

**СТОХАСТИЧЕСКИЙ МЕТОД ОЦЕНКИ ПОМЕХ, СОЗДАВАЕМЫХ
МОБИЛЬНЫМИ СТАНЦИЯМИ ИМТ НА НАЗЕМНУЮ СТАНЦИЮ
СЛУЖБЫ РАДИООПРЕДЕЛЕНИЯ**

Иконников С. Н.

*ГП “Украинский научно-исследовательский институт радио телевидения”
ул. Бунина, 33, 65026, г. Одесса, Украина
ikon.srg@gmail.com*

**СТОХАСТИЧНІ МЕТОДИ ОЦІНКИ ЗАВАД, ЇХ СТВОРЮЮТЬ МОБІЛЬНІ
СТАНЦІЇ ІМТ, НА НАЗЕМНУ СТАНЦІЮ СЛУЖБИ РАДІОВИЯВЛЕННЯ**

Иконников С. Н.

*ДП “Український науково-дослідний інститут радіо телебачення”
вул. Буніна, 33, 65026, м. Одеса, Україна
ikon.srg@gmail.com*

**STOCHASTIC METHOD FOR EVALUATION INTERFERENCE
FROM THE IMT MOBILE STATIONS TO THE GROUND STATION
OF RADIODETERMINATION SERVICE**

Ikonnikov S. N.

*SE “Ukrainian scientific-research institute of radio and television”
33 Bunin str., 65026, Odessa, Ukraine
ikon.srg@gmail.com*

Аннотация. Консервативный детерминированный метод определения помех является неэффективным в случае оценки электромагнитной совместимости с такими службами как подвижная, поскольку в этом случае не учитываются случайные процессы, которые имеют место в реальности, например, передвижение абонентов. В данной статье рассматривается методика и модель стохастической оценки помех, создаваемых абонентскими станциями мобильной сети

Ключевые слова. Стохастическая модель, электромагнитная совместимость, службы, оценка помех, мобильная сеть

Анотація. Консервативний детермінований метод виявлення завад є неефективним в випадку електромагнітної сумісності з такими службами як рухома, так як в цьому випадку не враховуються випадкові процесі, які мають місто в реальності, наприклад, переміщення абонентів. В даній статі розглядаються методика та модель стохастичної оцінки завад, що створюються абонентськими станціями мобільної мережі

Ключові слова. Стохастичний метод, електромагнітна сумісність, служби, оцінка завад, мобільні мережі

Abstract. Conservative deterministic method for determining the interference is ineffective in the case of estimating the electromagnetic compatibility with services such as mobile, since in this case are not considered random processes that occur in reality, for example, the movement of mobile stations. This article discusses the technique and the stochastic model for evaluating interference from mobile network mobile stations

Key words. Stochastic model, electromagnetic compatibility, services, evaluation interference, mobile station

За последние годы в рамках Международного союза электросвязи (МСЭ) наблюдается тенденция возрастания потребности спектра на глобальной основе таких прогрессирующих систем, как, например:

- глобальная подвижная связь ИМТ;
- системы связи и радионавигации для решения задач контроля, телеметрии и управления беспилотными летательными аппаратами;
- системы глобального радиоопределения параметров объектов, находящихся на Земле, на воде, в воздухе и в космосе [1].

Развитие и появление новых технологий передачи данных также не стоит на месте. Поэтому по-прежнему актуальным является вопрос электромагнитной совместимости средств существующих систем и технологий с теми, которые находятся на этапе внедрения.

В статье исследуются аспекты обеспечения электромагнитной совместимости подвижной сети мобильной связи со средствами службы радиоопределения в диапазоне частот 790...862 МГц, а именно влияние подвижных абонентских станций на наземную станцию радиоопределения. В качестве сети мобильной связи рассматривается развивающаяся и внедряющаяся технология LTE. Данный диапазон частот был выбран как один из наиболее проблемных, потому что в нем на первичной основе распределена воздушная радионавигационная служба, главной целью которой является обеспечение безопасности полетов самолетов.

В настоящее время некоторыми Рекомендациями МСЭ [2...6] установлены защитные отношения для обеспечения совместимости средств радиолокации и радиообнаружения, соответствующие отношению помеха/шум на уровне минус 6 дБ для случая воздействия на приемник радиолокатора помех с импульсным видом модуляции [2]. Данная величина защитного отношения используется также и для исследований электромагнитной совместимости сети мобильной связи на радары службы радиоопределения [7]. Обеспечение этого защитного отношения гарантирует правильное функционирование радиолокатора с заданными показателями качества (вероятностью правильного обнаружения, вероятностью ложной тревоги) только при воздействии импульсного вида модуляции помех. Однако такой статический подход не учитывает как динамическое функционирование мобильной сети, а именно в большей степени ее абонентской части, так и воздействие на приемник радиолокатора помех непрерывного вида излучения. Случайное размещение абонентов в сети, различная нагрузка сети и конфигурация сети может привести к дополнительным уровням помех в определенном проценте времени. Поэтому цель данной статьи рассмотреть метод вычисления подобного дополнительного запаса, обусловленного динамикой мобильной сети, воздействия помех непрерывного вида излучения, а также результаты этих вычислений.

Методика расчета степени воздействия помех, создаваемых мобильными станциями на наземный приёмник системы радиообнаружения. Как правило, задачи моделирования сложной электромагнитной обстановки, которая отличается неопределенностью в параметрах излучения, координат месторасположения станций, распространении сигнала в пространстве решаются с использованием метода Монте-Карло [8]. Данный математический подход позволяет решать сложные задачи в различных областях знаний, в том числе и области связи.

Основным принципом метода Монте-Карло является получение множества реализаций одного и того же сценария (в данном случае сценария электромагнитной обстановки) при различных параметрах элементов, входящих в реализацию этого сценария (параметров передачи, модели распространения, координаты). Таким образом, параметры представляют собой не просто значение, а функцию плотности вероятности, соответствующую тому или иному закону распределения. В результате искомая величина в результате множества реализаций также будет подчиняться определенному статистическому закону распределения, и все дальнейшие умозаключения производятся с указанием вероятности и доверительных интервалов.

На рис. 1,а показан сценарий воздействия помех со стороны абонентских станций сети мобильной связи LTE на радар наземной станции системы радиоопределения, который использовался при моделировании. Во всех случаях главный лепесток радиолокатора направлен перпендикулярно границе сети. Мобильная сеть представляет собой гексагональную структуру, в которой каждая базовая станция имеет три сектора в форме шестиугольника [7]. На территории сети размещены абонентские станции, излучение которых оказывает помеху на приемник радиолокатора.

Одной из ключевых особенностей расчета электромагнитной совместимости в подобных сценариях является неопределенность положения источника помех (абонентских станций) в пространстве, как по горизонтали, так и по вертикали. Таким образом, введя случайные координаты для абонентских станций, получим случайный уровень помех на входе приемника радиолокатора. Основная логика этого процесса показана на рис. 1,б.

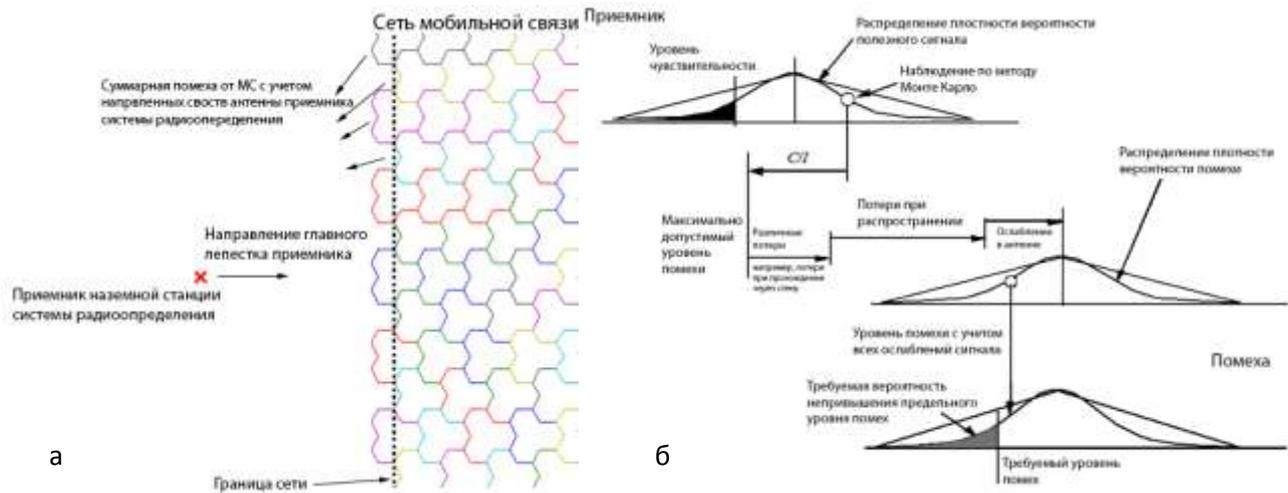


Рисунок 1 – Метод Монте Карло для определения влияния помех со стороны абонентских станций сети мобильной связи

Следует отметить, что в реальности случайными являются очень многие параметры передачи сигнала помехи, модели распространения, поэтому, чем более полно имеется возможность описать происходящие процессы в реальности статистически, тем более правдоподобной будет модель, и более реалистичными будут результаты моделирования. Одной из проблем такого подхода является задание нереалистичных функций плотности вероятности исходных сигналов и получение в итоге искаженной реализации сценария, которой не может быть в реальности. Второй проблемой является отсутствие полного набора таких экспериментальных данных о перемещении, функционировании абонентских станций, сети в целом, других сторонних факторов, которые влияют на электромагнитную обстановку, что также может недооценивать некоторые реальные факторы, влияющие на уровень помехи. Ниже описан алгоритм, который был использован при исследованиях и решении поставленной задачи электромагнитной совместимости.

Согласно использованному алгоритму в первую очередь производится размещение сети базовых станций (с учетом необходимого процента базовых станций, находящихся ниже уровня крыш), а также наземного радиолокатора на необходимом удалении от сети. При этом выбирается конфигурация сети (в данном случае описанная выше гексагональная структура), тип застройки (город, пригород, сельская местность), количество сот. От выбранного типа застройки зависят многие параметры настройки сети (мощность базовой станции, коэффициент усиления антенны, размер соты, высота подвеса антенны, различные параметры сценария). Затем производится случайное размещение абонентских станций на территории сети по равномерному закону согласно выбранной плотности пользователей в сети (зависит от типа застройки), а также случайное размещение пользователей в зданиях согласно требуемому проценту станций, находящихся внутри помещения. В дальнейшем это приведет к дополнительному ослаблению, как помехи, так и полезного сигнала абонентской станции внутри помещения. После случайного размещения пользователей необходимо присвоить абонентскую станцию определенной базовой станции и определенному сектору. Это реализуется по принципу наименьшего ослабления сигнала по модифицированной модели Хата [8].

Следующим шагом является реализация алгоритма контроля мощности для учёта реального варьирования мощности излучения абонентской станции в зависимости от располо-

жения. В данном исследовании контроль мощности осуществляется путем обеспечения максимально возможной пропускной способности канала вверх. Если уровень отношения сигнал/(шум+помеха) на входе приёмника базовой станции превышает необходимый для максимальной пропускной способности, то возможно уменьшение мощности излучения передатчика абонентской станции. В [9] приводится эмпирическое выражение, позволяющее вычислить пропускную способность канала LTE (как “вверх”, так и “вниз”) при заданном отношении сигнал/(шум+помеха), что упрощает процесс учета всех возможных схем модуляции и кодирования:

$$Thr = \begin{cases} 0 & \text{при } SNIR < SNIR_{\min} \\ \alpha S(SNIR) & \text{при } SNIR_{\min} < SNIR < SNIR_{\max} \\ Thr_{\max} & \text{при } SNIR > SNIR_{\max} \end{cases}, \quad (1)$$

где $S(SNIR) = \log_2(1 + SNIR)$; $\alpha = 0,4$ – коэффициент ослабления, представляющий собой потери реализации;

$SNIR_{\min} = -10 \text{ дБ}$ – минимальное отношение сигнал/(шум+помеха), основанное на методе модуляции QPSK, скорости кода 1/5;

$Thr_{\max} = 2.0 \text{ бит} / \text{Гц}$ – максимальная пропускная способность, основанная на модуляции QAM-16, скорости кода 3/4.

Таким образом, имеем все необходимые составляющие модели, ее параметры, некоторые из которых являются фиксированными, а некоторые имеют значение в соответствии с определенным законом распределения вероятностей. Имея все параметры, необходимо рассчитать напряженность поля в точке приема радиолокационной станции от каждого абонентского устройства (следует исключить устройства, находящиеся вне зоны прямой видимости), а затем суммарную напряженность поля в этой точке от всех источников помех по формуле [7]:

$$E_{\text{multi}} = \sum_{i=1}^N E_i. \quad (2)$$

Полученную напряженность поля можно перевести в мощность на входе приемника радиолокатора согласно формуле [10]:

$$P = E - 77,2 - 20 \log(f). \quad (3)$$

Однако, по сути, такой перевод не имеет смысла, исходя из поставленной задачи, так как полученный разброс значений вследствие динамичности мобильной сети будет одинаковым как в случае выражения полученного результата в виде напряженности поля, так и в виде мощности на входе приемника. Рассчитанная статистика (разброс, дисперсия, тип распределения и т.д.) для напряженности поля или мощности сигнала по формулам (2) и (3) представляет собой результат моделирования влияния помех со стороны абонентских станций мобильной сети LTE на наземную станцию системы радиоопределения и имеет интерес уже для дальнейшего анализа полученных результатов.

Непосредственное влияние полученных результатов на функционирование радиолокатора можно оценить, используя классическую зависимость вероятности правильного обнаружения, вероятности ложной тревоги и отношения сигнал/(шум+помеха) на выходе оптимального фильтра для сигнала со случайной фазой и амплитудой [11]:

$$P_D = P_F \frac{1}{1 + \frac{1}{2} q_{\text{ew}}^2}, \quad (4)$$

где P_D – вероятность правильного обнаружения, типичное значение 0,5;

P_F – вероятность ложной тревоги, типичное значение 10^{-4} ;

$q_{сш}$ – отношение сигнал/(шум+помеха).

Все исходные данные, которые использовались в моделировании, были взяты из отчетов и рекомендаций МСЭ, а также документов организации 3GPP. Ниже в табл. 1 приведены общие параметры модели для различных типов застройки местности, а, следовательно, и плотности сети.

Таблица 1 – Общие параметры модели

Характеристика	Значение для различных типов застройки		
	городская застройка	пригород	сельская местность
Радиус соты, км	1	2	8
Плотность абонентских станций, человек/км ²	6	4.32	0.34
Потери при проникновении в здание, дБ	20	20	15
Процент пользователей, находящихся в помещении, %	70	70	50
Процент базовых станций, находящихся ниже крыш домов, %	30	0	0
Типичные потери в теле человека, дБ	4		
Средняя активность базовой станции, %	50		
Количество сот	25		

В табл. 2 приведены характеристики базовых станций сети мобильной связи, абонентских станций, а также некоторые параметры наземной станции системы радиопределения.

Таблица 2 – Технические характеристики источника и рецептора помех

Характеристика	Значение
<i>Параметры базовой станции</i>	
Максимальная мощность передатчика, дБВт	16 [12]
Ширина канала, МГц	10
Коэффициент усиления антенны, дБи	16 (город, пригород), 18 (сельская местность) [12]
Диаграмма направленности антенны	[9]
Высота подвеса антенны, м	25 (город), 30 (пригород, сельская местность) [12]
Потери в фидере, дБ	3 [12]
Коэффициент шума приемника, дБ	5 [13]
<i>Параметры абонентских станций</i>	
Максимальная мощность передатчика, дБВт	-7 [12]
Минимальная мощность передатчика, дБВт	-67 [13]
Ширина канала, МГц	10
Коэффициент усиления антенны, дБи	-3 [12]
Диаграмма направленности антенны	ненаправленная

Окончание таблицы 2

Характеристика	Значение
Коэффициент шума приемника, дБ	9 [9]
<i>Параметры наземной станции системы радиоопределения</i>	
Высота подвеса антенны, м	10 [14]
Диаграмма направленности антенны	[15]

На рис. 2 представлена блок-схема алгоритма проведения описанных вычислений, на которой отображены ключевые моменты, отображающие логику построения модели и получения результатов моделирования, исходя их поставленной задачи.

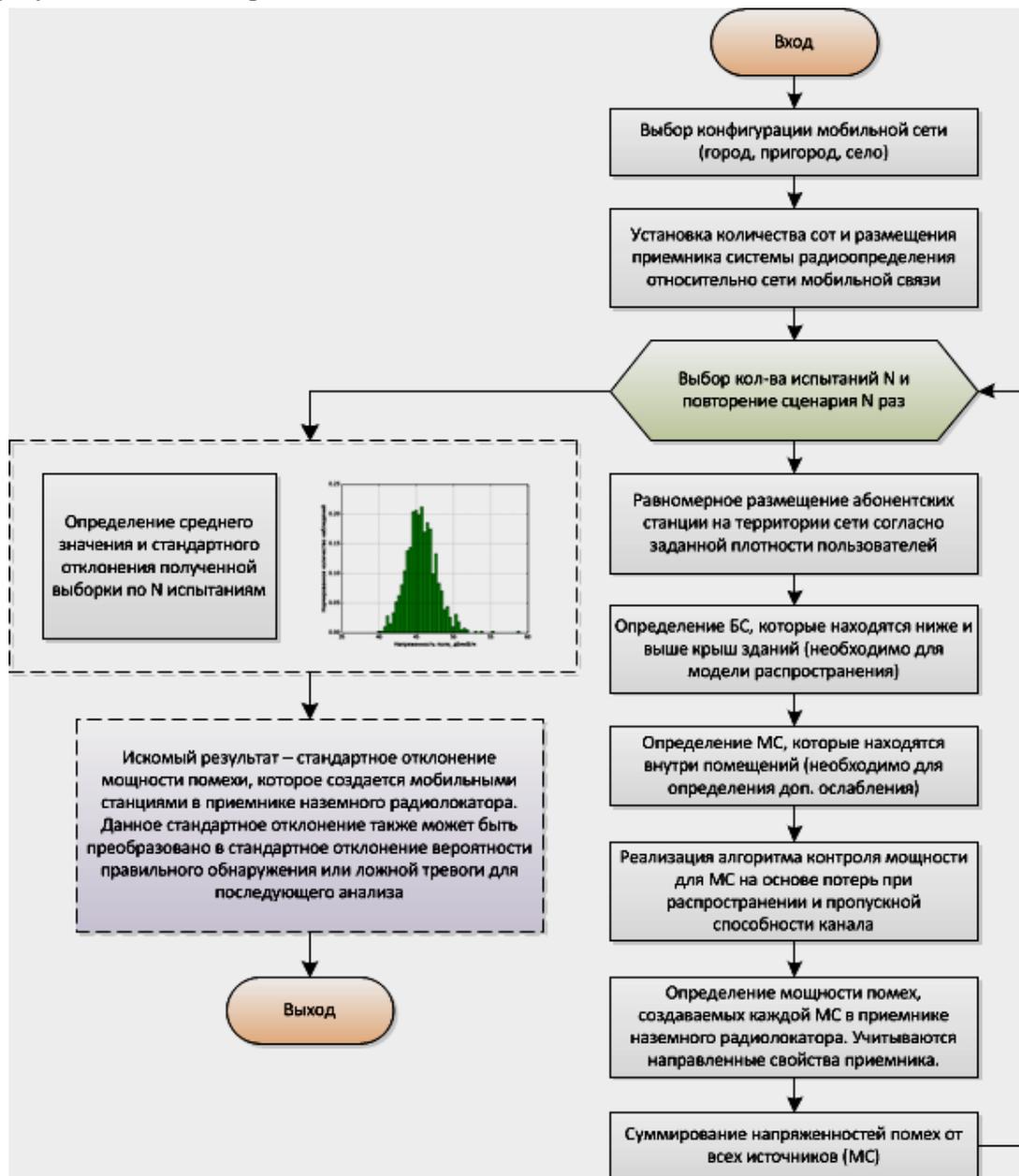


Рисунок 2 – Блок-схема алгоритма

Результаты моделирования. Моделирование было реализовано согласно алгоритму, показанному на рисунке 2. В каждом из экспериментов было выполнено тысячу испытаний (реализаций). Под экспериментом понимается проведение расчетов для фиксированного расстояния наземного радиолокатора от границы мобильной сети. Таких экспериментов было выполнено несколько для различных расстояний для определения зависимости дисперсии

суммарного мешающего сигнала от абонентских станций от расстояния радиолокатора до границы сети. Эксперименты с изменением других ключевых факторов (например, различные направления главного лепестка диаграммы направленности антенны радиолокатора) не проводились. Рассматривалось три типа застройки: город, пригород и сельская местность.

На рис. 3 показан результат моделирования для двух экспериментов: а – городская застройка, размещение радиолокатора внутри сети на расстоянии 4,5 км от границы; б – городская застройка, размещение радиолокатора вне сети на расстоянии 0,75 км от границы.

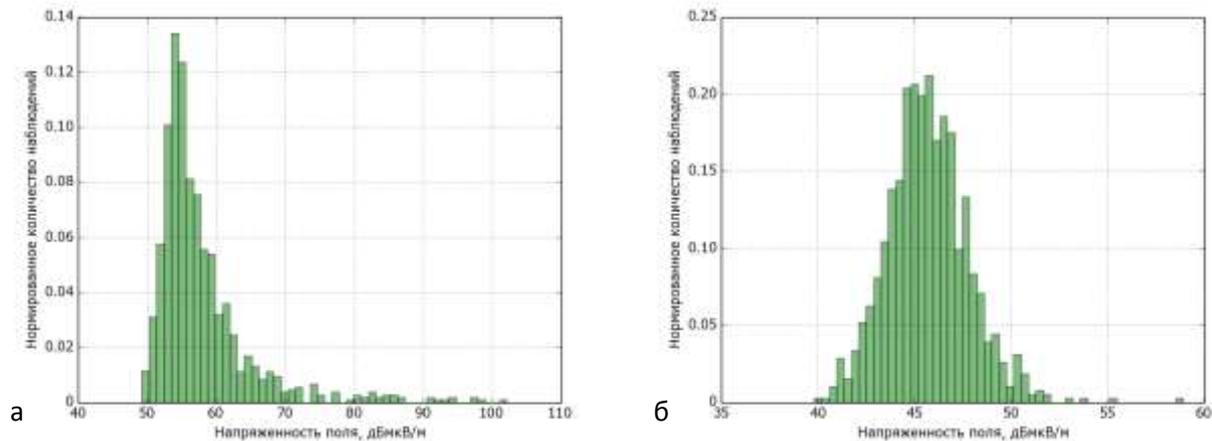


Рисунок 3 – Разброс напряженности поля помехи в точке приема для различных сценариев

Как видно из рис. 3 плотность распределения вероятностей для случая нахождения радиолокатора внутри сети имеет несимметричный вид, и имеют место случаи больших значений напряженностей. В свою очередь, плотность распределения помехи, когда радиолокатор находится вне сети, имеет симметричный вид и подчиняется нормальному закону распределения. Главным наблюдением является наличие дисперсии помехи относительно среднего значения. Закон распределения помехи вне сети является неизменным, также как и закон распределения помехи внутри сети является неизменным. Это значение дисперсии варьируется в зависимости от типа сценария и расстояния радиолокатора до границы мобильной сети.

На рис. 4 показан результат влияния такой динамической помехи на фундаментальные параметры радиолокатора (используя формулу 4). В данном случае рассматривается разброс вероятности правильного обнаружения для трёх случаев: – а город, вероятность ложной тревоги 10^{-4} , среднее значение отношения сигнал/шум 10 дБ, размещение радиолокатора внутри сети (зелёный), вне (красный) сети; б – город, размещение радиолокатора вне сети, среднее значение отношения сигнал/шум 10 дБ, различные вероятности ложной тревоги, 10^{-4} (зелёный), 10^{-3} (красный), 10^{-2} (синий); в) город, размещение радиолокатора вне сети, вероятность ложной тревоги 10^{-4} , различные средние отношения сигнал/шум на выходе оптимального фильтра радиолокатора, 10 дБ (зелёный), 7 дБ (красный), 4 дБ (синий).

Из рис. 4,а видно, что при других неизменных параметрах, расположение радиолокатора внутри сети или снаружи оказывает сильное влияние на разброс параметров обнаружения самого радиолокатора. При этом изменяются не только значения статистических параметров, но также и форма закона распределения, что в дальнейшем отразится на расчёте процента времени выполнения тех или иных условий. На рис. 4,б также заметна зависимость от выбранной вероятности ложной тревоги. Т. е. при всех равных параметрах различная выбранная вероятность ложной тревоги ведёт к различному проценту времени обеспечения требуемой вероятности правильного обнаружения. Наличие этого процента времени обуславливается динамикой сети мобильной связи LTE. Аналогичные выводы можно сделать также, анализируя рис. 4,в. Однако в этом случае на процент времени влияет среднее значение уровня отношения полезный сигнал/шум.

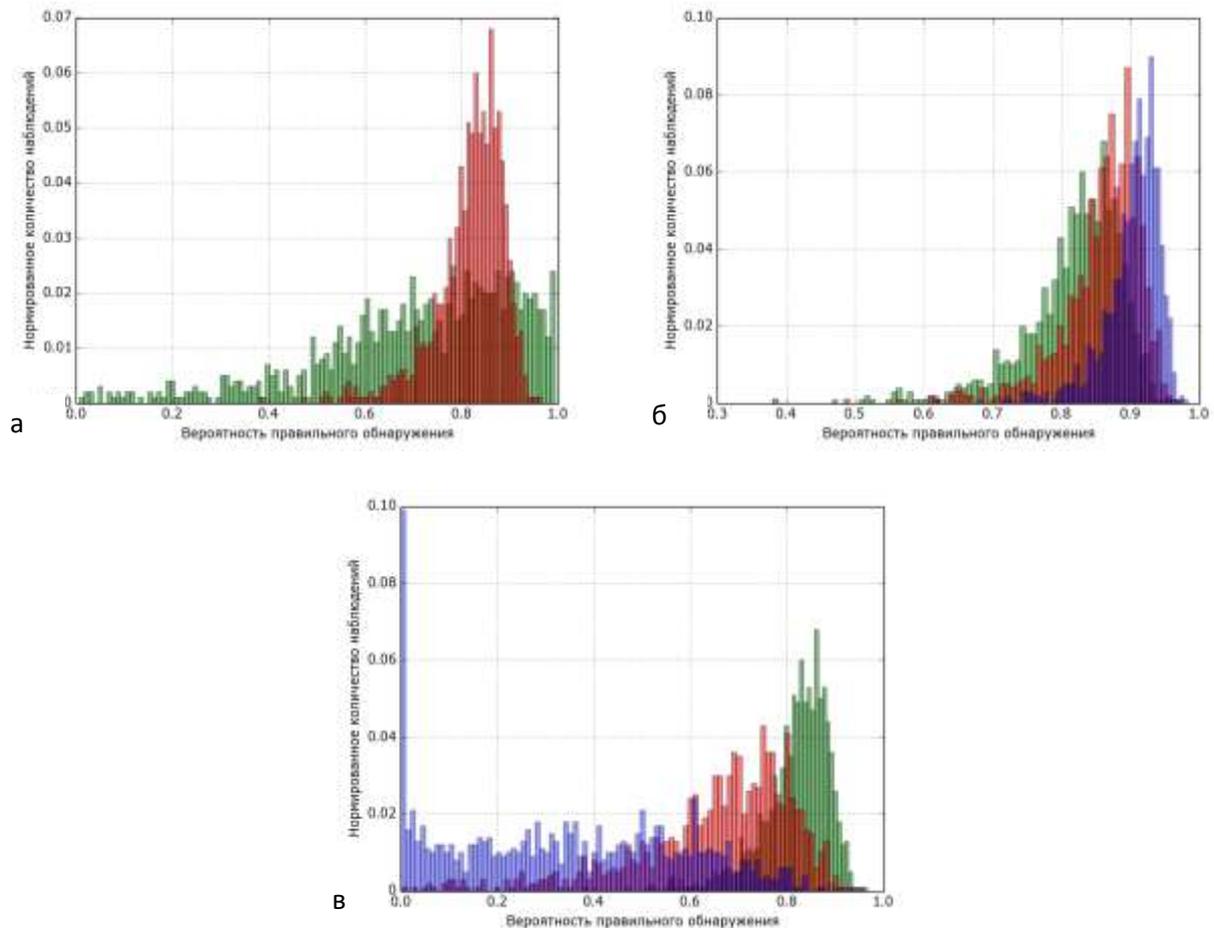


Рисунок 4 – Вероятность правильного обнаружения для различных сценариев

Были также проведены исследования зависимости среднеквадратического отклонения (СКО) суммарной помехи от абонентских станций на входе приемника радиолокатора от размещения радиолокатора относительно мобильной сети. На рис. 5 показана эта зависимость для различных типов застройки (и плотности сети соответственно). Наблюдается практически одинаковое низкое СКО помехи вдали от сети для различных типов застройки. Однако в непосредственной близости к сети СКО резко растет и достигает своего максимума на границе сети. В дальнейшем при углублении радиолокатора в сеть СКО различается для различных типов застройки и стабилизируется на определенном уровне. Как и следует ожидать, наибольшее СКО наблюдается в городских условиях, наименьшее – в сельской местности. Данная зависимость может использоваться при расчете необходимого расстояния при планировании размещения мобильной сети или радиолокатора, или при определении необходимого запаса для обеспечения функционирования радиолокатора с заданными показателями качества.

Построенная модель позволяет решать множества задач, связанных определением помех и влияния этих помех на рецептор, в условиях динамического изменения параметров модели, различных сценариев. В статье модель была использована для определения вариативности помехи, создаваемой совокупно абонентскими станциями мобильной сети LTE на приемник наземной станции системы радиоопределения. Были получены плотности распределения вероятностей этих помех для различных условий. Оказалось, что СКО суммарной помехи от среднего значения, может привести в заметному ухудшению показателей нормального функционирования радиолокатора. Т. е. динамический характер работы мобильной сети (передвижение абонентов, их сетевая активность) приводит к неопределенности помехи в приемнике радиолокатора, что оказывает влияние на отношение сигнал/(шум+помеха) и на

процент времени, в котором выполняются требуемые условия нормальной работы радиолокатора (вероятность правильного обнаружения, вероятность ложной тревоги).

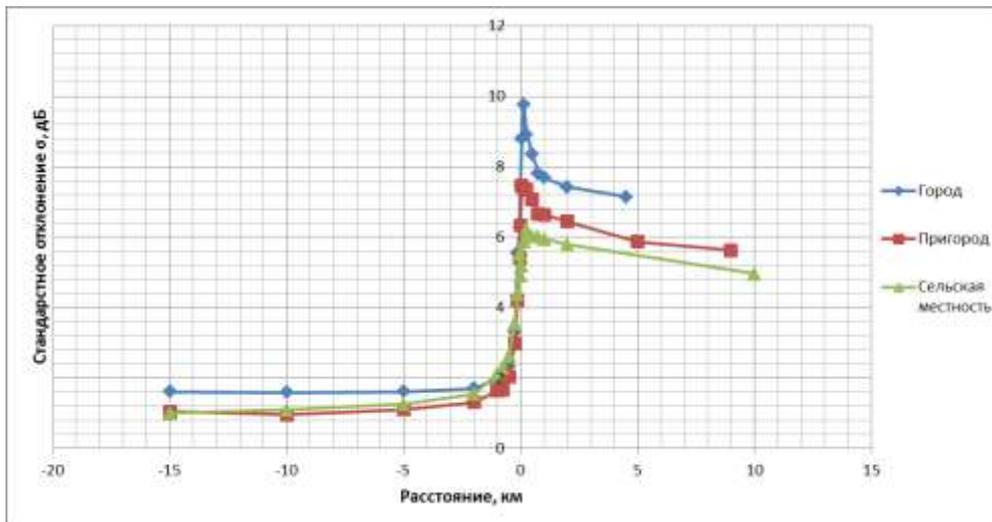


Рисунок 5 – Зависимость СКО суммарной помехи от расстояния

Полученная зависимость СКО суммарной помехи от расстояния радиолокатора до границы сети свидетельствует о важности учета дополнительного запаса к используемому защитному отношению для обеспечения требуемого процента времени выполнения условий нормального функционирования радиолокатора.

Целью дальнейших исследований влияния абонентских станций мобильной сети LTE на приемник наземной станции системы радиоопределения является создание аналитического выражения для инженерных расчетов требуемого запаса к защитному отношению. Исходными данными для такого регрессионного анализа будут являться результаты проведенного моделирования для различных сценариев (размещение радиолокатора, тип застройки и т.п.). Аналитическое выражение должно учитывать расстояние радиолокатора до границы сети, требуемая вероятность правильного обнаружения, требуемая вероятность ложной тревоги, процент времени, в котором должны поддерживаться эти вероятности. Такое аналитическое выражение будет отображать полученные в статье результаты моделирования и иметь практическое значение при планировании размещения системы радиоопределения или мобильной сети, либо при определении требуемого дополнительного ослабления помехи для обеспечения функционирования системы радиоопределения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Иконников С.Н. Проблемы распределения спектра на глобальном уровне / С.Н. Иконников, В.А. Лапин, Д.А. Маковеев. – Холодильная техника и технология. – 2013. – №2 (142), С. 75-81.
2. Recommendation ITU-R M.1461-1. "Procedures for determining the potential for interference between radars operating in the radiodetermination service and systems in other services". ITU, Geneva, 2003. – P. 14.
3. Recommendation ITU-R M.1462-0. "Characteristics of and protection criteria for radars operating in the radiolocation service in the frequency range 420-450 MHz". ITU, Geneva, 2000. – P. 7.
4. Recommendation ITU-R M.1463-2. "Characteristics of and protection criteria for radars operating in the radiodetermination service in the frequency band 1 215 1 400 MHz". ITU, Geneva, 2013. – P. 10.
5. Recommendation ITU-R M.1464-1. "Characteristics of radiolocation radars, and characteristics and protection criteria for sharing studies for aeronautical radionavigation and meteorological radars in the radiodetermination service operating in the frequency band 2 700-2 900 MHz". ITU, Geneva, 2003. – P. 44.
6. Recommendation ITU-R M.1465-1. "Characteristics of and protection criteria for radars operating in the radiodetermination service in the frequency band 3 100-3 700 MHz". ITU, Geneva, 2007. – P. 8.
7. Document 4-5-6-7/393-E. Working documents on items relating to terrestrial services for WRC-15 agenda items 1.1 and 1.2. ITU, November 2013.

8. Report ITU-R SM.2028-1. "Monte Carlo simulation methodology for the use in sharing and compatibility studies between different radio services or systems". ITU, Geneva, 2002. – P. 68.
9. Technical report 3GPP TR 36.942 V8.4.0. 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Radio Frequency (RF) system scenarios (Release 8). – 2012.
10. Бабков В.Ю. Сети мобильной связи. Частотно-территориальное планирование / В.Ю. Бабков, М.А. Вознюк, П.А. Михайлов – М.: Горячая линия-Телеком, 2007. – 224 с.
11. Охрименко А. Е. Основы радиолокации и радиоэлектронная борьба. Часть 1: Основы радиолокации / Охрименко А. Е. – М.: Военное издательство министерства обороны СССР, 1983. – 456 с.
12. Report ITU-R M.2292-0. "Characteristics of terrestrial IMT-Advanced systems for frequency sharing/interference analyses". ITU, Geneva, 2013. – P. 15.
13. Report ITU-R M.2241. "Compatibility studies in relation to Resolution 224 in the bands 698-806 MHz and 790-862 MHz". ITU, Geneva, 2011. – P. 85.
14. Рекомендация МСЭ-R M.1830. "Технические характеристики и критерии защиты систем воздушной радионавигационной службы в полосе частот 645–862 МГц". МСЭ, Женева, 2007. – 10 с.
15. Рекомендация МСЭ-R M.1652-1. "Динамическая частотная селекция в системах беспроводного доступа, включая локальные радиосети в целях защиты службы радиоопределения в диапазоне 5 ГГц". МСЭ, Женева, 2011. – 20 с.

REFERENCES

1. Ikonnikov S.N., Lapin V.A., and Makoveenko D.A. "Problemy Raspredelenija Spektra Na Global'nom Urovne." *Holodil'naja Tehnika i Tehnologija*. 142nd ser. 2 (2013): 75-81. Print.
2. Recommendation ITU-R M.1461-1. "Procedures for Determining the Potential for Interference Between Radars Operating in the Radiodetermination Service and Systems in Other Services". ITU, Geneva (2003): 14. Print.
3. Recommendation ITU-R M.1462-0. "Characteristics of and Protection Criteria for Radars Operating in the Radiolocation Service in the Frequency Range 420–450 MHz". ITU, Geneva(2000): 7. Print.
4. Recommendation ITU-R M.1463-2. "Characteristics of and Protection Criteria for Radars Operating in the Radiodetermination Service in the Frequency Band 1 215 1 400 MHz". ITU, Geneva (2013): 10. Print.
5. Recommendation ITU-R M.1464-1. "Characteristics of Radiolocation Radars, and Characteristics and Protection Criteria for Sharing Studies for Aeronautical Radionavigation and Meteorological Radars in the Radiodetermination Service Operating in the Frequency Band 2 700-2 900 MHz". ITU, Geneva (2013): 10. Print.
6. Recommendation ITU-R M.1465-1. "Characteristics of and Protection Criteria for Radars Operating in the Radiodetermination Service in the Frequency Band 3 100-3 700 MHz". ITU, Geneva (2007): 8. Print.
7. Document 4-5-6-7/393-E. Working Documents on Items Relating to Terrestrial Services for WRC-15 Agenda Items 1.1 and 1.2. ITU (2013): n. pag. Print.
8. Report ITU-R SM.2028-1. "Monte Carlo Simulation Methodology for the Use in Sharing and Compatibility Studies between Different Radio Services or Systems". ITU, Geneva (2002): 68. Print.
9. Technical Report 3GPP TR 36.942 V8.4.0. 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Radio Frequency (RF) System Scenarios (Release 8). (2008): n. pag. Print.
10. Babkov V.Ju., and Mihajlov P.A. Seti Mobil'noj Svjazi. Chastotno-territorial'noe Planirovanie. Moskov: Gorjachaja Linija-Telekom, 2007. Print.
11. Ohrimenko A. E. "Osnovy Radiolokacii I Radiojelektronnaja Bor'ba. Chast' 1: Osnovy Radiolokacii." *Voennoe Izdatel'stvo Ministerstva Oborony SSSR* (n.d.): 456. Print.
12. Report ITU-R M.2292-0. "Characteristics of Terrestrial IMT-Advanced Systems for Frequency Sharing/interference Analyses". ITU, Geneva (2011): 15. Print.
13. Report ITU-R M.2292-0. "Characteristics of Terrestrial IMT-Advanced Systems for Frequency Sharing/interference Analyses". ITU, Geneva (2011): 85. Print.
14. "Rekomendacija MSJe-R M.1830. "Tehnicheskie Harakteristiki I Kriterii Zashhity Sistem Vozdushnoj Radionavigacionnoj Sluzhby v Polose Chastot 645–862 MGc"." ITU, Geneva(2007): 10. Print.
15. "Rekomendacija MSJe-R M.1652-1. "Dinamicheskaja Chastotnaja Selekcija v Sistemah Besprovodnogo Dostupa, Vkljuchaja Lokal'nye Radioseti v Celjah Zashhity Sluzhby Radioopredelenija v Diapa-zone 5 GGc"." ITU, Geneva (2011): 20. Print.