

С. В. АФОНИН, помічник начальника Центра «Укрчастотнагляд»,

В. Ф. КОРСАК, начальник служби науково-технічного забезпечення Центра «Укрчастотнагляд»

ПРОБЛЕМЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ СИСТЕМ СОТОВОЙ СВЯЗИ

Темпы наращивания количества радиоэлектронных средств (РЭС) мобильной связи обусловили возникновение проблем электромагнитной совместимости (ЭМС) внутрисистемного и межсистемного характера. Особое значение приобретает соблюдение условий ЭМС на межсистемном уровне, когда базовые станции (БС) систем мобильной связи воздействует на работу других РЭС связи в совместных частотных диапазонах. При этом необходимо учитывать помехи не только по основным, но и по **побочным** каналам приема.

Ввиду того, что электромагнитная обстановка в группировках систем мобильной связи непрерывно изменяется, возникает необходимость в рассмотрении вопросов интермодуляционного влияния данных систем на системы связи, работающие в совместных либо близких диапазонах частот. Примером подобного взаимного влияния в Украине может служить работа РЭС стандартов CDMA, D-AMPS и GSM в верхней части диапазона 800 МГц.

Электромагнитная совместимость совокупности излучателей и рецепторов электромагнитного поля обуславливается не только электромагнитной обстановкой в точках размещения рецепторов, но также их восприимчивостью к полю. К параметрам, определяющим восприимчивость радиоприемного устройства, относятся:

- ✦ чувствительность основного и побочных каналов приема, избирательность;
- ✦ нелинейные эффекты блокирования, перекрестных искажений и интермодуляции;
- ✦ коэффициенты сетевых радиопомех, электрической индукции и переноса радиопомех.

В настоящее время широкое применение находит математическая модель приемника на основе характеристик, которые могут быть получены измерениями без анализа его внутренней структуры. Некоторые из этих характеристик должны определяться в широкой полосе частот (около декады — иногда и более — в обе стороны относительно рабочей частоты приемника), что является характерной особенностью задач по оценке ЭМС. Характеристики приемника, представленные в виде всех полученных результатов измерений, после статистической обработки формируют в виде математических моделей, совокупность которых и является моделью приемника, характеризуя его линейные и нелинейные свойства. Такая форма представления приемника позволяет строить гибкие алгоритмы оценки ЭМС, включая в них каждый раз те элементы, которые отражают эффекты, представляющие интерес на данном этапе исследования.

Стремительный рост количества абонентов сотовой связи требует от операторов дальнейшего развития состава услуг, предоставления их с качеством, которое было бы по крайней мере не хуже, чем в современных цифровых сетях фиксированной связи. Эти требования в разной степени могут быть реализованы в сетях связи 2,5G и 3G. Следует учитывать, что теперь главными приоритетами становятся уже не те или иные технологии связи, а сами услуги, динамика их развития и условия предоставления пользователям.

С другой стороны, при переходе в GSM от режима коммутации каналов к режиму коммутации пакетов (GPRS) повышаются требования к качеству канала связи: для GPRS необходимо обеспечить более высокое отношение сигнал/помеха, значение которого зависит от применяемой схемы кодирования (CS). Так, при используемой в настоящее время в GPRS схеме кодирования CS2 отношение сигнал/помеха должно быть на 2...3 дБ выше, чем при передаче речевых сообщений в режиме с коммутацией каналов (9 дБ). Отсюда следует, что применение режима GPRS без перепланирования радиосети может привести к уменьшению радиуса связи, т. е. к сокращению размеров соты, — и тогда для обеспечения непрерывной зоны покрытия потребуется установить дополнительные БС. Например, при уменьшении радиуса соты в режиме GPRS на 10% непрерывность связи может быть обеспечена благодаря увеличению количества базовых станций на 23%. При уменьшении радиуса соты на 20% нужно дополнительно образовать около 56% новых сот. Кроме того, использование дополнительных БС влечет за собой необходимость устанавливать новые контроллеры БС и транскодирователи, расширять инфраструктуру систем передачи, включая радиорелейные линии и волоконно-оптические линии связи.

Модели, используемые при анализе интермодуляционного влияния между РЭС различных систем сотовой связи

Причины интермодуляционных помех в сетях мобильной радиосвязи

Назначение частот РЭС систем мобильной радиосвязи различных стандартов осуществляется таким образом, чтобы *исключалась возможность создания помех по основным каналам приема*. Операторы мобильной радиосвязи в каждом из регионов Украины имеют «свои» полосы частот для планирования сетей, не пересекающиеся с полосами частот других операторов. Следовательно, все операторы могут планировать свои сети независимо друг от друга, будучи уверенными в отсутствии взаимных помех по основному каналу приема. Поэтому могут возникать только внутрисистемные, т. е. создаваемые РЭС одного и того же оператора, помехи, чаще всего либо обусловленные неадекватным планированием сети, либо связанные с ситуацией, когда при недостаточном частотном ресурсе оператор сознательно идет на некоторое ухудшение характеристик радиоканала ради обеспечения большего покрытия или большей емкости сети при ограничении на используемый частотный ресурс.

Однако даже при непрекрывающемся распределении частот между операторами остается потенциальная возможность создания как внутрисистемных, так и межсистемных помех. Причиной тому — существенно отклоняющиеся от идеальных характеристики радиооборудования, а именно передатчиков и приемников базовых и абонентских станций. Вследствие таких отклонений возникают интермодуляция в передатчике и в приемнике, а также блокирование приемника при

попадании на его вход больших сигналов. Таким образом, простого разделения частот между операторами недостаточно для исключения возможности межсистемных помех. Чтобы удостовериться в том, что условия ЭМС будут выполняться, необходимо в каждом конкретном случае присвоения рабочих частот РЭС производить расчет, учитывая все РЭС, работающие в этом районе. Далее рассмотрим возможные сценарии возникновения указанных помех системам мобильной связи в диапазоне 800 и 900 МГц.

Перечень возможных сценариев формирования помех

Анализируя внутрисистемные и межсистемные помехи, рассмотрим два основных случая их возникновения: интермодуляцию в приемнике и блокирование приемников. Исходя из анализа частотного плана РЭС стандартов GSM, CDMA и D-AMPS, можно предложить следующий перечень возможных сценариев возникновения помех сетям мобильной радиосвязи стандарта GSM:

- ✦ помехи от БС GSM в направлении мобильных станций (МС) GSM;
- ✦ помехи от МС GSM в направлении БС GSM;
- ✦ помехи от БС CDMA и D-AMPS в направлении БС GSM.

Для анализа взаимного влияния РЭС в соответствии с указанными сценариями приведем технические характеристики передатчиков и приемников базовых и мобильных станций. В целях упрощения методики расчетов за основу приняты технические характеристики РЭС GSM, но когда параметры РЭС других стандартов будут отличаться от указанных, мы оговорим это особо.

Технические характеристики РЭС, необходимые для проведения расчетов

Технические характеристики БС стандарта GSM
Характеристики передатчика

Мощность.....20 Вт (43 дБм)
Коэффициент усиления антенны
в направлении максимального излучения.....15 дБ

Спектр излучения стандарта GSM представлен в табл. 1. Полоса частот, в которой проводятся измерения побочных излучений, составляет: 30 кГц — при расстройках до 1800 кГц относительно центральной частоты излучения; 100 кГц — при расстройках, превышающих 1800 кГц.

Таблица 1

Расстройка относительно центральной частоты излучения, кГц	100	200	250	400	600... ...1200	1200... ...1800	1800... ...6000	>6000
Уровень излучения относительно уровня основного излучения, дБ	0,5	-30	-33	-60	-27*	-30*	-32*	-80

Примечание. Здесь и в табл 3 звездочкой отмечены значения абсолютного уровня излучения, дБм.

Интермодуляционные излучения передатчика при расстройках до 6 МГц относительно центральной частоты его настройки не должны превышать предельных значений, указанных в табл. 1. Если такая расстройка превышает 6 МГц, оставаясь в пределах полосы частот, выделенной для работы передатчиков данного стандарта (935...960 МГц для стандарта GSM, 869...894 МГц для стандартов CDMA и D-AMPS), то мощность побочного

(интермодуляционного) излучения, измеренного в полосе 300 кГц, не должна превышать абсолютного значения -36 дБм или -70 дБ относительно мощности основного излучения. За пределами полос, предназначенных для работы передатчиков данного стандарта, действительны общие требования к побочным излучениям передатчиков РЭС систем мобильной радиосвязи, предусматривающие, что мощность таких излучений ограничена абсолютными значениями -36 дБм в полосах частот от 9 кГц до 1 ГГц и -30 дБм в полосах частот от 1 до 12,75 ГГц.

Характеристики приемника

Чувствительность.....-104 дБм для БС GSM
Коэффициент усиления антенны
в направлении
максимального излучения.....15 дБ

Для определения уровней блокирования приемника (табл. 2) вводятся понятия полос in-band и out-band. Для приемников БС стандарта GSM полосы in-band определяются как 870...925 МГц, а полосы out-band — как полосы частот ниже 870 МГц и выше 925 МГц.

Таблица 2

Тип полосы	Расстройка Δf, кГц	Уровень блокирования приемника, дБм
In-band	600 ≤ Δf < 800	-26
	800 ≤ Δf < 1600	-16
	1600 ≤ Δf < 3000	-16
	3000 ≤ Δf	-13
Out-band	—	8

Уровень чувствительности приемника БС к интермодуляции третьего порядка составляет -43 дБм.

Под чувствительностью приемника к интермодуляции третьего порядка $P_{вхз}$ понимается уровень помех на входе приемника на частотах f_1 и f_2 , подобранных таким образом, что выполняется одно из двух условий: $f_0 = 2f_1 - f_2$ или $f_0 = 2f_2 - f_1$ (где f_0 — частота настройки приемника), при котором приемник сохраняет свою работоспособность в приеме сигнала, на 3 дБ превышающего его уровень чувствительности.

Технические характеристики МС стандарта GSM
Характеристики передатчика МС

Мощность.....2 Вт (33 дБм)
Коэффициент усиления антенны.....0 дБ

Спектр излучения стандарта GSM представлен в табл. 3. Полоса частот, в которой проводятся измерения побочных излучений, составляет 30 кГц при расстройках до 1800 кГц относительно центральной частоты излучения и 100 кГц — при расстройках, превышающих 1800 кГц.

Таблица 3

Расстройка относительно центральной частоты излучения, кГц	100	200	250	400	600... ...1800	1800... ...3000	3000... ...6000	>6000
Уровень излучения относительно уровня основного излучения, дБ	0,5	-30	-33	-60	-27*	-30*	-32*	-38*

Интермодуляционные излучения передатчика при расстройках до 6 МГц относительно центральной частоты его настройки не должны превышать предельных значений, указанных в табл. 3. Если такая расстройка превышает 6 МГц, оставаясь в пределах полосы частот,

выделенной для работы передатчиков данного стандарта (890...915 МГц для стандарта GSM), мощность побочного (интермодуляционного) излучения, измеренного в полосе 300 кГц, не должна превышать абсолютного значения -36 дБм или -70 дБ относительно мощности основного излучения. За пределами полос, предназначенных для работы передатчиков данного стандарта, действительны общие требования к побочным излучениям передатчиков РЭС систем мобильной радиосвязи, предусматривающие, что мощность таких излучений ограничена абсолютными значениями -36 дБм в полосах частот от 9 кГц до 1 ГГц и -30 дБм в полосах частот от 1 до 12,75 ГГц.

Характеристики приемника MC

Чувствительность.....-104 дБм для MC GSM
 Коэффициент усиления антенны.....0 дБ

Уровни блокирования приемника находят по табл. 4.

Таблица 4

Тип полосы	Расстройка Δf, кГц	Уровень блокирования приемника, дБм
In-band	600 ≤ Δf < 800	-38
	800 ≤ Δf < 1600	-33
	1600 ≤ Δf < 3000	-23
	3000 ≤ Δf	-23
Out-band	—	0

Для приемника MC стандарта GSM полосу in-band определяют как 915...980 МГц, а полосы out-band — как полосы частот ниже 915 МГц и выше 980 МГц.

Уровень чувствительности приемника MC к интермодуляции третьего порядка составляет -43 дБм.

Общие положения анализа ЭМС

Критерии выполнения условий ЭМС в системах мобильной связи

Из целого ряда критериев, применимых при анализе ЭМС РЭС, для исследования наиболее подходящими являются энергетические. Использование этих критериев предполагает расчет мощности помехи и сигнала и сравнение их отношения с защитными отношениями, рассчитанными для данного сочетания взаимодействующих сигналов. Такой подход позволяет определить необходимое пространственное разнесение между взаимодействующими РЭС. Вывод о том, что условия ЭМС выполняются, делается в случае, если отношение мощностей сигнал/помеха на входе демодулятора приемника мобильной или базовой станции превышает 9 дБ. Это значение рекомендуется в качестве базового для стандарта GSM.

Модели затухания сигналов на трассах распространения

При использовании энергетических критериев оценки ЭМС важным моментом является расчет затухания на трассе распространения радиоволн. *Выбирая модель распространения, целесообразно при расчете затухания сигнала между БС различных сетей взять модель распространения на трассах прямой видимости, а для трасс БС—МС и МС—МС — модель Хата.* При расчетах затуханий будем определять их медианные значения. Высоту поднятия антенн БС для всех случаев примем равной 50 м, а МС — 1,5 м.

Затухание в свободном пространстве, дБ:

$$L_{fr} = 22 + 20 \lg(d/\lambda), \quad (1)$$

где d, λ — соответственно расстояние и длина волны, выраженные в одинаковых единицах.

Для частоты 900 МГц можно преобразовать (1) следующим образом:

$$L_{BC-BC} = 91,5 + 20 \lg R, \quad (2)$$

где R — расстояние, км.

Для затухания между БС в дальнейшем будем использовать обозначение L_{BC-BC} .

В соответствии с Рекомендацией ITU-R P.529-3, напряженность поля, создаваемая передатчиком с эффективной изотропно излучаемой мощностью 1 кВт, выраженная в децибелах относительно 1 мкВ/м, может быть определена по формуле, дБ (мкВ/м):

$$E = 69,82 + 6,161 \lg f + 13,82 \lg h_1 + a(h_2)(44,9 + 6,551 \lg h_1)(\lg R)^b, \quad (3)$$

где f — частота, МГц; h_1, h_2 — высота поднятия антенны соответственно базовой и мобильной станций, м;

$$a(h_2) = (1,1 \lg f - 0,7)h_2 - (1,56 \lg f - 0,8);$$

R — расстояние, км.

Так как нас интересуют эффекты, происходящие в приемниках при поступлении на их входы больших сигналов, что возможно только при близком взаиморасположении РЭС, выберем коэффициент $b = 1$; такое его значение, согласно Рекомендации P.529-3, справедливо для расстояний менее 20 км.

С учетом принятых для расчетов исходных данных, а именно: 900 МГц, $h_1 = 50$ м, $h_2 = 1,5$ м выражение (3) упрощается:

$$E = 75,11 - 38,81 \lg R. \quad (4)$$

Для определения затухания на трассе распространения следует использовать приведенную в Рекомендации ITU-R PN.525-2 формулу пересчета, в соответствии с которой мощность, принятая изотропной антенной, вычисляется по известной напряженности поля, созданного передатчиком с изотропно излучаемой мощностью в 1 кВт:

$$P_r = E - 20 \lg f + 167,2. \quad (5)$$

Здесь P_r — мощность, принятая изотропной антенной, дБ·Вт; E — напряженность поля, дБ(мкВ/м); f — частота, ГГц.

Учитывая, что в (5) используется напряженность поля, создаваемая передатчиком с эффективной изотропно излучаемой мощностью в 1 кВт, выражение для затухания сигнала на трассе распространения можно записать так:

$$L_{BC-MC} = 121,2 + 33,81 \lg R. \quad (6)$$

В дальнейшем обозначение L_{BC-MC} будем использовать для затухания на трассе распространения между базовой и мобильной станциями.

Для определения затухания на трассах распространения между двумя МС нужно применить модифицированную модель Хата, описанную, в частности, в отчете ERC 68. В этом случае для используемых в текущих исследованиях исходных данных равенство будет иметь вид

$$L_{BC-MC} = 152,6 + 35,21 \lg R. \quad (7)$$

Выражения (6) и (7) применяются для расстояний $R \geq 0,1$ км. При $R < 0,04$ км используется модель прямой видимости. Тогда для линии радиосвязи между МС, учи-

тывая, что высота поднятия антенны обеих МС равна 1,5 м, следует применить формулу (2), а для линии между БС и МС (поскольку в этом случае требуется учесть разницу высот поднятия антенн) — модифицированную формулу (2):

$$L_{\text{БС-МС}} = 91,5 + 20 \lg(R'), \quad (8)$$

где R' — расстояние по прямой между геометрическими центрами антенн с учетом разности высот их поднятия, равной 48,5 м; $R' = (R_2 + 0,0485^2)^{1/2}$.

В переходной зоне, на расстояниях от 40 до 100 м, затухание на линиях МС—МС и БС—МС определяют линейной интерполяцией исходя из предположения, что затухание (выраженное в децибелах) линейно возрастает с расстоянием. Для фиксированных значений высот поднятия антенн и частоты находим затухание в зоне $0,04 \text{ км} \leq R \leq 0,01 \text{ км}$:

$$L_{\text{МС-МС}} = 63,5 + 900(R - 0,04); \quad (9)$$

$$L_{\text{БС-МС}} = 67,5 + 333(R - 0,04). \quad (10)$$

Поскольку в процессе исследований чаще всего придется по известному значению необходимого затухания находить необходимое расстояние, нужно преобразовать полученные формулы к соответствующему виду.

Так, для линий БС—БС имеем необходимое расстояние, км:

$$R = 10^{\frac{L-91,5}{20}}. \quad (11)$$

Для линий БС—МС расстояние, км, определяется в зависимости от значения необходимого затухания: при $L > 87,4 \text{ дБ}$

$$R = 10^{\frac{L-121,2}{33,8}}; \quad (12)$$

при $67,5 \text{ дБ} \leq L \leq 87,4 \text{ дБ}$

$$R = 0,04 + \frac{L-67,5}{333}; \quad (13)$$

при $L < 67,5 \text{ дБ}$

$$R = \sqrt{10^{\frac{L-91,5}{10}} - 0,00235225}. \quad (14)$$

Значения затухания $L < 65,2 \text{ дБ}$ являются некорректными при рассматриваемых исходных данных для указанного типа трассы: в этом случае $R = 0$.

Для линий МС—МС расстояние, км, также определяют в зависимости от значения необходимого затухания: при $L > 117,4 \text{ дБ}$

$$R = 10^{\frac{L-152,6}{35,2}}; \quad (15)$$

при $63,5 \text{ дБ} \leq L \leq 117,4 \text{ дБ}$

$$R = 0,04 + \frac{L-63,5}{900}; \quad (16)$$

при $L < 63,5 \text{ дБ}$

$$R = 10^{\frac{L-91,5}{20}}. \quad (17)$$

* Разработаны расчетные аналитические модели интермодуляционного влияния между РЭС сотовой связи, которые применимы при расчете внутрисистемных помех в группировке РЭС.

* Предлагаемые модели основаны на расчете отношения мощности принимаемого сигнала и мешающей интермодуляционной помехи на входе демодулятора приемника базовой (мобильной) станции.

О. Д. НИКОЛЬСЬКА, заступник Генерального директора УДППЗ «Укрпошта»,
керівник дирекції з питань праці та персоналу

Основні функції управління персоналом в УДППЗ «Укрпошта»

Висвітлено систему підвищення кваліфікації та розвитку мотивації до праці персоналу УДППЗ «Укрпошта», що має на меті забезпечити конкурентоспроможність підприємства на ринку поштових послуг.

Поштовий зв'язок — один із найважливіших елементів інфраструктури будь-якого суспільства. Визначальним фактором розвитку вітчизняної поштової служби стало виникнення конкурентного середовища. Саме конкуренція змусила нас вишукувати нові шляхи розвитку пошти й вдаватися до радикальних заходів, аби пристосуватися до сучасних реалій. Із другої половини 1990-х років було взято курс на реформування нашого підприємства. Щоб досягти позитивної динаміки зростання обсягу поштових послуг і, відповідно, доходів, на рівні Уряду України було розроблено й затверджено Програму реструктуризації Українського об'єднання поштового зв'язку «Укрпошта», спрямовану на поліпшення якості послуг, розширення їх асортименту та підвищення ефективності управління у сфері нашої діяльності. Ця програма передбачала приведення основних фондів, матеріальних і людських ресурсів у відповідність до обсягів надаваних послуг згідно зі світовими стандартами та попитом споживача.

Досвід розвинених країн з ефективною ринковою економікою переконливо доводить, що найбільш стійка база конкурентоспроможності —

це висока кваліфікація працівників, поєднана з мотивацією та залученням їх до розв'язання проблем удосконалення виробництва.

Отже, з метою послідовного узгодження довгострокової стратегії з потенціалом підприємства, його потребами та можливостями за умов швидкозмінюваної кон'юнктури ринку було цілком виправдано зроблено ставку на персонал підприємства.

Кадровий потенціал УДППЗ «Укрпошта» (далі — Укрпошта) — це понад 100 тис. працівників, з яких 72% належать до виробничого штату, 9% — фахівці, 18,2% — керівники (у тому числі начальники відділень поштового зв'язку).

Стратегічний напрямок в управлінні персоналом полягає в орієнтації всіх працівників на досягнення результату та створення умов для підвищення ефективності роботи кожного з них.

Щоб дедалі більше залучати кадрові служби до розв'язання стратегічних завдань підприємства, ці підрозділи висунуто на вищий рівень у структурі управління: створено дирекцію з питань праці та персоналу, до складу якої ввійшли служби підготовки персоналу, кадрові служби, відділи праці та заробітної плати, соціальні служби.

Спинимось докладніше на наших підходах до окремих функцій управління персоналом.

Добір персоналу

Персонал на керівні посади добираємо з підготовленого резерву, який щороку оновлюється. Завдяки такому підходу вдається мінімізу-