеховая обстановка (СПО) в диапазонах метровых и дециметровых волн стала резко усложняться [2]. Все возрастающее количество радиоэлектронных средств (РЭС) различного назначения приводит к образованию множественного характера электромагнитных взаимодействий между ними. При этом к СПС относятся не только ставшие уже традиционными системы сотовой связи, но и системы транкинговой, пейджинговой связи, системы абонентского радиодоступа (САРД). При этом САРД интенсивно развиваются, особенно в технологиях Wi-Fi и Wi-Max. Продолжают развиваться также системы радиорелейной, спутниковой и других видов радиосвязи. С принятием глобальной концепции фиксировано-мобильных систем (FMS – Fixed Mobile systems) существенно упрощается доступ к сети и коренным образом изменяются наши представления об информационном обмене. Одновременно с этим еще более принципиальным становится дефицит частотного ресурса, обостряется проблема ЭМС.

Все это: количественный рост числа РЭС, их случайное позиционирование и ориентация в пространстве - не позволяет непосредственно использовать классические методы и методики анализа ЭМС в группировках СПС, которые построены, как правило, на рассмотрении дуэльных ситуаций, на предположении о стационарности пространственного расположения взаимодействующих объектов.

Характерной особенностью сетей в СПС в отличие от фиксированных элементов связи, является то, что здесь не удастся точно позиционировать сами подвижные объекты. Поэтому данные сети обладают случайной, постоянно изменяющейся структурой. Именно данное обстоятельство принципиально отличает физическую и математическую модели электромагнитных взаимодействий между объектами СПС. Иного подхода требует и построение методики анализа ЭМО в зоне деятельности этих объектов. Все это значительно усложняет задачи по улучшению этой обстановки, по обеспечению ЭМС данных систем.

1. МОДЕЛЬ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ СПС

Математическая модель электромагнитных взаимодействий группировки РЭС СПС состоит из модели размещения оборудования, расчета взаимных расстояний, расчета затуханий сигналов и помех, расчета мощностей сигналов и помех в исследуемой зоне, оценки ЭМС по выбранному критерию.

Модель размещения элементов сетей

Этап размещения сетевых элементов СПС начинается с выделения исследуемой территории с координатной сеткой с указанием размеров территории, ее масштаба и модели размещения (детерминированного или случайного) оборудования. Территория может рассматриваться в объеме или на плоскости.

Модель детерминированного размещения базовых станций (БС) или точек доступа (ТД) состоит в том, что указываются координаты их размещения, находящихся в выделенной территории (x_{ni}, y_{ni}, z_{ni}) , где x, y, z - соответственно ширина, длина, высота относительно начала координат; n - номер сети, $n = \overline{1, N}$, (N - количество рассматриваемых сетей); i - номер станции n -й сети, $i = \overline{1, m_n}$ (m_n - количество станций n -й сети). Данные координаты представляются в виде массива координат $K_{\text{коор}}$ с размерностью $(3 \times m_n \times N)$. Модель детерминированного размещения удобна, когда имеется небольшое количество оборудования, причем местоположение каждого из них определено и не изменяется. Пример такого размещения показан на рис.1. На этом рисунке местоположение оборудования представлено точкой, возле которой показаны номер n сети и номер i оборудования n -й сети.

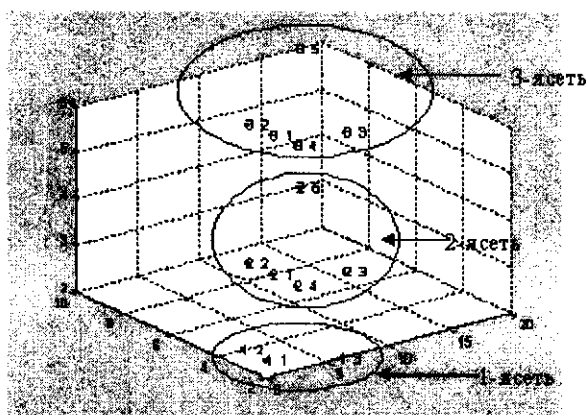


Рис. 1. Модель детерминированного размещения оборудования

В свою очередь сам абонент может отойти от БС или ТД на большое расстояние, которое уменьшит уровень полезного сигнала ниже допустимого, что также прервет связь. В конце концов, само терминальное оборудование, если рассматривается САРД, может размещаться как угодно в зависимости от конструкций здания и по другим причинам. В качестве модели случайного размещения станций нами предложено использовать модель Монте-Карло.

Идея моделирования случайных взаимодействий состоит в том [4], чтобы в области ограниченной территории M выбрать случайно распределенное терминальное оборудование с плотностью распределения $p(M, m_n)$, где m_n - количество оборудования исследуемых сетей.

Модель случайного размещения мобильных станций (МС) или абонентских терминалов (АТ) основывается на том, что при моделировании работы таких сетей необходимо учитывать случайный характер их взаимодействия. Так, к примеру, на участке радиоканала могут возникнуть разнообразные препятствия, которые приведут к потере радиоконтакта (в частности, на пути радиоволн могут оказаться различные предметы).

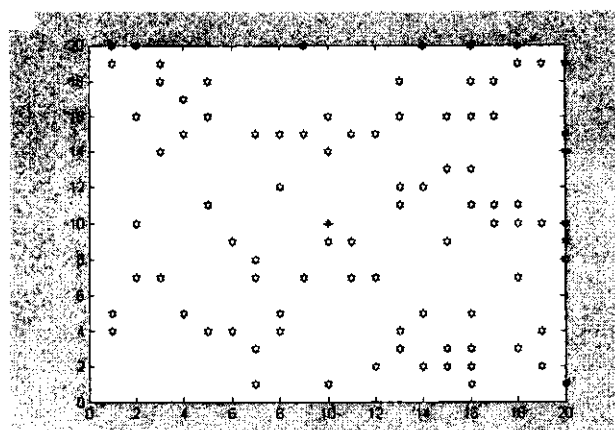


Рис. 2. Равномерное распределение АТ

На рис.2–4 приведены примеры случайного размещения оборудования: равномерное распределение (рис. 2), нормальное распределение (рис. 3) и комбинация из двух нормальных распределений (рис.4).

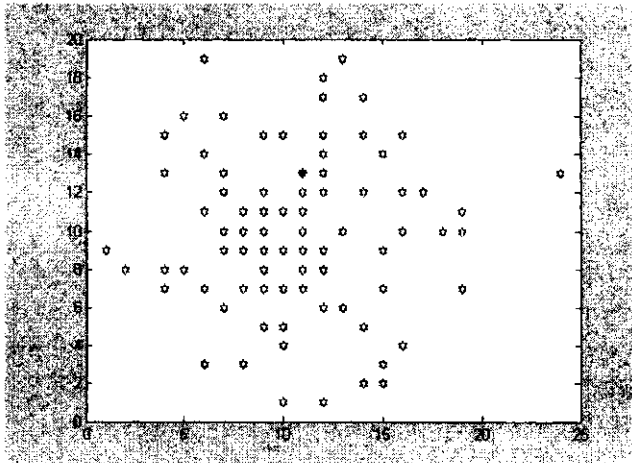


Рис. 3. Нормальное распределение АТ

Отметим, что рис.2–4 случайный характер координаты z не учитывается, в данном случае предполагается, что все оборудование находится приблизительно на одинаковой высоте. Однако при необходимости можно таким же образом моделировать случайное изменение и высоты размещения (рис.5).

Для случайного размещения оборудования необходимо сформировать массив занимаемого объема V сетей с размерностью $(3 \times 3 \times N)$, где указываются начальные координаты сети, размеры, занимаемые сетью, по всем N сетям; и сформировать массив количества оборудования сетей с размерностью $(1 \times N)$.

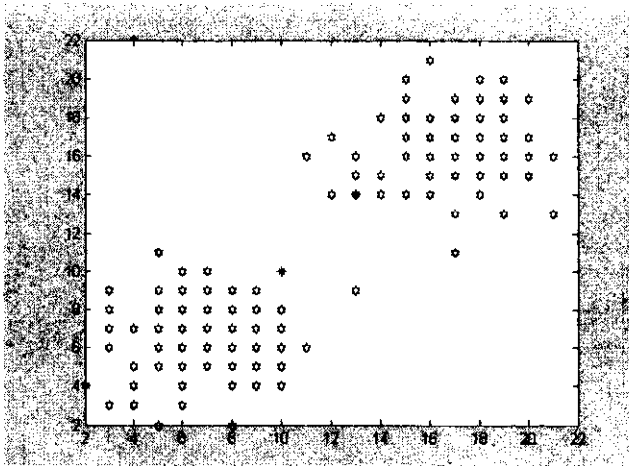


Рис. 4. Двойное нормальное распределение АТ

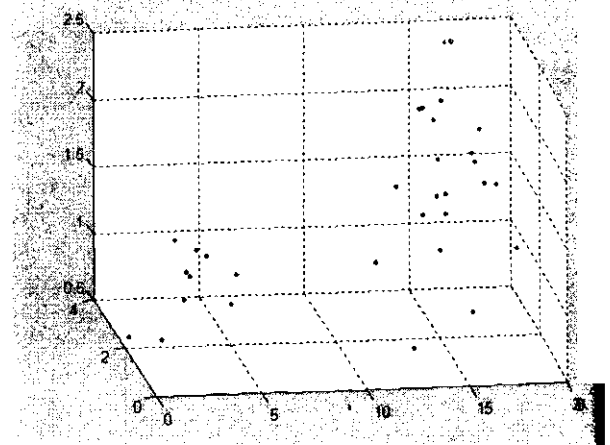


Рис. 5. Расположение РЭС в пространстве

Расчет расстояний взаимодействующих сетевых элементов

Расчет расстояний производится согласно выражению:

$$R_{nikj} = \sqrt{(x_{ni} - x_{kj})^2 + (y_{ni} - y_{kj})^2 + (z_{ni} - z_{kj})^2}, \quad (1)$$

где R_{nikj} - расстояние от i -го элемента n -й сети до j -го элемента k -й сети.

Если размещение оборудования рассматривается на плоскости, то (1) преобразуется к виду

$$R_{nikj} = \sqrt{(x_{ni} - x_{kj})^2 + (y_{ni} - y_{kj})^2}. \quad (2)$$

Расчет затухания сигнала

Для расчета затуханий сигналов и помех необходимо учесть условия распространения радиоволн. Для исследования распространения радиоволн в

помещении или здании необходимо ввести данные о конструкции здания. Ими являются:

1. Массив количества перегородок K'_{nikj} между i -м элементом n -й сети и j -м элементом k -й сети. Так, если $K'_{1234} = 2$, то это означает, что между 2-м элементом 1-й сети и 4-м элементом 3-й сети установлены две перегородки. Если каждая сеть находится только в одном помещении, то можно ограничиться указанием перегородок между отдельными группировками сетей. Тогда четырехмерный массив K'_{nikj} преобразуется в матрицу K'_{nk} .

2. Массив количества перекрытий K''_{nikj} между i -м элементом n -й сети и j -м элементом k -й сети. Так, если $K''_{1256} = 1$, то это означает, что между 2-м элементом 1-й сети и 6-м элементом 5-й сети установлено одно перекрытие.

Если отдельная сеть находится только на одном этаже, то можно ограничиться указанием перекрытий между сетями. Тогда четырехмерный массив K''_{nikj} преобразуется в матрицу K''_{nk} .

Массив общих затуханий, дБ, сигналов и помех в здании от i -го передатчика n -й сети к j -му приемнику k -й сети определяется согласно выражению

$$W_{общ\ nikj} = W_{св\ nikj} + W_{дон\ nikj}^{(1)} + W_{дон\ nikj}^{(2)} + W_{сл\ nikj}. \quad (3)$$

1) Ослабление в свободном пространстве определяется выражением

$$W_{св\ nikj} = 10 \cdot \lg((4\pi R_{nikj} / \lambda)^2), \quad (4)$$

где λ - длина волны.

2) Дополнительное затухание, дБ, вызванное влиянием стен, перекрытий этажей и другими причинами, определяется согласно выражению

$$W_{дон\ nikj}^{(1)} = W_{0c} \cdot K'_{nikj} \left(\frac{K'_{nikj} + 2}{K'_{nikj} + 1} - c \right) + W_{0э} \cdot K''_{nikj} \left(\frac{K''_{nikj} + 2}{K''_{nikj} + 1} - c \right) \text{ дБ}, \quad (5)$$

где W_{0c} - ослабление за счет влияния стены; $W_{0э}$ - ослабление за счет влияния межэтажного перекрытия. Обычно для стены берется $W_{0c} = 8,38$ дБ и $c = 0,51$, межэтажного перекрытия $W_{0э} = 18,3$ дБ и $c = 0,46$.

3) Если условия распространения таковы, что в окружающей среде достаточно много различных переизлучающих или поглощающих электромагнитную энергию объектов, то вводится еще один дополнительный множитель ослабления

$$W_{дон\ nikj}^{(2)} = \delta \cdot R_{nikj}, \quad (6)$$

где δ - коэффициент погонного затухания, учитывающий заполнение пространства различными предметами. Для почти пустого пространства $\delta = 0,2$ дБ/м, для переполненного пространства $\delta = 0,6$ дБ/м.

4) Случайная компонента дополнительного затухания

$$W_{сл\ nikj}(t) = W_{сл\ nikj}^{(м)}(t) + W_{сл\ nikj}^{(б)}(t), \quad (7)$$

где $W_{сл\ nikj}^{(м)}(t)$, $W_{сл\ nikj}^{(б)}(t)$ - отображают соответственно медленные и быстрые случайные замирания.

Для офисных, учрежденийских радиолоний или радиолоний в пределах микрорайона принято считать $W_{cl}^{(6)}(t) \rightarrow 0$.

Медленные замирания, дБ, подчиняются случайному логарифмически-нормальному закону, когда логарифм от уровня сигнала $u_c(t)$ распределен нормально с параметрами $N(0, \sigma)$:

$$W_{cl}^{(M)}\{u(t)\} = \rho W_{cl}^{(M)}\{u(t - \Delta t)\} + \sqrt{1 - \rho^2} \cdot N(0, \sigma), \text{ дБ} \quad (8)$$

где ρ - коэффициент корреляции между двумя сечениями случайного процесса изменения $W_{cl}^{(M)}\{u(t)\}$, разнесенными на интервал Δt .

Расчет основной части мощности принимаемого сигнала и помех.

Как и во всех прочих линиях связи и радиоэлектронных системах, в линиях САРД распространяющиеся радиоволны имеют сложную случайно-детерминированную структуру и подчиняются законам электродинамики, а их параметры описываются уравнениями Максвелла. Однако описание распространения сигналов с помощью уравнений Максвелла является достаточно сложным, что может привести к усложнению модели, а следовательно, к трудностям работы с ней, к увеличению погрешностей расчетов.

Поэтому в качестве модели распространения сигналов в радиолониях воспользуемся моделью, основанной на уравнении передачи [2]. Основная часть мощности, дБ, принимаемого полезного сигнала i -м приемником n -й сети, определяется в дБ из уравнения передачи:

$$P_{Cnp\ ni} = P_{nep\ nl} + G_{nep\ nl} + G_{np\ ni} - W_{общ\ nlnl} - \eta_{np\ ni} - \eta_{nep\ nl}, \quad (9)$$

где $P_{nep\ nl}$ - мощность l -го передатчика этой же сети; $G_{nep\ nl}$ - коэффициент усиления передающей антенны l -го передатчика этой же сети; $G_{np\ ni}$ - коэффициент усиления приемной антенны i -го приемника; $\eta_{np\ ni}, \eta_{nep\ nl}$ - коэффициенты полезного действия приемного и передающего фидеров.

Мощность принимаемой помехи i -м приемником n -й сети от j -го передатчика k -й сети, определяется выражением:

$$P_{П np\ nikj} = P_{nep\ kj} + G_{nep\ kj} + G_{np\ ni} - W_{общ\ nikj} - \eta_{np\ ni} - \eta_{nep\ kj}, \quad (10)$$

где $P_{nep\ kj}$ - мощность j -го передатчика k -й сети; $G_{nep\ kj}$ - коэффициент усиления передающей антенны j -го передатчика k -й сети; $\eta_{nep\ kj}$ - коэффициент полезного действия передающего фидера j -го передатчика k -й сети.

Нетрудно заметить, что если массив мощностей принимаемых сигналов двумерный, то массив мощностей принимаемых помех является четырехмерным.

Рассчитав мощности полезного сигнала и помех для элементов исследуемой сети, можно оценить влияние нескольких или одной сети на исследуемую сеть.

Критерий оценки ЭМС

Центральным вопросом оценки ЭМС является выбор критерия, в соответствии с которым дают заключение: выполняется ЭМС или нет.

При выборе критерия состояния ЭМС возникают две основные задачи:

- как связать и как соотнести параметры помехи с параметрами полезного сигнала и шума в полосе приема этого сигнала с тем, чтобы можно было судить о степени влияния помехи на качество работы РЭС;
- как выбрать уровень отсчета для оценки влияния помехи.

Сложность решения этих задач связана с тем, что для многих РЭС параметры полезных сигналов, шумов, а также самих помех являются случайными, а часто и нестационарными процессами с неизвестными текущими характеристиками [2]. Спектры частот полезных сигналов и помех обычно различны, с различной степенью перекрытия. Все это явилось причиной многообразия выбираемых критериев и неоднозначности в оценке состояния ЭМС. Рассмотрим более подробно данную проблему.

Для определения качества приема сигналов используют, обычно, энергетические соотношения, частотные различия, особенности статистических параметров сигналов, помех и шумов.

Выбор тех или иных параметров для оценки состояния ЭМС зависит от конкретных условий функционирования РЭС. Для того чтобы успешно оперировать энергетическими соотношениями, желательно, чтобы тот или иной энергетический параметр, участвующий в расчетах, был постоянным. В качестве такого часто используют уровень шума $P_{ш}$, относительно которого осуществляется отсчет других энергетических параметров.

Самой простой ситуацией является та, при которой постоянным является уровень не только шума, но и полезного сигнала P_c [1]. Такие условия имеют место в спутниковых системах связи, где флуктуации ΔP_c обычно не превышают 1..2 дБ. Это дает основание взять в качестве допустимого уровень помехи $P_n = -27...-30$ дБ по отношению к сигналу, что находится на уровне технологической развязки в СВЧ трактах. Уровень шума при этом в учет можно не принимать, поскольку требуемое отношение $h^2 = P_c / P_{ш}$ в спутниковых системах и, в частности, для ретрансляторов связи закладывается еще на этапе разработки системы.

К сожалению, в других системах подвижной связи - в сотовых, в системах связи с ретрансляторами на стратосферной платформе, в САРД, транкинговых, пейджинговых уровень полезного сигнала является переменной величиной $P_c = \text{var}$. Этот факт приводит к необходимости все расчеты по оценке ЭМС осуществлять, используя в качестве базового критерия уровень шума $P_{ш}$ или уровень чувствительности приемника P_{SR} .

Одним из достаточно простых и универсальных методов оценки состояния ЭМС является использование защитного отношения. Защитным отношением считается минимально допустимое отношение сигнал/помеха, при котором качество связи не ухудшается

$$A = \min(P_c / P_n)_{\text{дон}}, \quad (11)$$

Вместе с тем наряду с простотой защитное отношение является достаточно приближенной оценкой, хотя оно рекомендовано в ряде руководящих документов для использования в качестве критерия (Рекомендации МСЭ-Р S.735, S.1323, S.1325, S.1329, S.1418).

Среди помех имеют место тепловые шумы, которые аппроксимируются белым гауссовским шумом и помехи, сосредоточенные по спектру с полезным сигналом. Поэтому часто в качестве критерия оценки ЭМС используется критерий отношения уровня сигнала к сумме помех и шума (ОСПШ):

Влияние элементов одной сети на элементы другой оценим с помощью традиционного критерия оценки ЭМС [2;3] - критерия ОСПШ – отношения мощности

сигнала P_c к суммарной мощности помехи $\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{m_i} P_{nij}$ (N – количество сетей, m_i – количество оборудования i -й сети) и шума P_u :

$$ОСПШ = \frac{P_c}{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{m_i} P_{nij} + P_u}. \quad (12)$$

Остальные критерии, такие как вероятность ошибки, пропускная способность канала и др. являются производными от критерия ОСПШ.

Пропускная способность канала C с аддитивным белым гауссовым шумом является функцией средней мощности принятого сигнала, средней мощности шума, суммы помех и ширины полосы пропускания ΔF . Отсюда следует

$$\frac{C}{\Delta F} = \log_2 \left(1 + \frac{P_c}{N_0 \Delta F + \sum_i P_{n_i}} \right). \quad (13)$$

где N_0 – спектральная плотность мощности теплового шума.

Важной мерой производительности, используемой для сравнения цифровых схем модуляции, является вероятность ошибки P_{out} . Рассмотрим более подробно вероятность появления ошибочного бита при когерентном детектировании сигнала BPSK (binary phase shift keying).

Вычисление вероятности искажения одного бита проведем на основе ОСПШ 802.11b.

При скорости 1 Мбит/с вероятность искажения символа для ФМ модуляции может быть найдена как

$$P = Q(\sqrt{d^2/2N_c}), \quad (14)$$

где d – минимальное расстояние между любыми двумя отсчетами в созвездии сигнала, N_c – спектральная плотность мощности шума.

При скорости передачи 2 Мбит/с в 802.11b используется относительная фазовая манипуляция OFM (DBPSK – binary phase shift keying).

$$P_{DBPSK} = Q(\sqrt{d^2/4N_c}). \quad (15)$$

Расстояние между сигнальными отсчетами d может быть определено из сигнального созвездия вида модуляции BPSK. Расстояние между сигнальными точками для модуляции BPSK пропорционально $\sqrt{E_c}$, где E_c – энергия посылок сигнала.

Таким образом

$$d_{DBPSK} = 2\sqrt{E_c}. \quad (16)$$

тогда вероятность ошибки для кода Баркера с $n=11$

$$P_{DBPSK} = Q(\sqrt{E_c/N_c}) \quad (17)$$

При скорости 5.5 Мбит/с, вероятность ошибки

$$P_{5.5} = 14 \cdot Q(\sqrt{8 \cdot E_c/N_c}) + Q(\sqrt{16 \cdot E_c/N_c}), \quad (18)$$

При скорости 11 Мбит/с, вероятность ошибки принятия сигнала

$$P_{11} = 24 \cdot Q\left(\sqrt{4 \frac{E_c}{N_c}}\right) + 16 \cdot Q\left(\sqrt{6 \frac{E_c}{N_c}}\right) + 174 \cdot Q\left(\sqrt{8 \frac{E_c}{N_c}}\right) + 16 \cdot Q\left(\sqrt{10 \frac{E_c}{N_c}}\right) + 24 \cdot Q\left(\sqrt{12 \frac{E_c}{N_c}}\right) + Q\left(\sqrt{16 \frac{E_c}{N_c}}\right) \quad (19)$$

Определение Q -функции.

Функция Q определена как плотность вероятности с нулевым средним (гауссовское распределение)

$$Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^\infty e^{-t^2/2} dt. \quad (20)$$

2. ПРОВЕДЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА

Пример 1.

Предположим, что имеется две сети, использующие оборудование одного и того же стандарта 802.11b, работающие в одном частотном диапазоне 2,4 ГГц, одинаковыми мощностями на передачу $P_{пер} = 0,25$ Вт. Первая – исследуемая сеть с количеством элементов, равным 10. Элементы расположены случайным образом по нормальному закону распределения. Вторая – влияющая сеть с 20 элементами, случайно распределенными так же по нормальному закону. Эти сети находятся на одном этаже, через одну перегородку. Укажем размеры помещений, где находятся сети. Для исследуемой сети: длина $d = 10$ м, ширина $l = 4$ м, высота $h = 3$ м. Для влияющей сети: длина $d = 10$ м, ширина $l = 4$ м, высота $h = 3$ м.

Тогда массив перегородок будет иметь следующий вид:

$$K'_{пер} = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}.$$

Массив перекрытий

$$K''_{пер} = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}.$$

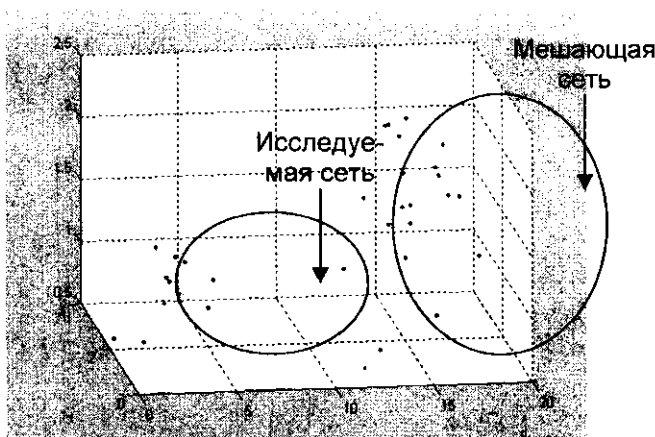


Рис. 6. Расположение РЭС двух сетей

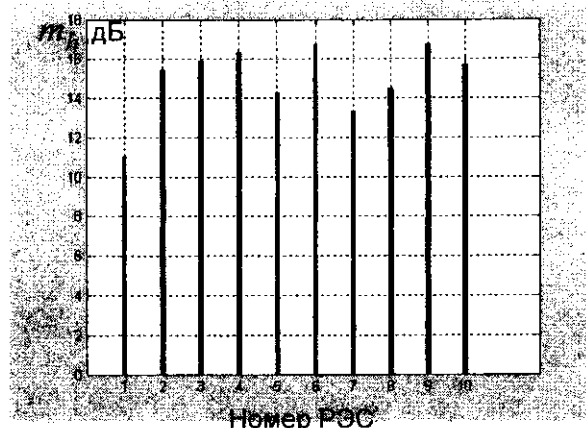


Рис. 7. Среднее ОСПШ для каждого РЭС исследуемой сети

Массив габаритов помещений

$$Gab = \begin{pmatrix} 10 & 4 & 3 \\ 10 & 4 & 3 \end{pmatrix}.$$

Массив координат сетей с учетом толщины стен

$$K_{koor} = \begin{pmatrix} 0,5 & 0,5 & 0,5 \\ 11 & 0,5 & 0,5 \end{pmatrix}.$$

Одно из таких размещений показано на рис.6.

Стандарт 802.11 предполагает одновременную работу не больше трех терминалов. Оценим наихудший вариант, когда работают 3 источника мешающей сети, создающие максимальные помехи. На рис.7 показана диаграмма значений средних ОСПШ m_h для каждого элемента исследуемой сети.

По полученной диаграмме, установив предельно допустимые значения выбранного критерия, можно судить о работоспособности исследуемой сети.

Пример 2.

Пусть теперь имеется три сети. Исходные данные по выбору оборудования те же, что и для примера 1. Первая – исследуемая сеть с количеством элементов, равным 10. Элементы расположены случайным образом по равномерному закону распределения. Вторая и третья – влияющие сети с соответственно 20 и 10 элементами, случайно распределенными по равномерному закону. Первая и вторая сети находятся в помещениях, расположенных на одном этаже, через две перегородки. Третья находится в помещении этажом выше над помещением второй сети. Укажем размеры помещений, где находятся сети. Для первой сети: длина $d=10$ м, ширина $l=4$ м, высота $h=3$ м. Для второй сети: длина $d=10$ м, ширина $l=4$ м, высота $h=3$ м. Для третьей сети: длина $d=10$ м, ширина $l=4$ м, высота $h=3$ м.

Тогда массив перегородок будет иметь следующий вид:

$$K'_{nep} = \begin{pmatrix} 0 & 2 & 2 \\ 2 & 0 & 0 \\ 2 & 0 & 0 \end{pmatrix}.$$

Массив перекрытий

$$K''_{nep} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 \end{pmatrix}.$$

Массив габаритов помещений

$$Gab = \begin{pmatrix} 10 & 4 & 3 \\ 10 & 4 & 3 \\ 10 & 4 & 3 \end{pmatrix}.$$

Массив координат сетей с учетом толщины стен и перекрытий

$$K_{koor} = \begin{pmatrix} 0,5 & 0,5 & 0,5 \\ 21,5 & 0,5 & 0,5 \\ 21,5 & 0,5 & 3,5 \end{pmatrix}.$$

Размещение этих сетей с оборудованием показано на рис.8.

Так же получена диаграмма средних значений ОСПШ m_h (рис. 9) для каждого элемента исследуемой сети. Расчет суммарной помехи производился, когда работают по 3 источника мешающих сетей, создающие максимальные помехи

Сравнивая диаграммы значений ОСПШ примера 1 и примера 2 (см. рис.7 и рис.9), можно сказать, что хотя в примере 1 мешающей является одна сеть, а в примере 2 - две сети, ОСПШ во втором примере больше на 10...15 дБ. Поэтому

можно сделать вывод о том, что существенное влияние оказывают расстояния между сетями и количество перегородок и перекрытий. Подобные исследования помогут оценить ЭМО в исследуемой зоне, а также дать рекомендации по выбору помещения для вновь вводимой сети.

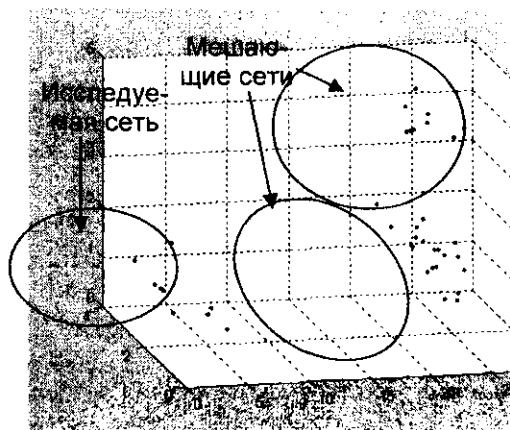


Рис. 8. Размещение РЭС трех сетей

m_{h1} ,
дБ

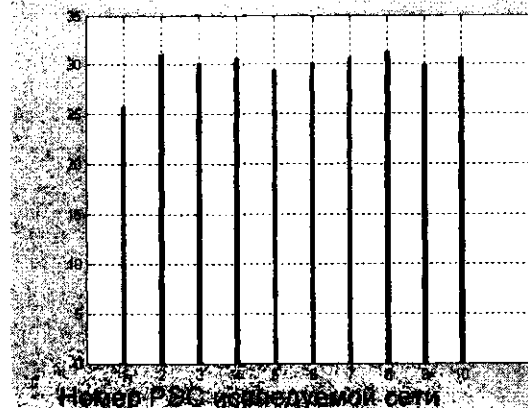


Рис. 9. Среднее ОСПШ для каждого РЭС исследуемой сети

Проведены экспериментальные исследования по влиянию ОСПШ на пропускную способность канала. На рис. 10 представлен график зависимости пропускной способности канала от ОСПШ.

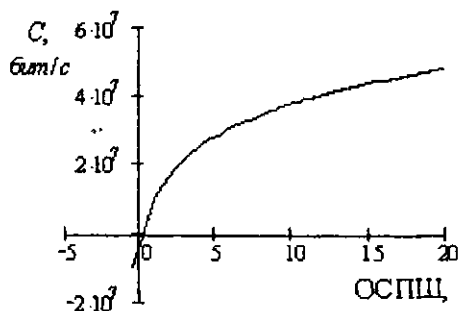


Рис. 10 Зависимость пропускной способности канала от ОСПШ канала

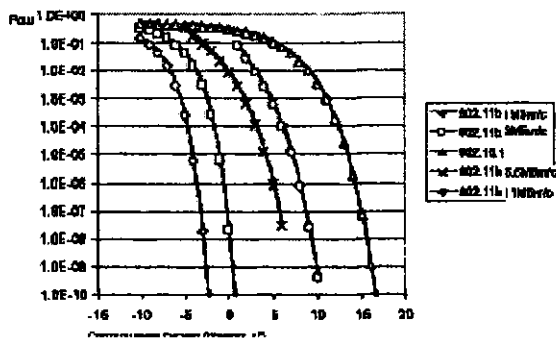


Рис. 11 Вероятность искажения бита для 802.11b и 802.15.1 (Bluetooth) для различных типов модуляции

На рис.11 показаны зависимости вероятности ошибки от ОСПШ в диапазоне – 15...20 дБ для каждого типа модуляции.

Проведены исследования по влиянию количества сетевых элементов на эффективность работы сетей. В результате машинного эксперимента получены зависимости среднего ОСПШ на входе приемника абонентского терминала (АТ) от количества АТ при наличии одной точки радиодоступа для различных распределений АТ.

На рис.12 представлены графики зависимости среднего ОСПШ m_{h1} и его

среднеквадратичного отклонения $\sqrt{\sigma_{h1}^2}$ на входе приемника АТ (выраженных в дБ), от k - количества АС. Кривая 1 соответствует среднему ОСПШ, кривая 2 – его

среднеквадратичному отклонению для равномерного распределения АС. Кривая 3 соответствует среднему ОСПШ, кривая 4 – его среднеквадратичному отклонению для нормального распределения АС. Кривая 5 соответствует среднему ОСПШ, кривая 6 – его среднеквадратичному отклонению для двойного нормального распределения АТ. Усреднение производилось по 20 выборкам и по количеству АТ.

Как видно из приведенных графиков, максимальное среднее ОСПШ имеет двойное нормальное распределение (кривая 5) при небольшом (до 30...40 шт) количестве АТ. При большем количестве АТ данный показатель хуже, чем для равномерного (кривая 1) и для нормального (кривая 3) распределений. Вместе с тем, нормальное распределение АС (кривая 3) по данному показателю несколько уступает равномерному распределению (кривая 1). Однако сравнивая нормальное и равномерное распределения, можно сказать, что они более устойчивы к увеличению численности АС. По показателю среднеквадратичного отклонения ОСПШ можно сказать, что наибольший разброс ОСПШ имеет равномерное (кривая 2) и немного меньше – нормальное распределение (кривая 4). Наименьший разброс ОСПШ имеет двойное нормальное распределение (кривая 6).

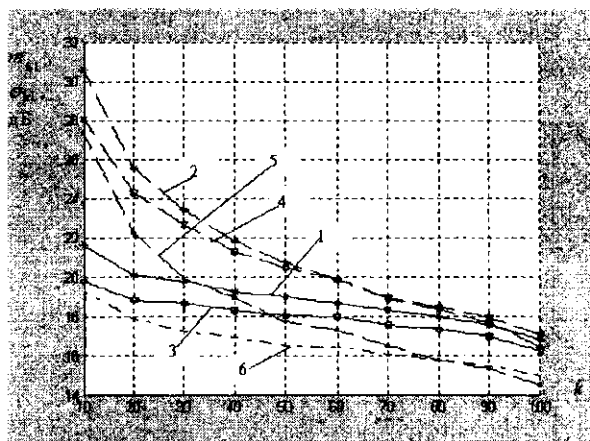


Рис. 12. Зависимости среднего ОСПШ и его среднеквадратичного отклонения от количества АС при различных распределениях АС

Заключение

Разработана методика анализа ЭМС группировки РЭС СПС, позволяющая оценить ЭМО уже действующих сетей и предоставить рекомендации по вновь вводимым сетям. Данная методика основана на модели размещения оборудования, расчета взаимных расстояний, модели взаимодействия РЭС с учетом затуханий сигналов и помех. При этом выполняется расчет мощностей сигналов и помех в исследуемой зоне и дается оценка ЭМС по выбранному критерию.

По разработанной методике проведен анализ ЭМС группировок

САРД. Результаты моделирования показали:

1. Существенное влияние оказывают расстояния между сетями и количество перегородок и перекрытий.

2. Максимальное среднее ОСПШ имеет двойное нормальное распределение при небольшом (до 30...40 шт) количестве АТ. При большем количестве АТ данный показатель хуже, чем для равномерного и для нормального распределений. Вместе с тем, нормальное распределение АТ по данному показателю несколько уступает равномерному распределению.

3. Сравнивая нормальное и равномерное распределения, можно сказать, что они более устойчивы к увеличению численности АС. По показателю среднеквадратичного отклонения ОСПШ можно сказать, что наибольший разброс ОСПШ имеет равномерное и немного меньше – нормальное распределение. Наименьший разброс ОСПШ имеет двойное нормальное распределение.

Литература

1. Колхел Р. Беспроводные сети стандарта 802.11 – в массы // Сети и системы связи. -2000. -№ 11 (61). -С. 22 – 25.
2. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств и систем / В.И.Владимиров, А.Л.Докторов и др.; Под ред. Н.М.Царькова – М.: Радио и связь, 1985. – 272 с.
3. Бабанов Ю.Н., Силин А.В. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных систем. -ГГУ, 1976.
4. Вентцель Е.С., Исследование операций. – М.: Сов. радио, 1972. 351 с.