

МСЭ-R

Сектор радиосвязи МСЭ

Рекомендация МСЭ-R М.2101-0
(02/2017)

Моделирование и имитация сетей и систем ИМТ для применения в исследованиях совместного использования частот и совместимости

Серия М

**Подвижные службы, служба радиоопределения,
любительская служба и относящиеся к ним
спутниковые службы**



Предисловие

Роль Сектора радиосвязи заключается в обеспечении рационального, справедливого, эффективного и экономичного использования радиочастотного спектра всеми службами радиосвязи, включая спутниковые службы, и проведении в неограниченном частотном диапазоне исследований, на основании которых принимаются Рекомендации.

Всемирные и региональные конференции радиосвязи и ассамблеи радиосвязи при поддержке исследовательских комиссий выполняют регламентарную и политическую функции Сектора радиосвязи.

Политика в области прав интеллектуальной собственности (ПИС)

Политика МСЭ-R в области ПИС излагается в общей патентной политике МСЭ-T/МСЭ-R/ИСО/МЭК, упоминаемой в Приложении 1 к Резолюции МСЭ-R 1. Формы, которые владельцам патентов следует использовать для представления патентных заявлений и деклараций о лицензировании, представлены по адресу: <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/en>, где также содержатся Руководящие принципы по выполнению общей патентной политики МСЭ-T/МСЭ-R/ИСО/МЭК и база данных патентной информации МСЭ-R.

Серии Рекомендаций МСЭ-R

(Представлены также в онлайн-форме по адресу: <http://www.itu.int/publ/R-REC/en>.)

Серия	Название
BO	Спутниковое радиовещание
BR	Запись для производства, архивирования и воспроизведения; пленки для телевидения
BS	Радиовещательная служба (звуковая)
BT	Радиовещательная служба (телевизионная)
F	Фиксированная служба
M	Подвижные службы, служба радиоопределения, любительская служба и относящиеся к ним спутниковые службы
P	Распространение радиоволн
RA	Радиоастрономия
RS	Системы дистанционного зондирования
S	Фиксированная спутниковая служба
SA	Космические применения и метеорология
SF	Совместное использование частот и координация между системами фиксированной спутниковой службы и фиксированной службы
SM	Управление использованием спектра
SNG	Спутниковый сбор новостей
TF	Передача сигналов времени и эталонных частот
V	Словарь и связанные с ним вопросы

Примечание. – Настоящая Рекомендация МСЭ-R утверждена на английском языке в соответствии с процедурой, изложенной в Резолюции МСЭ-R 1.

Электронная публикация
Женева, 2017 г.

© ITU 2017

Все права сохранены. Ни одна из частей данной публикации не может быть воспроизведена с помощью каких бы то ни было средств без предварительного письменного разрешения МСЭ.

РЕКОМЕНДАЦИЯ МСЭ-R М.2101-0

**Моделирование и имитация сетей и систем ИМТ для применения
в исследованиях совместного использования частот и совместимости**

(2017)

Сфера применения

В настоящей Рекомендации содержится методика моделирования и имитации сетей ИМТ¹ для применения в исследованиях совместного использования частот ИМТ и другими системами и/или применениями и совместимости между ними. В силу этого в ней не содержатся какие-либо допущения относительно системных параметров или моделирования этих других систем и/или применений, и она жестко ограничена представлением информации по системам ИМТ.

Ключевые слова

ИМТ, ИМТ-Advanced, системы подвижной связи, вопросы совместного использования частот/совместимости

Соответствующие Рекомендации и Отчеты

Рекомендация МСЭ-R М.2012 – Подробные спецификации наземных радиointерфейсов перспективной Международной подвижной электросвязи (ИМТ-Advanced).

Report ITU-R М.2292 – Characteristics of terrestrial ИМТ-Advanced systems for frequency sharing/interference analyses.

Ассамблея радиосвязи МСЭ,

учитывая,

- a) что Вопрос МСЭ-R 229/5 посвящен дальнейшему развитию наземного сегмента ИМТ и что в секторе МСЭ-R проводятся исследования, относящиеся к теме данного Вопросы;
- b) что в Резолюции **223 (Пересм. ВКР-15)** МСЭ-R предлагается провести исследования совместимости систем ИМТ и других систем и/или применений;
- c) что в Резолюции **238 (ВКР-15)** принято решение предложить МСЭ-R провести соответствующие исследования совместного использования частот и совместимости систем ИМТ и других систем и/или применений в ряде полос частот;
- d) что наряду с совершенствованием систем ИМТ-2000 и ИМТ-Advanced планируется разработка новых радиointерфейсов, поддерживающих новые возможности ИМТ-2020, в соответствии с Резолюцией МСЭ-R 57-2;
- e) что для анализа совместимости систем ИМТ и систем в других службах необходимы методики моделирования и имитации сетей ИМТ;
- f) что для реалистического моделирования систем ИМТ в сценариях совместного использования частот и совместимости требуется точное описание имитации процессов передачи сетей ИМТ, в том числе расчета суммарного воздействия,

признавая,

- a) что в Отчете МСЭ-R М.2292 представлены характеристики наземных систем ИМТ-Advanced для анализа совместного использования частот/помеховых ситуаций;

¹ Упоминание в настоящей Рекомендации ИМТ означает моделирование сетей ИМТ-Advanced и ИМТ-2020.

b) что в Рекомендации МСЭ-R М.2012 содержатся подробные спецификации наземных радиointерфейсов перспективной Международной подвижной электросвязи (ИМТ-Advanced);

c) что в Рекомендациях МСЭ-R М.2070 и МСЭ-R М.2071 представлены общие характеристики нежелательных излучений базовых станций и подвижных станций, соответственно, использующих наземные радиointерфейсы ИМТ-Advanced,

рекомендует,

чтобы моделирование и имитация сетей и систем ИМТ для применения в исследованиях совместного использования частот и совместимости выполнялись на основе методики, приведенной в Приложении 1.

Список сокращений

ACIR	Adjacent channel interference power ratio		Коэффициент мощности помех соседнего канала
ACLR	Adjacent channel leakage power ratio		Коэффициент утечки мощности в соседний канал
ACS	Adjacent channel selectivity		Избирательность по соседнему каналу
AAS	Advanced antenna system		Усовершенствованная антенная система
BS	Base station		Базовая станция
D2D	Device-to-device		Связь устройства с устройством
eMBB	Enhanced mobile broadband		Усовершенствованная подвижная широкополосная связь
FD	Full-dimension		Полноразмерный
FDR	Frequency dependent rejection		Частотно-зависимое подавление
HO	Handover		Хэндовер
M2M	Machine-to-machine		Межмашинное взаимодействие
MTC	Machine-type communications		Межмашинная связь
mMTC	Massive machine-type communications		Массовая межмашинная связь
MIMO	Multiple input multiple output		Многоканальный вход/многоканальный выход
MBB	Mobile broadband		Подвижная широкополосная связь
OOB	Out-of-band		Внеполосный
OOBE	Out-of-band emission		Внеполосные излучения
RB	Resource block		Ресурсный блок
RF	Radio frequency	РЧ	Радиочастота
UE	User equipment		Оборудование пользователя
URLLC	Ultra-reliable and low latency communications		Сверхнадежная связь с малой задержкой

Приложение 1

Методика моделирования и имитации сетей ИМТ для применения в исследованиях совместного использования частот и совместимости

1	Введение.....	4
2	Определения и базовые понятия.....	4
2.1	Сценарии использования.....	4
2.2	Сценарии развертывания.....	4
2.3	Регулирование мощности передачи.....	7
2.4	Технологии и характеристики усовершенствованных антенн.....	7
2.5	Высота антенны и структура окружающей среды.....	7
2.6	Плотность и распределение станций.....	8
2.7	Модели распространения радиоволн.....	8
2.8	Ретрансляторы для покрытия внутри помещения.....	8
2.9	Критерии защиты для ИМТ.....	8
3	Организация имитации.....	8
3.1	Топология сети.....	8
3.2	Моделирование сетей ИМТ для расчета помех.....	13
3.3	Сети FDD/TDD.....	15
3.4	Методика имитации.....	16
4	Реализация регулирования мощности оборудования пользователя (UE) ИМТ.....	24
4.1	Алгоритм регулирования мощности.....	24
5	Реализация диаграммы направленности антенны с формированием луча базовой станции (BS) и оборудования пользователя (UE) ИМТ.....	25
5.1	Диаграмма направленности элемента.....	26
5.2	Составная диаграмма направленности антенны.....	27
6	Реализация информации о трафике ИМТ.....	27
7	Определение суммарных помех.....	28
8	Демонстрация промежуточных результатов моделирования ИМТ.....	29
9	Справочные документы.....	30
	Прилагаемый документ 1 к Приложению 1.....	32
	Прилагаемый документ 2 к Приложению 1.....	33

1 Введение

В настоящем Приложении представлена методика моделирования и имитации сетей ИМТ для применения в исследованиях совместного использования частот и совместимости ИМТ и других радиосистем в разных полосах частот.

В разделе 2 приведены определения и базовые понятия сетей ИМТ в помощь при выборе надлежащей модели ИМТ. В разделе 2 представлена также информация о технических элементах, например выходная мощность и диаграмма направленности антенны, высота антенны и условия, связанные со сценариями развертывания, плотностью и распределением станций ИМТ, и информация о моделях распространения радиоволн для трасс между базовыми станциями ИМТ и подвижными станциями.

Представлены также подробные параметры системы ИМТ, которые необходимо учитывать, осуществляя такое моделирование, и их реализация для целей имитации, которая описана в разделах 3–6. В частности, в разделе 3 описаны шаги имитации для моделирования общих излучений, создаваемых сетью ИМТ (в случае, когда ИМТ является системой, создающей помехи), а также моделирования воздействия на сеть ИМТ (в случае, когда ИМТ является системой, принимающей помехи). Далее, в разделе 7, изложены соображения по расчету суммарного воздействия потенциальных помех, создаваемых системой ИМТ.

Кроме того, в разделе 8, с тем чтобы подчеркнуть важность реалистического моделирования систем ИМТ для сценариев совместного использования частот и совместимости, описаны способы сравнения моделирования системы ИМТ путем сопоставления промежуточных результатов, относящихся к производительности и функционированию системы ИМТ.

2 Определения и базовые понятия

2.1 Сценарии использования

ИМТ-Advanced – это получивший наиболее широкое распространение радиointерфейс для обеспечения подвижной широкополосной связи (МВВ). Наряду с поддержкой сценариев использования усовершенствованной подвижной широкополосной связи (еМВВ) радиointерфейс ИМТ-2020 будет поддерживать новые сценарии использования с самыми разными применениями, такими как массовая машинная связь (mMTC) и сверхнадежная связь с малой задержкой (URLLC). Эта методика применима для всех вышеуказанных сценариев и в основном предназначена для сценариев МВВ и еМВВ, которые являются доминирующими в исследованиях совместного использования частот и совместимости.

Подвижная широкополосная и усовершенствованная подвижная широкополосная связь – это результат применения технологий более эффективного использования спектра в большем объеме спектра, что делает возможным предоставление услуг передачи данных с более высокой скоростью. Массовая межмашинная связь представляет собой соединение большого числа недорогих устройств с малым потреблением энергии применительно к интернету вещей (IoT). Предусмотрена сверхнадежная связь с малой задержкой для обеспечения возможности контроля и автоматизации в реальном времени динамических процессов в разных областях, например автоматизация технологических процессов и производство, распределение энергии, интеллектуальные транспортные системы, что требует надежности и готовности очень высокого уровня, а также очень малой сквозной задержки.

Для применений mMTC и URLLC может использоваться связь устройства с устройством (D2D) и межмашинная (M2M) связь. При осуществлении связи D2D/M2M подвижные станции инициируют связь с базовыми станциями, используя свой канал управления. Трафик пользовательских данных передается по каналу данных напрямую между подвижными станциями. При таком сценарии подвижные станции расположены в пределах зоны соты, обеспечиваемой базовой станцией.

2.2 Сценарии развертывания

В плане развертывания целесообразно классифицировать сети радиодоступа ИМТ-Advanced и ИМТ-2020 как наружные либо внутренние и как обеспечивающие бесшовное покрытие широкой зоны либо покрытие малой зоны.

В таблице 1 представлено описание высокого уровня вариантов развертывания ИМТ. Категории 1 и 2 аналогичны существующей конфигурации сетей ИМТ с бесшовным покрытием макросот. Сети категории 3 и 4 для покрытия малых зон могут работать независимо или в сочетании с сетями категории 1 и 2.

ТАБЛИЦА 1
Категории сетей радиодоступа

Местонахождение подвижной станции	Бесшовное покрытие широкой зоны	Покрывание малой зоны
Наружная подвижная станция	Категория 1 Традиционная макросота (всенаправленная антенна, секторная антенна, антенна с формированием луча)	Категория 3 Покрывание наружной малой зоны (всенаправленная антенна, секторная антенна, антенна с формированием луча)
Внутренняя подвижная станция	Категория 2 Покрывание наружной макросотой (всенаправленная антенна, секторная антенна, антенна с формированием луча)	Категория 4 Покрывание внутренней малой зоны (всенаправленная антенна, секторная антенна, антенна с формированием луча)

Наряду с этим сети радиодоступа могут классифицироваться по каждому сценарию развертывания с учетом следующих факторов:

- a) окружающая среда (сельская/пригородная/городская/внутри помещения);
- b) бесшовное покрытие широкой зоны/покрытие малой зоны.

В таблице 2 определены шесть сценариев развертывания как сочетание вышеприведенных факторов a) и b). Три сценария развертывания – макросота в сельской среде, макросота в пригородной среде и макросота в городской среде – аналогичны существующей конфигурации сетей ИМТ с бесшовным покрытием макросоты. Остальные три сценария развертывания – микросота в пригородной среде, микросота в городской среде и микросота внутри помещения – предназначены для покрытия малых зон.

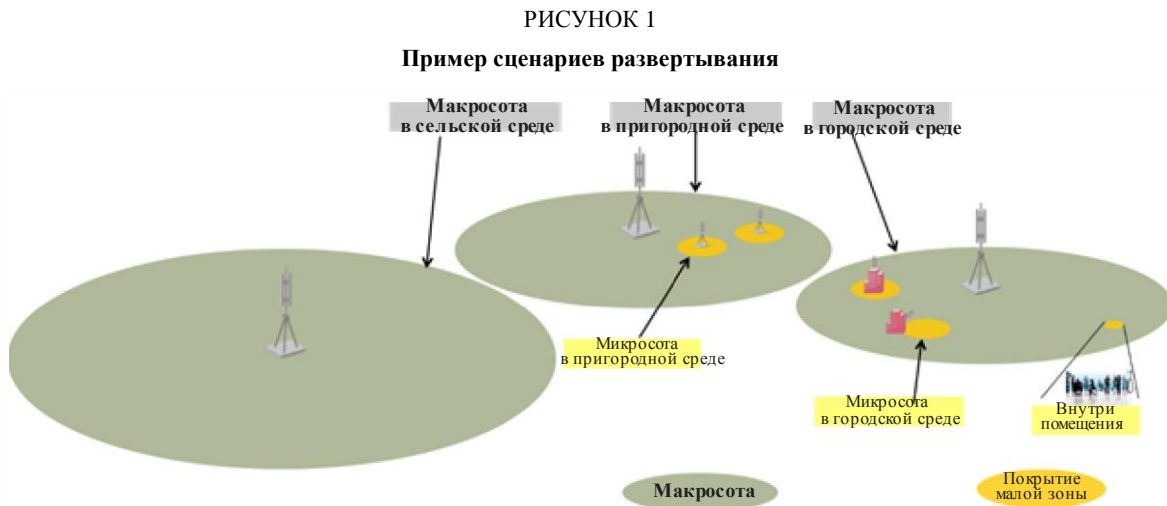
В некоторых случаях три последних сценария могут работать независимо, однако значительно чаще они работают в сочетании с тремя первыми сценариями развертывания.

Классификация сценариев развертывания в таблице 2 применима к соответствующим моделям ИМТ и связанным с ними условиям распространения в целях проведения надлежащего моделирования ИМТ для исследований совместного использования частот.

ТАБЛИЦА 2
Сценарии развертывания сетей радиодоступа

Местонахождение подвижной станции	Бесшовное покрытие широкой зоны	Покрывание малой зоны
Сельская местность	Макросота в сельской среде	Неприменимо
Пригород	Макросота в пригородной среде	Микросота в пригородной среде
Город	Макросота в городской среде	Микросота в городской среде
Внутри помещения	Неприменимо	Внутри помещения

На рисунке 1 приведена иллюстрация возможных сценариев, которые описаны ниже



M.2101-01

(1) Макросота в сельской среде

Сценарий развертывания в сельской местности предназначен для обеспечения покрытия более крупной и непрерывной широкой зоны. Антенны базовой станции устанавливаются, как правило, на вершине мачты.

(2) Макросота в пригородной среде

Сценарий макросоты в пригородной среде предназначен для обеспечения бесшовного покрытия сельских зон (преимущественно населенных), а также поселков городского типа с малоэтажными зданиями, но исключая ненаселенные зоны между ними. Антенны базовой станции устанавливаются, как правило, на мачте/крыше, а пользователи могут находиться либо вне помещения, либо внутри помещения.

(3) Макросота в городской среде

Сценарий макросоты в городской среде предназначен для многоэтажных зданий, когда антенны базовой станции устанавливаются, как правило, на уровне или выше уровня крыши. Мощность базовой станции может меняться в зависимости от местных потребностей развертывания и покрытия. Пользователи могут находиться либо вне помещения, либо внутри помещения. Ретрансляторы для покрытия внутри помещения, если используются, считаются эквивалентными оборудованию пользователя (UE) и, соответственно, обрабатываются как UE.

(4) Микросота в пригородной среде

Сценарий микросоты в пригородной среде предназначен для увеличения пропускной способности в малых жилых районах с малоэтажными зданиями в пригородных областях. Антенны базовой станции устанавливаются, как правило, на опорах. Пользователи могут находиться либо вне помещения, либо внутри помещения. Ретрансляторы для покрытия внутри помещения, если используются, считаются эквивалентными UE и, соответственно, обрабатываются как UE.

(5) Микросота в городской среде

Сценарий микросоты в городской среде предназначен для многоэтажных зданий, когда антенны базовой станции устанавливаются ниже уровня крыши. Антенны базовой станции разворачиваются обычно как односекторные антенны или антенны с формированием луча с низкой выходной мощностью. В этом сценарии развертывания антенны находятся в среде, в которой условия распространения радиоволн характеризуются доминированием эффектов блокирования и/или многократных отражений/рассеяний, например уличная микросота или точка доступа. Пользователи могут находиться либо вне помещения, либо внутри помещения.

(6) Внутри помещения

Сценарий покрытия внутри помещения наиболее часто применяется в городской или пригородной среде. Базовые станции и пользователи находятся внутри помещения.

2.3 Регулирование мощности передачи

При проведении исследований для оценки воздействия полной сети ИМТ следует учитывать вариативный характер сети ИМТ, в особенности регулирование мощности.

Для линии вверх: устройства некоторых типов (например, маломощные устройства для применений МТС) могут работать без какого-либо регулирования мощности, но для устройств других типов (например, устройства усовершенствованной подвижной широкополосной связи) регулирование мощности используется. Регулирование мощности компенсирует полностью или частично разницу в потерях из-за переходного затухания между устройствами, подсоединенными к BS, и имеет начальный целевой уровень приема на ресурсный блок (RB).

Для линии вниз: используется несколько типов базовых станций (макро, микро, пико, фемто и т. д.), и для каждого существует разный уровень э.и.и.м. Выходная мощность базовых станций для сценариев микросоты в городской среде и внутри помещения, которые описаны в п. 2.2, как правило, меньше, чем выходная мощность в других сценариях развертывания. Схема регулирования мощности на линии вниз в базовой станции не применяется, и мощность передачи на ресурсный блок (RB) является постоянной. Суммарная мощность на линии вниз изменяется в зависимости от числа используемых RB. Однако в настоящей Рекомендации это явление моделируется иным образом. (См. п. 3.4).

2.4 Технологии и характеристики усовершенствованных антенн

В течение последних лет происходило развитие антенн базовых станций ИМТ, направленное на оптимизацию передачи или приема сигналов. Наряду с этим в терминалах ИМТ увеличилось число приемных антенн.

При наличии большого числа антенных элементов как в базовой станции, так и в терминале, реализуются новые возможности. Многоканальный вход/многоканальный выход (MIMO) позволяет использовать несколько потоков сигналов для разнесенной передачи, пространственного мультиплексирования, формирования луча или управления нулевым положением диаграммы направленности в одном или другом направлении.

В дополнение к работе в нижних диапазонах частот ИМТ-2020 работает также в полосах верхних частот. Размеры антенны соответствуют частоте, что позволяет использовать на базовых станциях и терминалах меньшую площадь, облучаемую антенной, с увеличением числа антенных элементов на верхних частотах. Увеличенное число антенных элементов обеспечивает более узкую форму луча и может снизить потенциальные помехи, создаваемые для не являющихся целевыми приемников. Кроме того, более высокое усиление луча может снизить потери на верхних трассах на более высоких, например миллиметрового диапазона, частотах и поддерживать несколько потоков сигналов для нескольких пользователей (что также называется многопользовательским (MU)-MIMO).

2.5 Высота антенны и структура окружающей среды

Вокруг базовых станций в сельской среде существует несколько архитектурных сооружений, которые препятствуют распространению радиоволн по линии прямой видимости. По мере того, как вокруг антенн базовых станций появляются более высокие и более плотно расположенные архитектурные сооружения, пригородная среда становится городской. Следовательно, негативное воздействие на распространение радиоволн будет зависеть от позиции антенн базовых станций и архитектурных сооружений вокруг них.

2.6 Плотность и распределение станций

Вычисляя суммарные помехи, необходимо учитывать гибкую плотность и распределение радиостанций. Потребность в высокоскоростном трафике данных возникает в основном в отдельных районах точек доступа. Развертывание в полосах верхних частот зачастую не обеспечивает покрытия всех зон в стране/регионе, так как покрытие может быть дополнено при использовании полос нижних частот.

2.7 Модели распространения радиоволн

Существует большое число конфигураций развертывания ИМТ, от однослойной однородной сети, например сети макросот, до многослойных неоднородных сетей, например сеть макро-/микро-сот или сеть макро-/пико-сот и т. д., и они должны работать в условиях распространения в направлении снаружи-снаружи, снаружи-внутри и внутри помещений, в нескольких диапазонах частот.

Необходимо также принимать во внимание условия распространения между системой ИМТ и системами других служб, зависящие от условий сосуществования. Уже имеется несколько моделей, например представленные в рекомендациях МСЭ-R серии Р или отчетах МСЭ-R. Для расчета потерь на трассе между базовыми станциями ИМТ и UE см. также Отчет МСЭ-R М.2135.

Эффекты распространения радиоволн между создающими и принимающими помехи системами не входят в сферу применения настоящей Рекомендации. Однако при выборе моделей распространения следует принимать во внимание условия развертывания систем ИМТ, в том числе местоположение антенн станций, окружающие физические структуры и рабочие частоты.

2.8 Ретрансляторы для покрытия внутри помещения

Для решения проблемы значительных потерь при проникновении сигнала в здание эффективным может оказаться использование настенных ретрансляторов, размещенных снаружи зданий или у окна внутри зданий, с тем чтобы упростить организацию распространения радиоволн по линии почти прямой видимости к базовой станции.

2.9 Критерии защиты для ИМТ

Критерии защиты приведены в документах МСЭ-R, например в Отчете МСЭ-R М.2292, где в качестве критерия защиты приведено отношение помехи к шуму I/N . I/N – это отношение допустимого уровня межсистемных помех, принимаемых приемником ИМТ, к уровню шума приемника (тепловой шум + коэффициент шума приемника).

При моделировании сетей ИМТ для оценки потери пропускной способности или прерывания в работе системы ИМТ в результате межсистемных помех может также использоваться ухудшение значения отношения несущей к помехе плюс шум ($C/(I + N)$).

3 Организация имитации

При моделировании и имитации сетей ИМТ для целей исследования возможности сосуществования важно выбрать надлежащие условия развертывания. Принятые условия развертывания – это важнейший аспект, непосредственно влияющий на результаты любого исследования совместного использования частот. К примерам таких факторов относится объективный выбор среды, в которой будет работать предполагаемая сеть ИМТ (городская/пригородная/сельская), и полос частот, которые будут использоваться при имитации ИМТ. Наряду с этим может учитываться плотность и распределение станций и э.и.м. в зависимости от таких факторов, как размер зоны, по которой суммируются помехи. Другие факторы, которые необходимо учитывать, рассматриваются ниже.

3.1 Топология сети

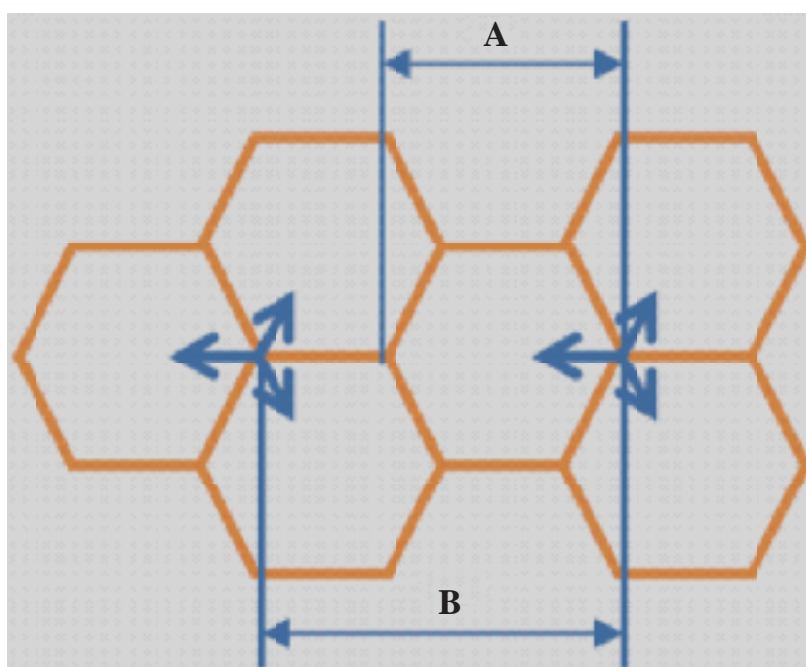
Существуют два разных вида структуры сети: однородные сети и неоднородные сети. Структура однородных сетей состоит из базовых станций одного типа. Это могут быть базовые марко-, микро-станции или базовые станции в помещении. Структура неоднородных сетей состоит из базовых станций по крайней мере двух типов. При исследовании для большой области или территории всей страны может потребоваться сочетание сетевых структур.

3.1.1 Сеть с макросотами

Базовые макростанции часто размещаются на крыше. На рисунке 2 показана геометрия трехсекторного развертывания, а также параметры радиуса соты (А) и расстояние между площадками станций (В). Каждая сота (называемая также "сектор") показана в виде шестиугольника, и на указанном рисунке показаны три соты/сектора для каждой площадки базовой станции. Размеры сот в сетях ИМТ могут существенно различаться в зависимости от среды, частоты несущей и типа базовой станции.

Проводя исследования для большой области или территории всей страны с использованием радиусов сот, соответствующих развертыванию в городской и пригородной среде, следует принимать во внимание те, которые развернуты в ограниченных центральных зонах крупных городов и пригородных областях.

РИСУНОК 2
Геометрия макросот

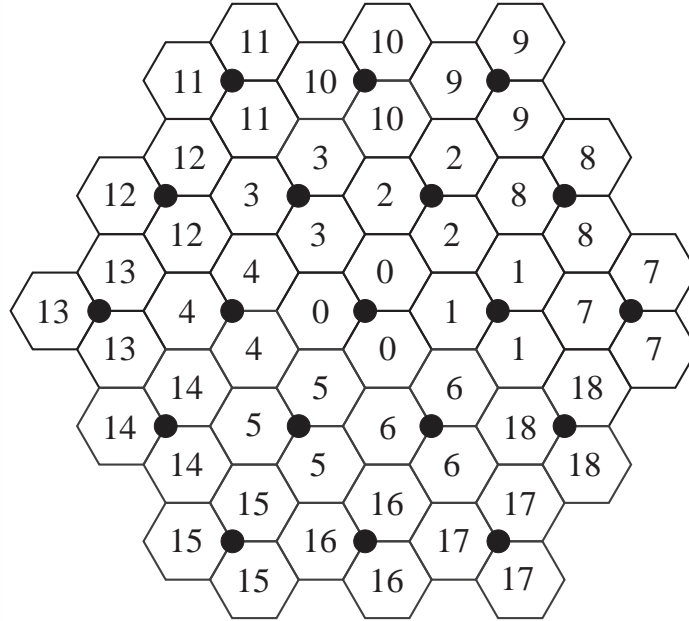


М.210102

Пример топологии сети с макросотами представлен на рисунке 3. Весь район сети, актуальный для имитации, представляет собой кластер из 19 площадок по три сектора в каждой (площадки 0–18 на рисунке), где другие кластеры 19 площадок повторяются вокруг этого центрального кластера по методу обертывания, который используется для устранения краевых эффектов при развертывании сети. (Информацию о методе обертывания см. в Прилагаемом документе 2.) В некоторых сценариях, например в трансграничных условиях, может потребоваться моделирование краевых эффектов.

РИСУНОК 3

План с макросотами (центральный кластер)



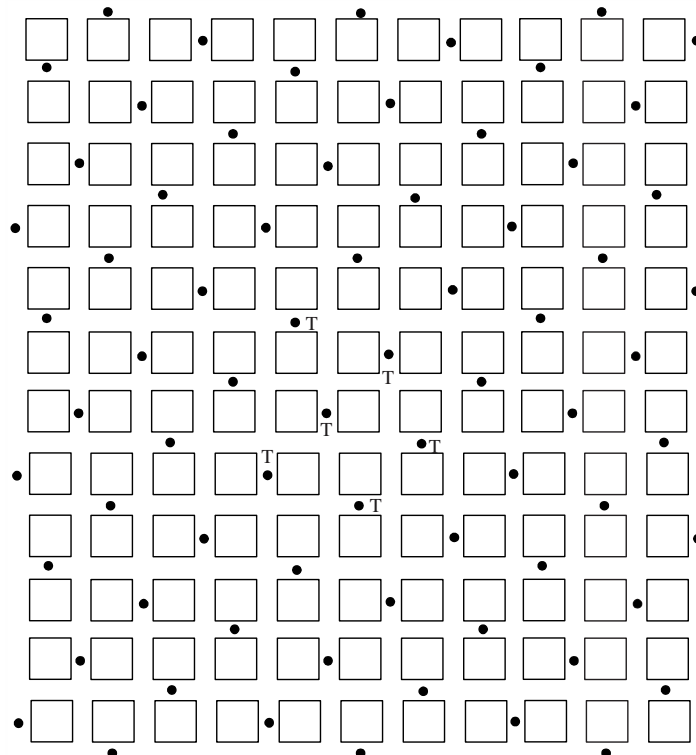
М.210103

3.1.2 Сеть с микросотами

В городской среде базовые микростанции размещаются, как правило, ниже крыши. Одним из примеров топологии с микросотами [2] является так называется манхэттенская модель. Базовые станции микросот помещаются в манхэттенскую сетку, как показано на рисунке 4.

РИСУНОК 4

Топология с микросотами



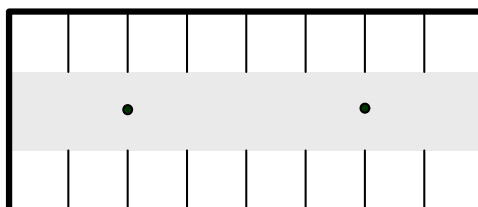
М.210104

3.1.3 Точка доступа в помещении

В этом сценарии базовые станции размещаются в помещении. Примером сценария точки доступа в помещении служит один этаж здания. Топология соты в помещении показана на рисунке 5. Размеры соты в помещении могут быть разными в зависимости от полосы частот и конфигурации внутренних конструкций здания. Для сценария совместного использования в многоэтажном доме для имитации каждого этажа будут использоваться аналогичные развертывания. Если система ИМТ в помещении рассматривается как система, создающая помехи, следует учитывать потери при проникновении сигнала в помещение.

РИСУНОК 5

План точки доступа в помещении

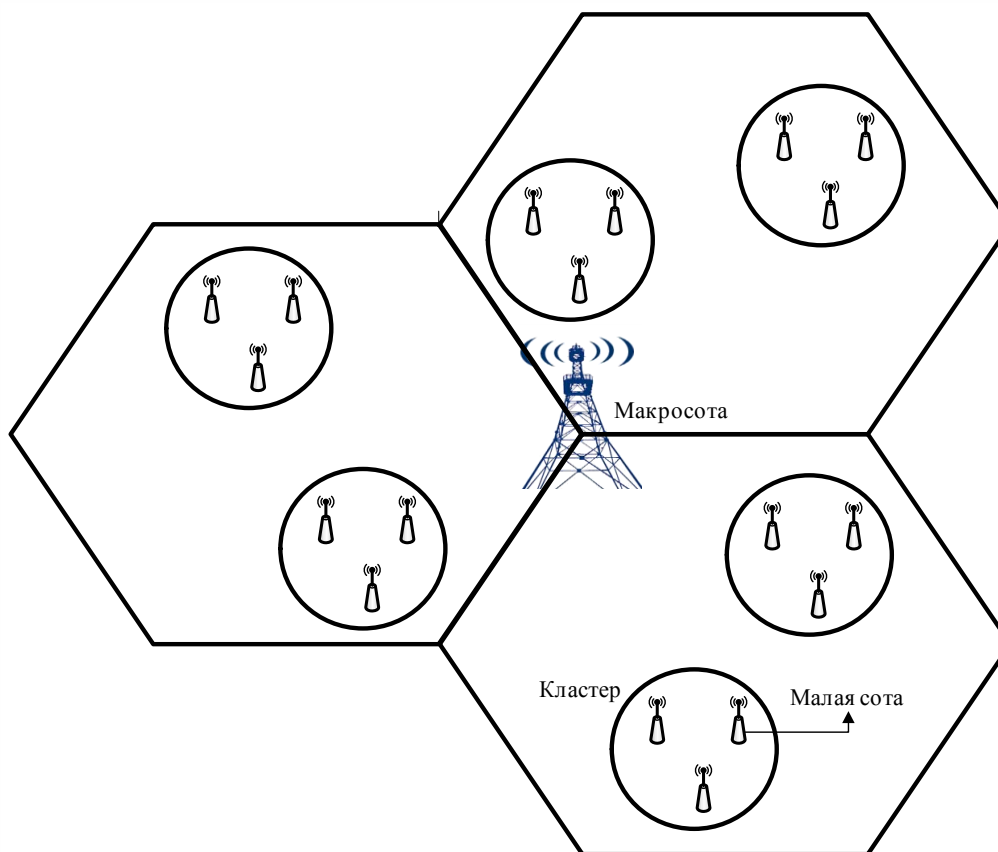


М.2101-05

3.1.4 Неоднородная сеть

На рисунке 6 представлен пример неоднородной сети, которая состоит из макросот и микросот. В зоне покрытия макросоты распределены несколько кластеров микросот. Каждый кластер состоит из нескольких сот, которые могут быть размещены произвольным образом или расположены в фиксированных и предопределенных позициях.

РИСУНОК 6
План неоднородной сети



M.210106

На основании плана, представленного на рисунке 6, формирование процесса, используемого при распределении базовых микростанций (микро-BS), может быть выполнено за два последовательных шага:

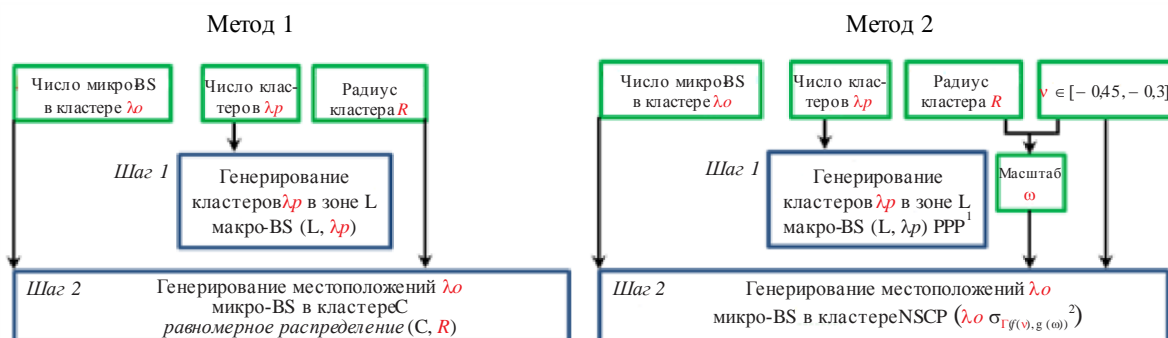
шаг 1: генерирование λ_p кластеров в зоне макросоты после распределения $D_{cluster}$,

шаг 2: генерирование в каждом кластере λ_o расположения базовых микростанций после распределения D_{BS} .

Ниже описаны два способа выполнения этих шагов. В обоих используется топология микро-BS с некоторым количеством кластеров λ_p и радиус кластера R , где в каждом кластере размещено некоторое число микро-BS λ_o .

РИСУНОК 7

Схема процесса генерирования базовых микростанций



M.2101-07

На вышеприведенном рисунке 7 метод 1 базируется на [1] и принято равномерное случайное распределение (в пределах географической макрозоны) кластеров, а также местоположений микро-BS в пределах каждого кластера, а метод 2 базируется на реальных развертываниях микро-BS [8], для него требуется дополнительный параметр ν и учитываются различные распределения вероятностей для кластеров (пуассоновский точечный процесс (PPP)) и местоположений микро-BS (дисперсионное гамма-распределение σ_{Γ}). Более подробно о значении и взаимосвязи R , ω и ν см. в Прилагаемом документе 1. Следует отметить, что для исследований совместного использования частот действительны оба метода, метод 2 более подходит для случая, когда подвергающийся воздействию помех приемник не относящейся к ИМТ службы расположен вблизи базовых станций ИМТ (например, в той же городской среде).

Во избежание сильных помех от макросоты в микросоте используется, как правило, иная полоса частот. Проводя исследования совместного использования частот для сети, в которой используются разные частоты для двух слоев ИМТ, достаточно имитировать только слой, соседний или перекрывающийся с частотой принимающей помехи системы. Однако при такой имитации следует учитывать, что в имитируемом слое ИМТ переносится не весь трафик.

Для сети, в которой используется несколько частот, в макросоте будет использоваться нижняя полоса частот для полного покрытия.

3.2 Моделирование сетей ИМТ для расчета помех

При исследовании совместного использования частот и совместимости следует учитывать разные типы помех в зависимости от конкретного сценария. Различные сценарии рассматриваются в данном разделе.

Для сценариев, в которых участвуют системы ИМТ и не-ИМТ эффекты в совмещенном и соседнем канале могут рассматриваться совместно как частотно-зависимое подавление (FDR), описанное в Рекомендации МСЭ-R SM.337.

3.2.1 Излучения в совмещенном канале

В сценарии, в котором создающая помехи и принимающая помехи системы работают на одинаковой частоте (совмещенный канал), основным типом помех, которые следует учитывать, являются помехи, создаваемые излучаемой в совмещенном канале мощностью источника помех.

3.2.2 Излучения в соседнем канале

В сценарии с участием соседней полосы, когда создающая помехи и принимающая помехи системы работают на разных частотах, необходимо учитывать два типа помех:

- нежелательные излучения источника помех: нежелательные излучения, которые состоят из внеполосных излучений и побочных излучений;
- показатель блокирования приемника подвергающейся помехам системы: возможность приемника принимать полезный сигнал в пределах ширины полосы присвоенного канала в присутствии помех.

3.2.2.1 Нежелательные излучения источника помех

3.2.2.1.1 Помехи – внеполосные излучения (ООВ)

Внеполосные излучения источника помех – это нежелательное излучение на частоте или на частотах, непосредственно примыкающих к необходимой ширине полосы частот, которое является результатом процесса модуляции, но не включает побочных излучений.

Для систем ИМТ ООВ излучения источника помех P_{tx}^{OOB} могут быть рассчитаны следующим образом:

$$P_{tx}^{OOB} = P_{tx} - ACLR \quad \text{дБ}, \quad (1)$$

где:

- P_{tx} (дБм): выходная мощность передатчика источника помех;
- $ACLR$ (дБ): коэффициент утечки мощности в соседний канал, который является отношением отфильтрованной средней мощности (интегрированной по ширине полосы присвоенного канала) с центром на частоте присвоенного канала к отфильтрованной средней мощности с центром на частоте соседнего канала. $ACLR$ может быть выведен также по маске внеполосных излучений, которая приведена в соответствующих спецификациях, например 3GPP[6][7].

Возможно потребуется информация об ООВ излучениях других (не-ИМТ) систем, которая может или не может быть определена по $ACLR$.

3.2.2.1.2 Помехи – побочные излучения

Побочные излучения – это излучение на частоте или на частотах, расположенных за пределами области ООВ излучений, уровень которого может быть снижен без ущерба для соответствующей передачи сообщений. К побочным излучениям относятся гармонические излучения, паразитные излучения, продукты интермодуляции и частотного преобразования, но к ним не относятся внеполосные излучения.

Для систем ИМТ значение побочных излучений $P_{tx}^{spurious}$, определенное в данной полосе частот, может быть приведено в соответствующих спецификациях, например Отчет МСЭ-R М.2292, а также в 3GPP.

Аналогично ООВ излучениям, для побочных излучений может быть рассчитано и использоваться в имитации эквивалентное значение $ACLR$ ($ACLR_{equiva}$). Далее, значение $P_{tx}^{spurious}$ может быть получено следующим образом:

$$P_{tx}^{spurious} = P_{tx} - ACLR_{equiva} \quad \text{дБ}. \quad (2)$$

Возможно потребуется информация о побочных излучениях других (не-ИМТ) систем, которая может или не может быть определена по $ACLR$.

3.2.2.2 Блокирующие помехи

Характеристика блокирования – это мера способности приемника принимать полезный сигнал в присвоенном канале в присутствии источника мешающих сигналов.

Для систем ИМТ значение блокирующих помех $P_{blocking}$ может быть получено следующим образом:

$$P_{blocking} = P_{rx} - ACS \quad \text{дБ}, \quad (3)$$

где:

P_{rx} (дБм): средняя мощность мешающего сигнала на входе приемника;

ACS (дБ): избирательность по соседнему каналу, которая является мерой способности приемника принимать сигнал на частоте его присвоенного канала в присутствии модулированного сигнала в соседнем канале. Значение ACS может быть рассчитано по значению ACS /уровня блокирования помех, которое определено в соответствующим спецификациях. См. Отчет МСЭ-R M.2039-3, примечание (27) к таблице 2, или 3GPP TR 36.942.

Возможно потребуется информация о характеристиках блокирования других (не-ИМТ) систем, которая может или не может быть определена по значению избирательности по соседнему каналу (ACS).

3.2.3 ACIR/FDR

Коэффициент мощности помех соседнего канала ($ACIR$) определяется как отношение суммарной мощности, передаваемой от источника (базовая станция или UE), к суммарной мощности помех, воздействующих на подверженный помехам приемник, которые обусловлены недостатками как передатчика, так и приемника. $ACIR$ широко используется в ситуациях, когда обе системы – создающая и принимающая помехи – являются системами ИМТ. Таким образом, $ACIR$ – это комбинированное значение двух типов помех (нежелательные излучения и блокирующие помехи), которое рассчитывается по уравнению (4), где $ACLR$ и ACS выражены в линейной форме.

$$ACIR^{-1} = ACLR_{TX}^{-1} + ACS_{RX}^{-1}. \quad (4)$$

Если значения ACS и $ACLR$ недоступны, значение $ACIR$ может быть заменено значением FDR , которое описано в Рекомендации МСЭ-R SM.337.

3.2.4 Характеристики фактических реализаций оборудования ИМТ

Достижимые характеристики реальных реализаций оборудования ИМТ, такие как уровни нежелательных излучений или характеристика блокирования, как правило, лучше в обычных условиях, чем в тех, которые указаны в стандартах.

Таким образом, при моделировании систем ИМТ можно принимать во внимание практическое проектное решение оборудования ИМТ. При наличии информации, например результаты измерений уровней нежелательных излучений реальных реализаций оборудования, моделируя системы ИМТ, можно учитывать разницу между указанными в спецификации и измеренными значениями.

3.3 Сети FDD/TDD

Сеть ИМТ может работать как сеть дуплексной связи с частотным разделением каналов (FDD) (использование разных полос частот для линии вверх и линии вниз), как сеть дуплексной связи с временным разделением каналов (TDD) (использование одной и той же полосы частот для линии вверх и линии вниз в условиях синхронизированного/несинхронизированного, фиксированного или переменного отношения линии вверх/линии вниз), либо как только сети линии вниз/линии вверх. При моделировании ИМТ это следует учитывать, разрабатывая сценарий имитирования.

Если суммарная помеха в направлении принимающей помехи системы поступает с большой/очень большой земной зоной, такой, например, как спутник или высотная платформа, может потребоваться, чтобы имитатор мог учитывать несколько географически разделенных сетей ИМТ.

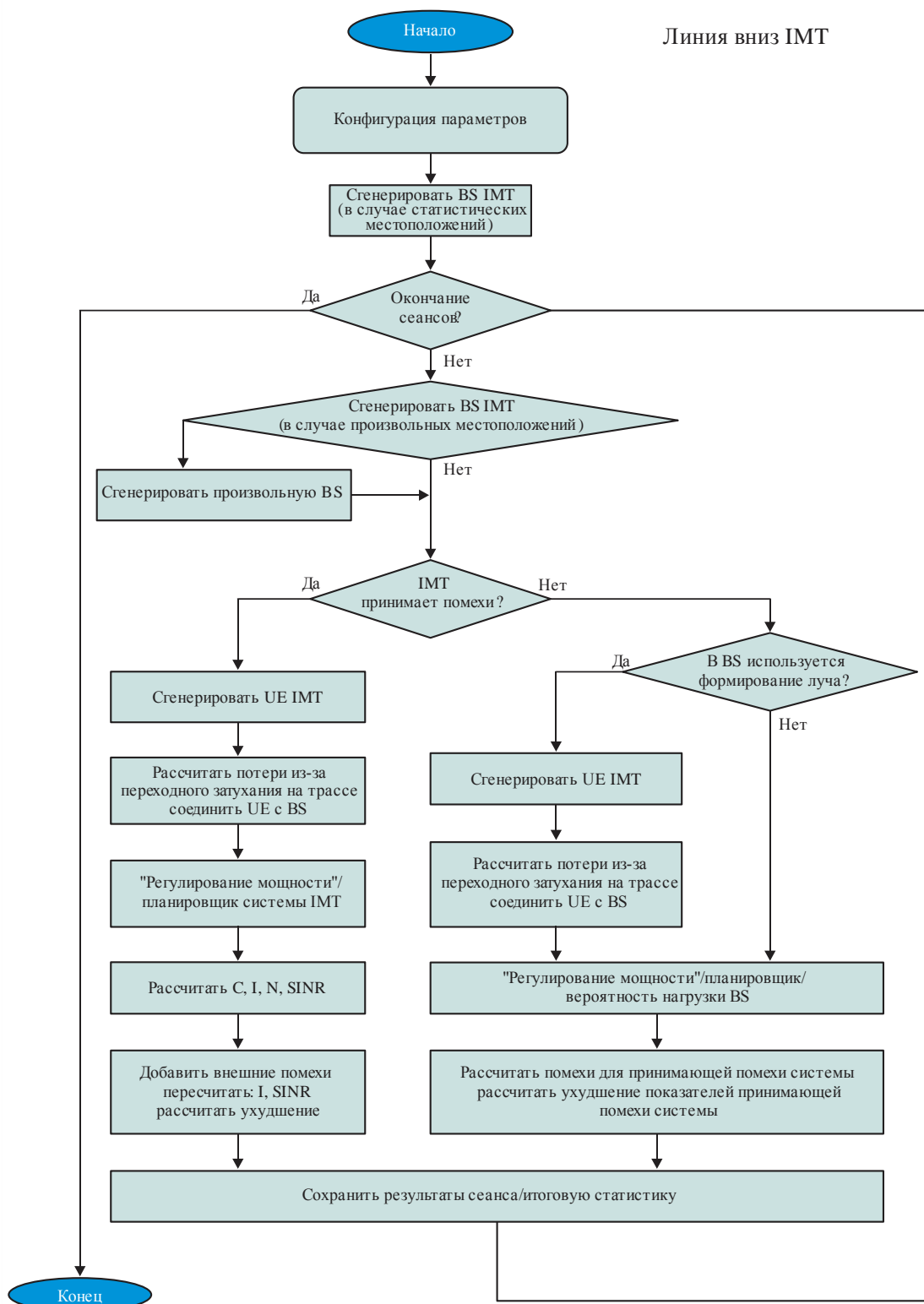
3.4 Методика имитации

В данном разделе описана методика имитации по шагам, которой необходимо следовать для генерирования излучений на линии вверх и линии вниз от сети ИМТ для целей проведения исследований сосуществования.

Этот метод является имитацией системного уровня, и он широко применяется при исследовании совместного использования частот и совместимости с участием сетей ИМТ. Метод основан на анализе по принципу Монте-Карло и позволяет оценить вероятность помех, одновременно имитируя межсистемные помехи от нескольких источников мешающих сигналов. На результате оценки отражается также воздействие, оказываемое различными допущениями в отношении топологии сети, различными алгоритмами регулирования мощности и различными значениями плотности распределения мешающих передатчиков. Следует отметить, что метод расчета показателей характеристик подвергающейся помехам системы не-ИМТ, как показано на рисунках 8 и 9, а также моделирование иных систем не входит в сферу применения настоящей Рекомендации.

Статический метод, описанный ниже, может служить основой для более сложных моделей, в которых, например, учитывается фактор времени. В такой модели будут учитываться изменения уровня помех с течением времени, например в случае перемещения UE, создающего помехи наземным системам без повторной передачи, например радиовещательным приемникам. Типовая блок-схема статической имитации представлена ниже.

РИСУНОК 8
Блок-схема метода имитации линии вниз



M.2101-08

3.4.1 Линия вниз

Создать сетку (в случае статического размещения в фиксированных позициях) местоположений базовых станций (BS) в зависимости от выбранного сценария использования/развертывания.

Для $i=1$ до числа сеансов

- 1 В зависимости от выбранного алгоритма действий некоторые из шагов а–f могут не потребоваться для данного сеанса.
- Создать/распределить произвольным образом узлы BS в случае сетки BS с произвольно расположенными узлами BS.
 - Распределить достаточное² число единиц UE произвольным образом в зоне системы так, чтобы то же число K "выбранных" пользователей (UE, принимающее данные от BS в данном сеансе) было распределено в каждой соте в границах хэндовера (НО). Значение K будет зависеть от сценария использования/развертывания, частоты и ширины полосы. Рассчитать потери на трассе из-за переходного затухания ($\max \{ \text{потери при распространении} + \text{замирание} + \text{усиление антенны} \}$, MCL) от каждой единицы UE ко всем BS. Если в сетке BS используется обертывание, определить также наименьшие значения потерь из-за переходного затухания между UE и базовыми станциями.
 - Соединить произвольным образом UE с BS, величина потерь из-за переходного затухания на трассе к которой находится в пределах наименьшего значения потерь из-за переходного затухания плюс границы НО.
 - Выбрать произвольным образом K единиц UE из всех единиц UE, соединенных с одной BS, как "выбранное" UE. Эти K единиц "выбранного" UE будут планироваться во время данного сеанса. Если используется формирование луча, направить выбранные лучи BS/UE друг на друга.
 - Все доступные ресурсные блоки (RB) будут распределены "выбранному" UE, и каждая единица UE планируется с тем же количеством n ресурсных блоков. Таким образом, передаваемая мощность BS на единицу UE является фиксированной.
 - BS осуществляют передачу с полной мощностью или не ведут передачу при вероятности нагрузки, то есть $x\%$ базовых станций произвольно выбираются для передачи, а остальные остаются в режиме молчания. См. раздел 6.

Значение x может быть либо единым, либо выбранным произвольным образом из некоторого диапазона в каждом сеансе.

Для тех BS, которые осуществляют передачу, мощность на единицу UE³ рассчитывается следующим образом:

Пусть P_{BS}^{Max} означает максимальную мощность передачи BS,

$M = n \times K$ – число всех доступных RB для каждой BS,

P_{BS}^{UE} – мощность передачи от BS к "выбранному" UE, и

n – число ресурсных блоков на единицу UE,

$$P_{BS}^{UE} = P_{BS}^{Max} \frac{n}{M}. \quad (5)$$

Если линия вниз ИМТ действует как создающая помехи система, перейти к шагу 2.

Если линия вниз ИМТ действует как принимающая помехи система, продолжить выполнение шага 3.

² "Достаточное число оставленных (распределенных) устройств будет зависеть и от используемого капельного метода, то есть производится ли распределение капель произвольно в пределах зоны покрытия каждой BS или произвольно в пределах всей зоны покрытия сети, и от числа K , которое должно быть распределено каждой BS. Как правило, достаточно число составляет от $2 \cdot K$ до $10 \cdot K$, для того чтобы обеспечить требуемое распределение на одну BS в зависимости от используемого капельного метода".

³ Как показано в блок-схеме, один возможный путь не требует создания единиц UE. В случае этого пути установить $P_{BS}^{UE} = P_{BS}^{Max}$ для непрерывных действий на шагах 2 и 6.

- 2 Выбрать линию вниз ИМТ, которая будет действовать как источник помех.
- а) Произвольным образом выбрать $x\%$ базовых станций в зависимости от нагрузки системы и помеховых условий (ближайший источник помех или суммарная помеха), которые будут действовать как источники помех в направлении принимающей помехи системы.
- б) Предположив, что моделируется принимающая помехи система, применить помехи в направлении принимающей помехи системы и рассчитать ухудшение ее показателей.

Рассчитать внешние помехи от каждой линии вниз системы ИМТ в направлении принимающей помехи системы.

Закольцевать все выбранные BS от $j=1$ до N_{cell} (число выбранных BS в зоне системы).

Закольцевать все единицы "выбранного" UE в выбранной BS от $k=1$ до K , после чего помехи от BS $_j$ (когда обслуживается ее K -ая единица UE) могут быть рассчитаны следующим образом:

$$I_{External}(TX_{BS_j}^{UE_k}, RX^{victim}) = P_{BS}^{UE} \times CL_{External}(TX_{BS_j}^{UE_k}, RX^{victim}) / ACIR_{linear}, \quad (6)$$

где:

$CL_{External}(TX_{BS_j}^{UE_k}, RX^{victim})$: потери из-за переходного затухания от BS $_j$ (когда обслуживается ее K -ая единица UE) системы ИМТ к принимающему помехи приемнику, что включает потери на трассе, потери при проникновении, замирание вследствие затенения и усиление антенны на передатчике/приемнике.

Если используется FDR, заменить $ACIR_{linear}$ на FDR.

$I_{External}(TX_{BS_j}^{UE_k}, RX^{victim})$: межсистемные помехи от BS $_j$ (когда обслуживается ее K -ая единица UE) в направлении принимающего помехи приемника.

Суммарные межсистемные помехи выражаются следующим образом:

$$I_{External} = \sum_j \sum_k I_{External}(TX_{BS_j}^{UE_k}, RX^{victim}), \quad (7)$$

где:

$I_{External}$: суммарная помеха от внешней системы в направлении принимающей помехи системы.

Рассчитать воздействие внешних помех на принимающую помехи систему. Расчет воздействия на принимающую помехи систему не-ИМТ не входит в сферу применения настоящей Рекомендации и зависит от сценария совместного использования частот.

- с) Перейти к шагу 6.

- 3 Выбрать линию вниз ИМТ в качестве принимающей помехи системы.

- а) Произвольным образом выбрать $x\%$ базовых станций в зависимости от нагрузки системы.
- б) Рассчитать C/I линии вниз для всех единиц "выбранного" UE.

Закольцевать все выбранные BS от $j=1$ до N_{cell} (число выбранных BS в зоне системы).

Закольцевать все единицы "выбранного" UE в выбранных BS от $k=1$ до K .

Для k -ой единицы "выбранного" UE в j -ой соте (то есть UE $_{j,k}$) значение ее C/I определяется

следующим образом: $\frac{C(j,k)}{I(j,k)}$.

$C(j,k)$ – принимаемая мощность от обслуживающей BS, то есть j -ой BS.

$$C(j,k) = P_{BS}^{UE} \times pathCouplingLoss(UE_{j,k}, BS_j) \quad (8)$$

$I(j, k)$ – мощность помехи, которая складывается из межсистемных помех (от других сот собственной сети) $I_{intra}(j, k)$, и теплового шума N_t .

$$I(j, k) = I_{intra}(j, k) + N_t \quad (9)$$

$$I_{intra}(j, k) = \sum_{l=1, l \neq j}^{N_{cell}} P_{BS}^{UE} \times pathCouplingLoss(UE_{j,k}, BS_l) \quad (10)$$

$$N_t = 10^{\left(10 \log_{10}(kT) + 10 \log_{10}(bandwidth\ of\ n\ RBs) + NoiseFigure_{UE}\right) / 10} \quad (11)$$

где $10 \log_{10}(kT)$ – спектральная плотность мощности шума в дБм.

- 4 Добавить внешние помехи Z_y , которые складываются из помех y , каждая из которых обладает мощностью $P_{ext,y}$. Если помехи возникают только в одной соте или в небольшом числе сот, основные помехи должны быть помещены в активную соту (т. е. соту с выбранной BS).

Рассчитать для принимающей внешние помехи линии вниз $C/I = \left(\frac{C(j, k)}{I(j, k)}\right)$ для всех единиц

"выбранного" UE.

$C(j, k)$, $I_{intra}(j, k)$ и N_t те же, что и на шаге 3.

$$I(j, k) = I_{intra}(j, k) + I_{external}(j, k) + N_t \quad (12)$$

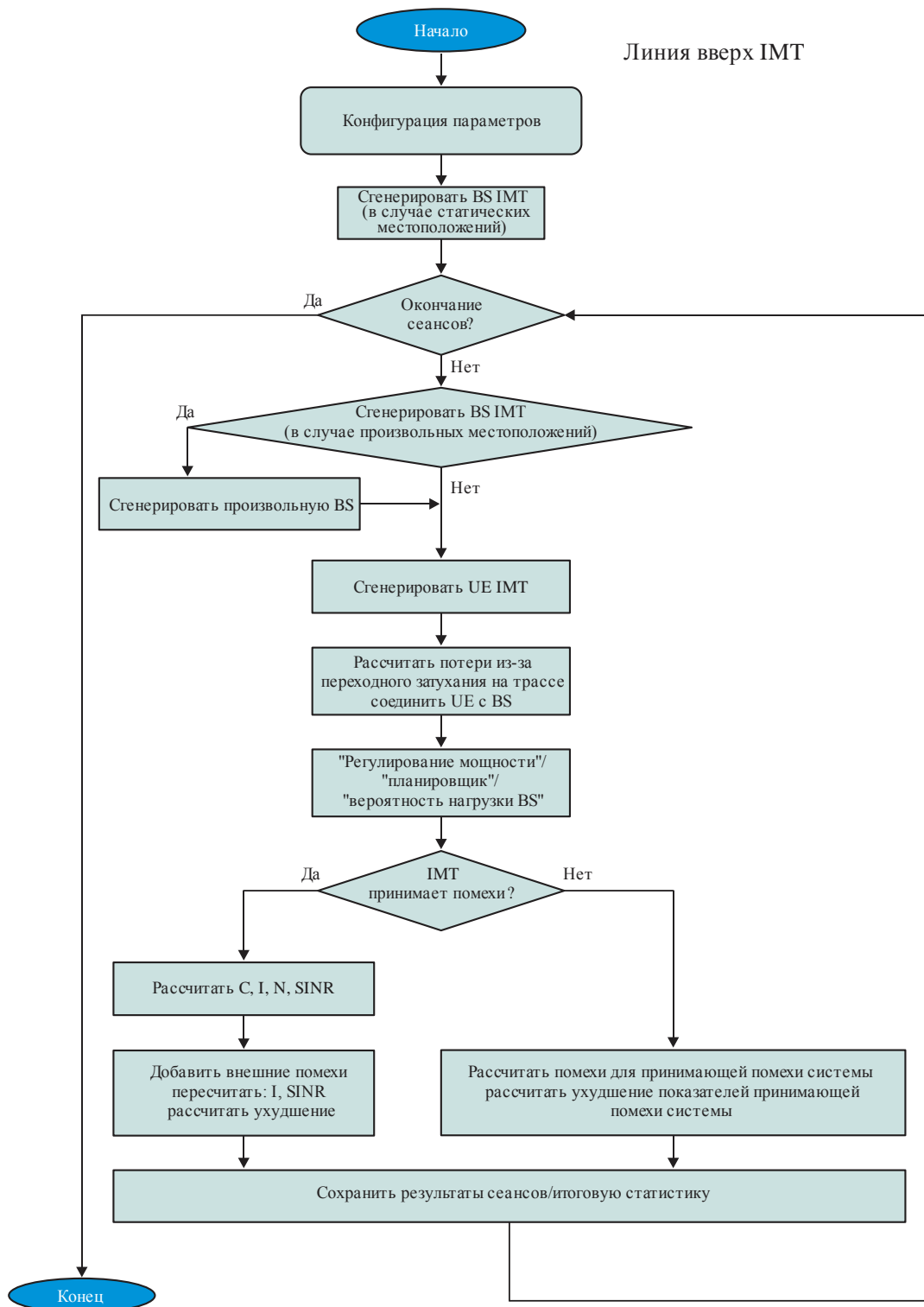
$$I_{external}(j, k) = \sum_{m=1}^y P_{ext,m} \times pathCouplingLoss(Z_m, UE_{j,k}) / ACIR_{linear} \quad (13)$$

Значение ACIR должно рассчитываться на основании числа распределенных на единицу UE ресурсных блоков. Если используется FDR, заменить $ACIR_{linear}$ на FDR.

- 5 Определить пропускную способность при наличии и в отсутствие внешних помех для каждой единицы "выбранного" UE с C/I в соответствии с отображением линии в уровень системы.
- 6 Собрать статистические данные.

3.4.2 Линия вверх

РИСУНОК 9
Блок-схема метода имитации линии вверх



M.2101-09

Создать сетку (в случае статического размещения в фиксированных позициях) местоположений базовых станций (BS) в зависимости от выбранного сценария использования/развертывания.

Для $i=1$ до числа сеансов.

- 1 В зависимости от выбранного алгоритма действий некоторые из шагов a–f могут не потребоваться для сеанса.
- Создать/распределить произвольным образом узлы BS в случае сетки BS с произвольно расположенными узлами BS.
 - Распределить достаточное⁴ число единиц UE произвольным образом в зоне системы так, чтобы то же число K "выбранных" пользователей было распределено каждой BS в границах НО на уровне 3 дБ. Значение K будет зависеть от сценария использования/развертывания, частоты и ширины полосы. Как правило, для исследований в области подвижной широкополосной связи используется значение K от 3 до 6.
 - Рассчитать потери на трассе из-за переходного затухания (\max {потери при распространении+замирание+усиление антенны}, MCL) от каждой единицы UE ко всем BS. Если в сетке BS используется обертывание, определить также наименьшие значения потерь из-за переходного затухания между единицами UE и базовыми станциями.
 - Соединить произвольным образом UE с BS, величина потерь из-за переходного затухания на трассе к которой находится в пределах наименьшего значения потерь из-за переходного затухания плюс границы НО.
 - Выбрать K единиц UE произвольным образом из всех единиц UE, соединенных с одной BS, как "выбранное" UE. Эти K единиц "выбранного" UE будут планироваться во время данного сеанса.
 - Мощность на единицу UE определяется путем регулирования мощности в линии вниз.
 - Предполагается полностью нагруженная базовая станция, то есть все доступные ресурсные блоки распределены активным единицам UE. Каждая единица UE планируется с одинаковым числом n ресурсных блоков. Единицы UE, подсоединенные к BS, могут вести или не вести передачу на основе вероятности нагрузки, то есть UE в $x\%$ произвольно выбранных BS ведут передачу, а остальные единицы UE остаются в режиме молчания. См. раздел 6. Значение x может быть либо единым, либо выбранным произвольным образом из диапазона в каждом сеансе.
- 2 Выполнить регулирование мощности в линии вверх.
- Если линия вверх ИМТ действует как создающая помехи система, перейти к шагу 3. Если линия вверх ИМТ является принимающей помехи системой, продолжить выполнение шага 4.
- 3 Выбрать линию вверх ИМТ, которая будет действовать как источник помех.
- Произвольным образом выбрать $x\%$ базовых станций в зависимости от нагрузки системы и помеховых условий (ближайший источник помех или суммарная помеха). Выбрать единицы UE, подсоединенные к этим базовым станциям, которые будут действовать как источники помех в направлении принимающей помехи системы.
 - Применить помехи в направлении принимающей помехи системы и рассчитать их воздействие:
Закольцевать все выбранные BS от $j = 1$ до N_{cell} (число выбранных BS в зоне системы).
Закольцевать все единицы "выбранного" UE в выбранных BS от $k = 1$ до K
Рассчитать внешние помехи от каждой линии вверх ИМТ в направлении принимающей помехи системы.

$$I_{External}(TX_{UE_k}^{BS_j}, RX^{victim}) = P_{UE_k}^{BS_j} \times CL_{External}(TX_{UE_k}^{BS_j}, RX^{victim}) / ACIR_{linear} \quad (14)$$

⁴ "Достаточное число оставленных устройств будет зависеть и от используемого капельного метода, то есть производится ли распределение капель произвольно в пределах зоны покрытия каждой BS или произвольно в пределах всей зоны покрытия сети, и от числа K , которое должно быть распределено каждой BS. Как правило, достаточно число составляет от $2 \cdot K$ до $10 \cdot K$, для того чтобы обеспечить требуемое распределение на одну BS в зависимости от используемого капельного метода".

(Если используется FDR, заменить $ACIR_{linear}$ на FDR),

где:

$P_{UE_k}^{BS_j}$: мощность передачи k-ой единицы UE, обслуживаемой базовой станцией BS_j

$CL_{External}(TX_{UE_k}^{BS_j}, RX^{victim})$: потери из-за переходного затухания от k-ой единицы UE, обслуживаемой базовой станцией BS_j , к принимающему помехи приемнику.

$I_{External}(TX_{UE_k}^{BS_j}, RX^{victim})$: межсистемные помехи от k-ой единицы UE, обслуживаемой базовой станцией BS_j , к принимающему помехи приемнику.

Суммарные межсистемные помехи выражаются следующим образом:

$$I_{External} = \sum_j \sum_k I_{External}(TX_{UE_k}^{BS_j}, RX^{victim}), \quad (15)$$

где:

$I_{External}$: суммарная помеха от внешней системы в направлении принимающей помехи системы.

Рассчитать воздействие внешних помех на принимающую помехи систему. Расчет воздействия на принимающую помехи систему не-ИМТ не входит в сферу применения настоящей Рекомендации и зависит от сценария совместного использования частот.

с) Перейти к шагу 7.

4 Выбрать линию вверх ИМТ в качестве принимающей помехи системы.

а) Произвольным образом выбрать $x\%$ базовых станций в зависимости от нагрузки системы.

б) Рассчитать C/I линии вверх для всех единиц "выбранного" UE во всех сотах.

Закольцевать все выбранные BS от $j=1$ до N_{cell} (число выбранных BS в зоне системы).

Закольцевать все единицы "выбранного" UE в выбранных BS от $k=1$ до K .

Для k-ой единицы "выбранного" UE в j-ой соте (то есть $UE_{j,k}$) значение ее C/I определяется

следующим образом: $\frac{C(j,k)}{I(j,k)}$

где:

$C(j,k)$ – принимаемая мощность от $UE_{j,k}$, в j-ой BS

$$C(j,k) = P_{PUSCH}(l,k) \times pathCouplingLoss(UE_{j,k}, BS_j) \quad (16)$$

$I(j,k)$ – мощность помехи, которая складывается из межсистемных помех (от других единиц UE, распределенных одинаковым ресурсным блокам в других сотах собственной сети) $I_{intra}(j,k)$, и теплового шума N_t .

$$I(j,k) = I_{intra}(j,k) + N_t \quad (17)$$

$$I_{intra}(j,k) = \sum_{l=1, l \neq j}^{N_{cell}} P_{PUSCH}(l,k) \times pathCouplingLoss(UE_{l,k}, BS_j) \quad (18)$$

$$N_t = 10^{\wedge}((10 \log_{10}(kT) + 10 \log_{10}(bandwidth \ of \ n \ RBs) + NoiseFigure_{BS}) / 10) \quad (19)$$

где $10 \log_{10}(kT)$ – спектральная плотность мощности шума в дБм.

- 5 Добавить внешние помехи Z_y , которые складываются из помех y , каждая из которых обладает мощностью $P_{ext,y}$.

Если помехи возникают только в одной соте или в небольшом числе сот, основные помехи должны быть помещены в активную соту (т. е. соту с выбранной BS).

Рассчитать для принимающей внешней помехи линии вверх $C/I = (\frac{C(j,k)}{I(j,k)})$ для всех единиц "выбранного" UE.

$C(j,k)$, $I_{intra}(j,k)$ и N_t те же, что и на шаге 4.

$$I(j,k) = I_{intra}(j,k) + I_{external}(j,k) + N_t \quad (20)$$

$$I_{external}(j,k) = \sum_{m=1}^y P_{ext,m} \times pathCouplingLoss(Z_m, BS_j) / ACIR_{linear} \quad (21)$$

Используемое значение ACIR должно рассчитываться на основании числа распределенных на единицу UE ресурсных блоков. Если используется FDR, заменить $ACIR_{linear}$ на FDR.

$$N_t = 10^{((10 \log_{10}(kT) + 10 \log_{10}(bandwidth\ of\ n\ RBs) + NoiseFigure_{BS})/10)}, \quad (22)$$

где $10 \log_{10}(kT)$ – спектральная плотность мощности шума в дБм.

- 6 Определить пропускную способность при наличии и в отсутствие внешних помех для каждой единицы "выбранного" UE с C/I в соответствии с отображением линии в уровень системы.
- 7 Собрать статистические данные.

4 Реализация регулирования мощности оборудования пользователя (UE) IMT

Регулирование мощности – это важная техническая особенность систем IMT. Пропускная способность соты линии вверх в системах на базе OFDMA ограничена уровнями помех от другого UE. Уровни выходной мощности UE корректируются для поддержания минимального уровня помех, а также регулируются для обеспечения покрытия на границе соты. Регулирование мощности может комбинироваться со стратегиями распределения ресурсов в частотной области, с тем чтобы улучшить показатели на границе соты, а также повысить эффективность использования спектра.

Следует отметить, что выходная мощность передатчика UE может быть ниже максимальной выходной мощности передатчика в полосе частот передачи, и поэтому средний уровень внеполосных излучений (ООБЕ) будет ниже, указанного уровня ООБЕ.

4.1 Алгоритм регулирования мощности

Для систем IMT-Advanced в исследованиях совместного использования частот следует применять следующий алгоритм регулирования мощности UE:

$$P_{PUSCH}(i) = \min(P_{CMAX}, 10 \log_{10}(M_{PUSCH}(i)) + P_{O_PUSCH}(j) + \alpha(j) \cdot PL), \quad (23)$$

где:

- P_{PUSCH} мощность передачи оконечного устройства в дБм;
- P_{CMAX} максимальная мощность передачи в дБм;
- M_{PUSCH} число распределенных RB;
- P_{O_PUSCH} целевое значение мощности на один используемый RB в дБм;
- α коэффициент уравнивания для UE с плохим каналом и UE с хорошим каналом;
- PL потери на трассе в дБ для UE от обслуживающей его BS.

Ожидается, что для систем IMT-2020 алгоритм регулирования мощности UE может быть аналогичным алгоритму, используемому для сетей IMT-Advanced.

5 Реализация диаграммы направленности антенны с формированием луча базовой станции (BS) и оборудования пользователя (UE) ИМТ

При проведении исследований совместного использования частот в прошлом применялась Рекомендация МСЭ-R F.1336 (ссылка на Отчет МСЭ-R M.2292), и она может быть пригодной для некоторых сценариев ИМТ. В большинстве систем ИМТ-2020 будет использоваться формирование луча, в особенности на высоких частотах.

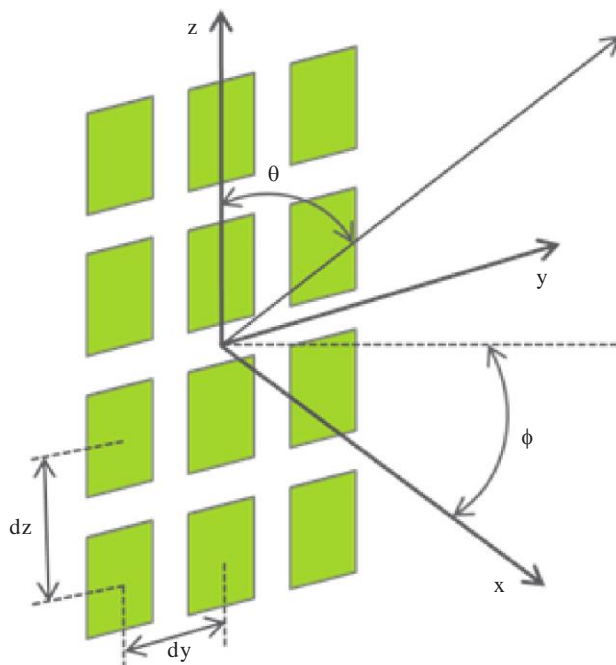
Основу антенны с формированием луча составляет антенная решетка, и она состоит из определенного числа идентичных излучающих элементов, расположенных в плоскости yz с фиксированным расстоянием разноса (например, $\lambda/2$), все элементы имеют одинаковые диаграммы излучения и "направлены" (имеют максимальное излучение) вдоль оси x .

Для направления луча в различные направления используется весовая функция. Общее усиление антенны является суммой (в логарифмическом масштабе) усиления решетки и усиления элементов. Такая модель описана в 3GPP TR 37.842 и разделе 5.4.4.1 3GPP TR 37.840 нижеследующим образом.

Определение θ и ϕ основано на системе координат, показанной на рисунке 10.

РИСУНОК 10

**Геометрия модели антенны, θ : угол места в диапазоне от 0° до 180° градусов
 ϕ : азимут в диапазоне от -180° до 180° градусов**



M.2101-10

Излучающие элементы размещаются равномерно вдоль вертикальной оси z в декартовой системе координат. Плоскость x - y обозначает горизонтальную плоскость. Угол места направления сигнала обозначается символом θ (определяется в пределах от 0° до 180° , при этом 90° представляет угол, перпендикулярный к апертуре антенной решетки). Угол по азимуту обозначается символом ϕ (определяется в пределах от -180° до 180°).

Одно из различий между пассивной антенной системой (например, на базе Рекомендации МСЭ-R F.1336) и активной усовершенствованной антенной системой (AAS) заключается в том, что в AAS режим работы антенны в случае нежелательных (за пределами блока) излучений отличается от режима в случае полезных (в пределах блока) излучений.

Используя AAS система ИМТ будет активно контролировать все отдельные сигналы, поступающие на отдельный антенный элемент антенной решетки, для того чтобы формировать

диаграмму излучения антенны и определять ее направление, добиваясь желаемой формы, например узкий луч, направленный на пользователя. Другими словами, она создает коррелированные полезные излучения антенны. Нежелательный сигнал, вызванный модуляцией ООВ передатчика, интермодуляционными помехами и компонентами побочных излучений, будет находиться в иных условиях корреляции, создаваемой антенной, и будет иметь иную диаграмму излучения. Диаграмма излучения антенны некоррелированной ААС аналогична диаграмме единичного антенного элемента.

Условия в соседней полосе частот в случае ИМТ, действующей как создающая помехи система: диаграмма направленности антенны для нежелательных излучений может быть принята аналогичной диаграмме излучений единичного антенного элемента. Для учета излучений системы ИМТ в пределах ширины полосы канала необходимо имитировать составную диаграмму направленности антенны.

Условия в соседней полосе частот в случае ИМТ, действующей как принимающая помехи система: при расчете помех по соседнему каналу диаграмма направленности антенны может быть принята аналогичной диаграмме направленности единичного антенного элемента. Для учета помех в пределах ширины полосы канала системы ИМТ необходимо имитировать составную диаграмму направленности антенны.

Модель антенной решетки ААС определяется диаграммой направленности элемента решетки, множителем решетки и сигналами, поступающими на систему антенной решетки. Диаграмма направленности элемента и составная диаграмма направленности антенны описаны в нижеследующих разделах.

5.1 Диаграмма направленности элемента

ТАБЛИЦА 3

Диаграмма направленности элемента для модели антенной решетки

Диаграмма направленности в горизонтальной плоскости	$A_{E,H}(\varphi) = -\min \left[12 \left(\frac{\varphi}{\varphi_{3dB}} \right)^2, A_m \right]$ дБ
Ширина полосы единичного элемента по уровню 3 дБ в горизонтальной плоскости/град (φ_{3dB})	Входной параметр
Коэффициент обратного излучения: A_m и SLA_v	Входной параметр
Диаграмма направленности в вертикальной плоскости	$A_{E,V}(\theta) = -\min \left[12 \left(\frac{\theta - 90}{\theta_{3dB}} \right)^2, SLA_v \right]$ дБ
Ширина полосы единичного элемента по уровню 3 дБ в вертикальной плоскости/град (φ_{3dB})	Входной параметр
Диаграмма направленности единичного элемента	$A_E(\varphi, \theta) = G_{E,max} - \min \{ [A_{E,H}(\varphi) + A_{E,V}(\theta)], A_m \}$
Усиление элемента (дБи), $G_{E,max}$	Входной параметр

5.2 Составная диаграмма направленности антенны

В таблице 4 показан вывод составной диаграммы направленности антенны, $A_A(\theta, \varphi)$. $A_A(\theta, \varphi)$ – диаграмма направленности антенны с формированием луча, полученная по логарифмической сумме усиления решетки, $10\log_{10}\left(\sum_{m=1}^{N_H} \sum_{n=1}^{N_V} w_{i,n,m} \cdot v_{n,m}\right)^2$, и усиления элемента $A_E(\theta, \varphi)$. Составная диаграмма направленности антенны базовой станции должна использоваться, когда антенная решетка обслуживает одну или несколько единиц UE с помощью одного или нескольких лучей, причем каждый луч определяется параметром i .

ТАБЛИЦА 4

Составная диаграмма направленности антенны BS и формирование луча для UE

Конфигурация	Несколько столбцов ($N_V \times N_H$ элементов)
Составная диаграмма направленности антенной решетки в дБ $A_A(\theta, \varphi)$	<p>Для луча i:</p> $A_{A,Beam_i}(\theta, \varphi) = A_E(\theta, \varphi) + 10\log_{10}\left(\sum_{m=1}^{N_H} \sum_{n=1}^{N_V} w_{i,n,m} \cdot v_{n,m}\right)^2$ <p>супер-вектор положения определяется следующим образом:</p> $v_{n,m} = \exp\left(\sqrt{-1} \cdot 2\pi\left((n-1) \cdot \frac{d_V}{\lambda} \cdot \cos(\theta) + (m-1) \cdot \frac{d_H}{\lambda} \cdot \sin(\theta) \cdot \sin(\varphi)\right)\right),$ <p>$n = 1, 2, \dots, N_V; m = 1, 2, \dots, N_H;$</p> <p>взвешивание определяется следующим образом:</p> $w_{i,n,m} = \frac{1}{\sqrt{N_H N_V}} \exp\left(\sqrt{-1} \cdot 2\pi\left((n-1) \cdot \frac{d_V}{\lambda} \cdot \sin(\theta_{i,eilt}) - (m-1) \cdot \frac{d_H}{\lambda} \cdot \cos(\theta_{i,eilt}) \cdot \sin(\varphi_{i,escan})\right)\right) \sqrt{}$
Конфигурация антенной решетки (ряд \times столбец)	Входной параметр
Горизонтальный шаг излучающих элементов d/λ	Входной параметр
Вертикальный шаг излучающих элементов d/λ	Входной параметр
Угол наклона вниз (градусы)	Входной параметр

6 Реализация информации о трафике ИМТ

В большинстве проводимых с системами Advanced-ИМТ исследований на основе имитационного моделирования методом Монте-Карло принимается модель полного буферизированного трафика. Это эквивалентно допущению, что базовые станции всегда ведут передачу/прием с использованием всех ресурсных блоков. В Отчете МСЭ-R М.2241 указано, что этого не происходит в развернутых сетях OFDM, так как передача, которую ведут 100% частотных ресурсных блоков в течение 100% времени, ведет к насыщению соты и нарушению обслуживания большого числа пользователей. Вследствие этого, основную часть времени базовые станции ведут передачу, используя лишь часть доступных ресурсных блоков.

Руководство по эффективному учету реальных режимов работы сети ИМТ, например является ли система ИМТ принимающей помехи или действует как источник суммарных помех, приведено в настоящей Рекомендации (раздел 7).

Нагрузка в сети ИМТ зависит от ряда факторов, таких как поведение пользователей, применений и сценарии развертывания. Для простоты нагрузка системы моделируется путем статистического изменения того, какие полностью нагруженные базовые станции одновременно ведут передачу и/или их количества. В соответствующих Рекомендациях МСЭ-R, например в Отчете МСЭ-R М.2292, это представлено как фактор активности базовых станций. Моделирование сети ИМТ может зависеть от сценария совместного использования частот. Например, моделирование нагрузки сети при моделировании помех может зависеть от таких факторов, как размер зоны, в пределах которой суммируются помехи.

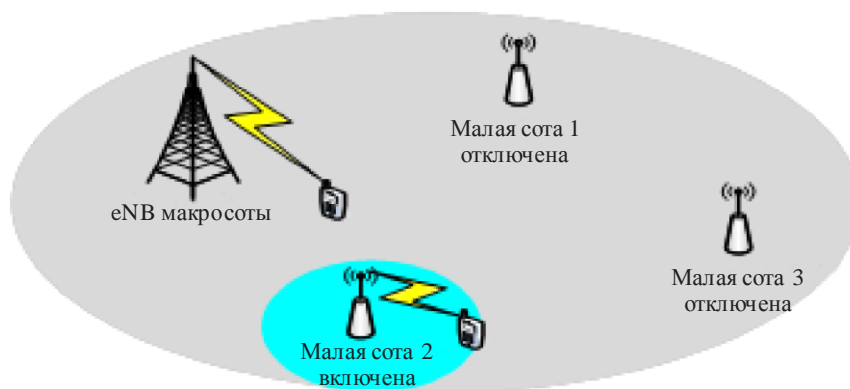
7 Определение суммарных помех

При имитации, которая описана в разделе 3 настоящей Рекомендации, рассчитываются суммарные помехи от нескольких базовых станций и/или единиц UE. Следовательно, можно заключить, что имитатор всегда по определению рассчитывает суммарные помехи, создаваемые сетью ИМТ системе, принимающей помехи. Однако, в зависимости от сценария сосуществования, наряду с этим следует учитывать перечисленные ниже вопросы.

- BS моделируются как ведущие передачу с полной мощностью и не ведущие передачу при вероятности нагрузки, то есть $x\%$ BS выбираются произвольным образом как ведущие передачу, а остальные BS не ведут передачу. См. раздел 6. Значение x может быть либо единым, либо выбранным произвольным образом из диапазона в каждом сеансе.
- В тех случаях, когда исследования совместного использования частот требуют проводить имитацию с очень большим числом станций ИМТ, непосредственная реализация моделирования, описанная выше, может оказаться весьма продолжительной. В этих случаях возможно осуществлять моделирование и сбор статистики излучений системы ИМТ в репрезентативно крупном сегменте сети ИМТ. Собранные в этом сегменте статистические данные могут далее использоваться для расчета помех от нескольких сегментов, имеющих эквивалентные помеховые характеристики, с учетом различий сценариев развертывания систем ИМТ в крупных районах. Следует тщательно отражать изменения угла выхода и прихода помех в принимающей помехи системе, учитывая географию крупной области. Необходимо отметить, что любое упрощение реализации не должно приводить к отклонению итоговой статистики излучений системы ИМТ по сравнению с результатом непосредственного применения данной методики.
- Малые соты ИМТ могут включаться и отключаться – псевдостатически или динамически – на протяжении длительных периодов времени, что может влиять на вероятность нагрузки. Вероятно, это обусловит включение фактора времени в процесс имитации. Схема включения/отключения может уменьшить помехи, создаваемые другим соседним малым сотам или другим системам при использовании того же или соседнего частотного канала (см. рис. 11). Кроме того, схемы включения/отключения малых сот могут обеспечить преимущества в части экономии энергии. Соответствующая подробная информация о технологии содержится в 3GPP RP-130811 [3], 3GPP TR 36.873 [4], 3GPP TR36.897 [5] и 3GPP TR 36.872 [1].

РИСУНОК 11

Схема включения/выключения малой соты



M.2101-11

- При имитировании работы на основе TDD передачи на линии вниз базовой станции осуществляются только часть времени, что уменьшает среднюю мощность базовой станции в кадре. Однако этот эффект не учитывается в методике моделирования, представленной в настоящей Рекомендации.

В будущем развертывание сети станет более гибким вследствие разнообразия требований к службам; трафик высокоскоростной передачи данных отмечается в основном в отдельных районах точек доступа, следовательно, при расчете суммарных помех может учитываться часть помеховой зоны.

8 Демонстрация промежуточных результатов моделирования ИМТ

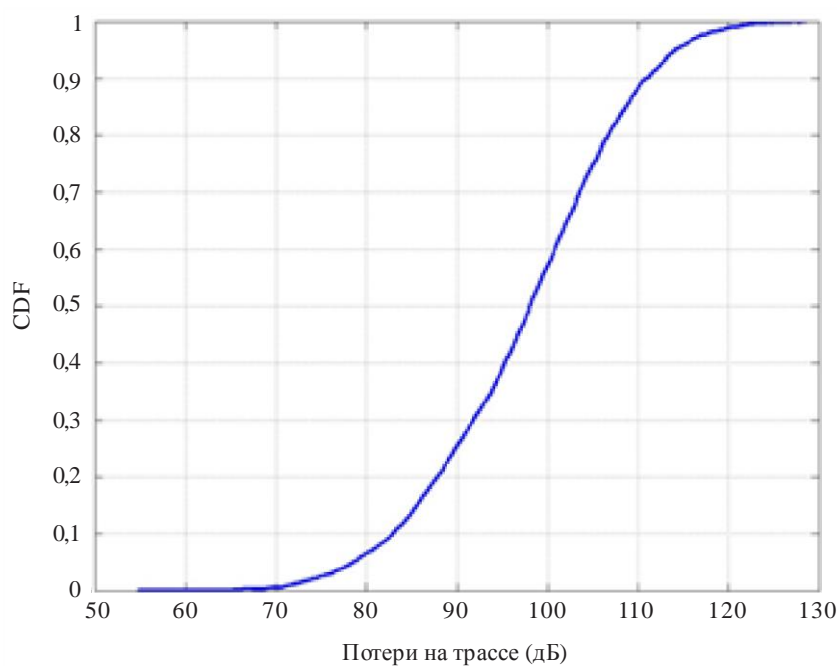
При моделировании систем ИМТ существует вероятность того, что одно и то же исследование, выполнявшееся разными сторонами, вначале даст разные результаты. Для того чтобы иметь возможность сравнивать реализацию имитатора системы ИМТ, можно использовать некоторые промежуточные результаты. Ниже приведен ряд примеров таких параметров:

- распределение мощности передачи;
- распределение внутренних и внешних помех;
- распределение SINR;
- распределение принимаемой мощности;
- распределение потерь из-за переходного затухания на трассе (сюда включаются значения усиления антенн Tx и Rx, потерь и замирания при распространении и т. д.).

Рекомендуется представлять не менее двух промежуточных результатов, перечисленных выше. На нижеследующем рисунке 12 приведен примерный промежуточный результат для распределения помех на трассе. Такие промежуточные результаты следует учитывать вместе с полным набором входных параметров. Аналогичным образом могут быть также представлены другие результаты.

РИСУНОК 12

Пример распределения потерь на трассе по результатам имитации сети ИМТ



M.2101-12

9 Справочные документы

- [1] 3GPP TR 36.872 V12.1.0, Small cell enhancements for E-UTRA and E-UTRAN (Release 12).
- [2] 3GPP TR 25.942 V10.0.0, Radio Frequency (RF) system scenarios (Release 10).
- [3] 3GPP RP-130811, 3GPP Work Item Description, Study on 3D-channel model for Elevation Beamforming and FD-MIMO studies for LTE.
- [4] 3GPP TR 36.873 V12.0.0, Study on 3D channel model for LTE (Release 12).
- [5] 3GPP TR 36.897 V0.3.1, Elevation Beamforming/Full-Dimension (FD) MIMO for LTE (Release 13).
- [6] 3GPP TS 36.104 V12.7.0, Base Station (BS) radio transmission and reception (Release 12).
- [7] 3GPP TS 36.101 V12.7.0, User Equipment (UE) radio transmission and reception (Release 12).
- [8] H. Houas, Y. Louet, E. Fournier and Y. Maigron, *Distribution of microcells for cellular mobile networks*, *IEEE VTC Nanjing*, 15-18th May 2016.

Прилагаемый документ 1 к Приложению 1

Соображения относительно параметров, определяющих дисперсионное гамма-распределение (Бесселя) для местоположений базовых микростанций

При распределении местоположений малых сот в пределах данной зоны макросоты необходимо нижеследующее.

- 1 Для этой зоны должно быть установлено число (среднее) кластеров, содержащих такие малые соты. Этот параметр может быть получен в результате первоначального рассмотрения карты базовых микростанций (шестиугольной формы), на которой может быть размещен кластер (малых сот).
Это число соответствует λ_p .
- 2 Должно быть принято число (среднее) малых сот в пределах каждого кластера.
Это число соответствует λ_o .
- 3 В [1]⁵ указано, что γ изменяется в диапазоне $[-0,45; -0,3]$. Вследствие этого рекомендуется работать с минимальными/максимальными значениями этого диапазона.
- 4 Последний параметр, ω , требует дальнейшего рассмотрения, для того чтобы он был получен надлежащим способом:
 - i) **Этап 1:** R – другой параметр, который проще установить, потому что он отражает физическое значение радиуса (среднего) кластера. Его можно трактовать как радиус зоны (принятой в форме диска), в пределах которой (скорее всего, с высокой вероятностью) располагаются малые соты для предоставления ожидаемого применения пользователю. Этот радиус зоны приобретает также значение центра, соответствующее центру кластера.
 - ii) **Этап 2:** учитывая, что радиус кластера R первоначально получен из R -функции⁶ радиуса кластера с входными параметрами ω и γ , и что значение γ известно, а значение ω неизвестно, можно составить таблицу поиска, которая связывает каждую пару (γ, R) с неизвестной величиной ω .

Эти четыре параметра позволят, наконец, вывести случайное множество выборок NSVGP, на основании того, что создание процесса начинается с генерации пуассоновского точечного процесса "родительских" точек (то есть центров кластеров) с интенсивностью λ_p . Далее каждая родительская точка заменяется случайным кластером точек, число точек в каждом кластере является произвольным и подчиняется пуассоновскому распределению (λ_o), и точки заменяются независимо и однообразно относительно ядра дисперсионного гамма-распределения. Ядро дисперсионного гамма-распределения определяется по γ и ω .

Описав параметры, определяющие данное распределение, далее можно статистически описать (через функцию плотности вероятности, pdf) дисперсионное гамма-распределение Бесселя. Отметив, что дочерние точки в каждом кластере генерируются после распределения нормальной смеси дисперсии-среднего, то есть нормальное распределение, смешанное с гамма-распределением,

функция плотности вероятности (pdf) f которого имеет вид: $f(x; k, \theta) = \frac{x^{k-1} e^{-\frac{x}{\theta}}}{\Gamma(k)\theta^k}$,

где $\Gamma(k) = \frac{e^{-\gamma k}}{k} \prod_{n=1}^{+\infty} \left(1 + \frac{k}{n}\right)^{-1} e^{\frac{k}{n}}$ и $\gamma = \lim_{n \rightarrow \infty} \left(\sum_{k=1}^n \frac{1}{k} - \ln(n)\right)$,

можно заметить, что θ и k связаны с другими параметрами, описанными в предыдущих разделах, следующей формулой: $k = \gamma + 1$ и $\theta = \frac{1}{2\omega^2}$.

⁵ Distribution of microcell base stations within cellular networks, IEEE VTC May 2016, Nanjing.

⁶ Согласно языку R (пакет spatstat, <http://spatstat.github.io>).

Прилагаемый документ 2 к Приложению 1

Метод обертывания

Для того чтобы проанализировать поведение сотовой сети, не вызывая каких-либо артефактов из-за ограничений, обусловливаемых граничными эффектами, необходимо рассматривать бесконечную сотовую сеть. Один из способов достижения этого заключается в использовании метода "обертывания", когда выполняется обертывание исходного кластера сот для формирования тороидальной поверхности.

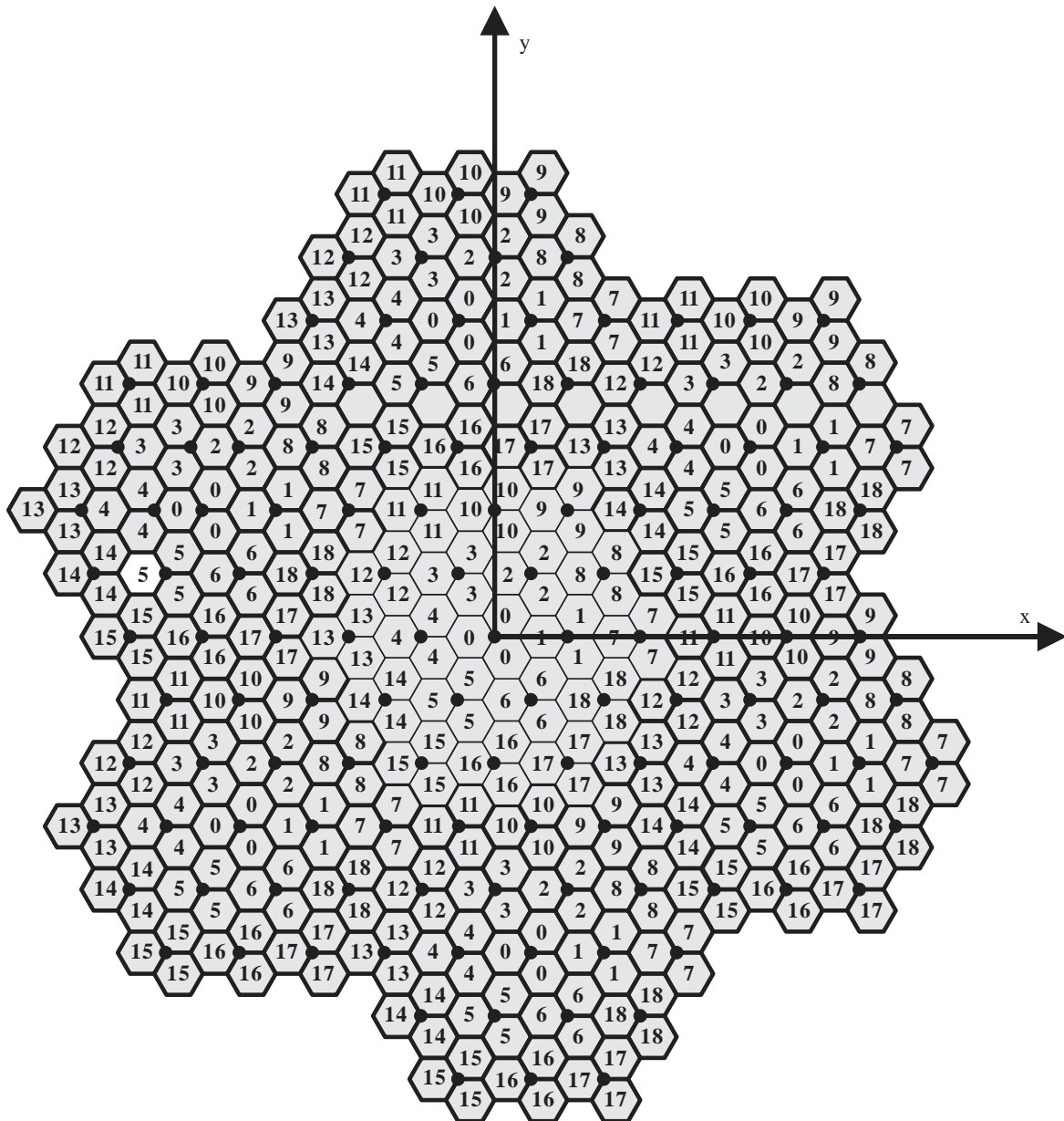
Для иллюстрации характера структуры обернутой соты кластер, состоящий из 19 площадок базовых станций (57 сот) повторяются шесть раз, как показано на рисунке 13. Отметим, что исходный кластер сот остается в центре, а шесть кластеров равномерно окружают эту центральную систему.

В рассматриваемой модели с обертыванием сигнал или помехи от любой станции подвижной связи в данную соту обрабатывается так, как если бы эта станция подвижной связи находилась в исходном кластере сот, а базовая станция – в любом из семи кластеров. Потери из-за переходного затухания на трассе от любой станции подвижной связи к любой базовой станции могут быть получены нижеследующим образом.

- 1 Определить систему координат так, чтобы центр соты 0 находился в (0,0).
- 2 Значения длины трассы и углов, используемые для расчета потерь на трассе и усиления антенны станции подвижной связи в (x,y) к базовой станции (a,b), составляют:
 - расстояние между (x,y) и (a,b);
 - расстояние между (x,y) и $(a + 3,5 * D, b + 1,5 * \sqrt{3} * D)$;
 - расстояние между (x,y) и $(a - 0,5 * D, b + 2,5 * \sqrt{3} * D)$;
 - расстояние между (x,y) и $(a - 4 * D, b + \sqrt{3} * D)$;
 - расстояние между (x,y) и $(a - 3,5 * D, b - 1,5 * \sqrt{3} * D)$;
 - расстояние между (x,y) и $(a + 0,5 * D, b - 2,5 * \sqrt{3} * D)$;
 - расстояние между (x,y) и $(a + 4 * D, b - \sqrt{3} * D)$,
 где D – расстояние между площадками базовых станций.
- 3 Значения потерь из-за переходного затухания ($\max\{\text{потери на распространение} + \text{замирание} + \text{значения усиления антенны, MCL}\}$) рассчитываются для вышеприведенных значений длины трассы / углов, и для сеанса имитации выбирается минимальное значение.

РИСУНОК 13

Обертывание с "7" кластерами 19 площадок базовых станций (57 сот), иллюстрирующее торондальный характер поверхности обертывания



M.2101-13