

МСЭ-R

Сектор радиосвязи МСЭ

Рекомендация МСЭ-R SA.2142-0
(12/2021)

**Методики расчета координационных зон
вокруг земных станций спутниковой
службы исследования Земли и службы
космических исследований в целях
предотвращения вредных помех
со стороны систем ИМТ-2020 в полосах
частот 25,5–27 ГГц и 37–38 ГГц**

Серия SA
Космические применения и метеорология



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 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, 2022 г.

© ITU 2022

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 SA.2142-0

**Методики расчета координационных зон вокруг земных станций
спутниковой службы исследования Земли и службы космических исследований
в целях предотвращения вредных помех со стороны систем ИМТ-2020
в полосах частот 25,5–27 ГГц и 37–38 ГГц**

(2021)

Сфера применения

В настоящей Рекомендации содержатся методики расчета координационных зон вокруг земных станций (ЗС) спутниковой службы исследования Земли (ССИЗ) и службы космических исследований (СКИ) в целях предотвращения вредных помех со стороны систем ИМТ-2020, которые могут быть развернуты в полосах частот 25,5–27 ГГц и 37–38 ГГц. Из-за различий в критериях защиты и в работе земных станций систем ССИЗ и СКИ предусмотрены различные методики для СКИ, геостационарных систем ССИЗ и негеостационарных систем ССИЗ.

Ключевые слова

ИМТ-2020, земные станции ССИЗ, земные станции СКИ, службы подвижной связи, вопросы совместного использования/совместимости

Список сокращений

BS	Base station	БС	Базовая станция
EESS	Earth exploration-satellite service	ССИЗ	Спутниковая служба исследования Земли
ES	Earth station	ЗС	Земная станция
GSO	Geostationary orbit	ГСО	Геостационарная орбита
HEO	Highly elliptical orbit		Высокоэллиптическая орбита
ИМТ	International mobile telecommunications		Международная подвижная связь
LEO	Low-Earth orbit		Низкая околоземная орбита
non-GSO	Non-geostationary orbit	НГСО	Негеостационарная орбита
SRS	Space research service	СКИ	Служба космических исследований
TRP	Total radiated power		Общая излучаемая мощность
TVG	Time-variable gain		Изменяющееся во времени усиление
UE	User equipment		Оборудование пользователя

Соответствующие Рекомендации и Отчеты

- Рекомендация МСЭ-R М.2101 – Моделирование и имитация сетей и систем ИМТ для применения в исследованиях совместного использования частот и совместимости
- Рекомендация МСЭ-R Р.452 – Процедура прогнозирования для оценки помех между станциями, находящимися на поверхности Земли, на частотах выше приблизительно 0,1 ГГц
- Рекомендация МСЭ-R SA.609 – Критерии защиты для линий радиосвязи пилотируемых и непилотируемых исследовательских спутников, работающих на околоземной орбите
- Рекомендация МСЭ-R SA.1027 – Критерии совместного использования частот для систем передачи данных (космос-Земля) спутниковой службы исследования Земли и метеорологической спутниковой службы, использующих низкоорбитальные спутники

Рекомендация МСЭ-R SA.1161 – Критерии совместного использования частот и критерии координации для систем передачи данных в спутниковой службе исследования Земли и метеорологической спутниковой службе, использующих спутники на геостационарной орбите

Recommendation ITU-R SA.1396 – Protection criteria for the space research service in the 37-38 GHz and 40-40.5 GHz bands

Report ITU-R M.2292 – Characteristics of terrestrial IMT-Advanced systems

Ассамблея радиосвязи МСЭ,

учитывая,

a) что необходима методика расчета координационных зон вокруг земных станций СКИ для обеспечения их совместимости с системами IMT-2020, развернутыми в полосах частот 25,5–27 ГГц и 37–38 ГГц;

b) что необходима методика расчета координационных зон вокруг земных станций ССИЗ для обеспечения их совместимости с системами IMT-2020, развернутыми в полосе частот 25,5–27 ГГц;

c) что для всех анализируемых земных станций результирующие координационные зоны будут различаться из-за характера местности, окружающей каждую из этих земных станций,

признавая,

a) что в Резолюции **242 (ВКР-19)** Сектору радиосвязи МСЭ предлагается разработать Рекомендацию МСЭ-R по расчету координационных зон вокруг земных станций ССИЗ/СКИ для недопущения вредных помех от систем IMT в полосе частот 25,5–27 ГГц;

b) что в Резолюции **243 (ВКР-19)** Сектору радиосвязи МСЭ предлагается разработать Рекомендацию МСЭ-R о методиках расчета координационных зон вокруг земных станций СКИ в целях предотвращения вредных помех от систем IMT в полосе частот 37–38 ГГц;

c) что в полосе частот 25,5–27 ГГц применяется пункт **5.536A PP**,

отмечая,

a) что в Рекомендации МСЭ-R M.2101 представлена методика моделирования и имитации сетей и систем IMT для применения в исследованиях совместного использования частот и совместимости, тогда как методики, разработанные в настоящей Рекомендации, специально предназначены для определения координационных зон вокруг земных станций ССИЗ/СКИ и, как таковые, могут быть неприменимы в других сценариях;

b) что методики, разработанные в настоящей Рекомендации, основаны на методе изменяющегося во времени усиления (TVG), описанном в Приложении 7 Регламента радиосвязи;

c) что полученные в результате координационные зоны указывают область, за пределами которой уровень допустимых помех не превышает, а следовательно, координация не требуется;

d) что более подробный анализ с использованием местных условий и соответствующих перечисленных выше Рекомендаций МСЭ-R может показать, что возможна совместная работа с системами IMT-2020, расположенными в пределах координационной зоны вокруг земной станции ССИЗ/СКИ,

рекомендует

1 использовать методику, описанную в Приложении 1, для расчета координационной зоны вокруг земных станций СКИ, работающих в полосах частот 25,5–27 ГГц и 37–38 ГГц;

2 использовать методику, описанную в Приложении 2, для расчета координационной зоны вокруг земных станций ССИЗ НГСО, работающих в полосе частот 25,5–27 ГГц;

3 использовать методику, описанную в Приложении 3, для расчета координационной зоны вокруг земных станций ССИЗ ГСО, работающих в полосе частот 25,5–27 ГГц,

рекомендует далее

- 1 администрациям рассмотреть вопрос о подробном изучении конкретных местоположений внутри координационной зоны для определения эксплуатационной совместимости систем ИМТ и ССИЗ/СКИ;
- 2 использовать методики, подобные описанной в Приложении 4, для защиты земных станций ССИЗ от станций ИМТ, развернутых внутри координационной зоны, определенной в соответствии с пунктами 2 и 3 раздела *рекомендует*.

СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

Политика в области прав интеллектуальной собственности (ПИС)	ii
Приложение 1 – Методика расчета координационной зоны вокруг земных станций СКИ.....	5
1 Введение.....	5
2 Стандартная методика TVG	5
3 Определение суммарной мощности базовой станции ИМТ-2020	6
4 Определение распределения усиления антенны базовой станции ИМТ-2020 в направлении горизонта	6
5 Определение коэффициента усиления G_r антенны СКИ в направлении горизонта	10
6 Определение порогового уровня защиты СКИ и эталонной ширины полосы.....	12
7 Определение необходимых потерь при распространении и связанной с ними процентной доли времени	12
8 Определение координационного контура.....	12
Приложение 2 – Методика расчета координационной зоны вокруг земных станций ССИЗ НГСО в полосе частот 25,5–27 ГГц.....	14
1 Введение.....	14
2 Модифицированная методика TVG	14
3 Определение суммарной мощности базовой станции ИМТ-2020	15
4 Определение распределения усиления антенны БС ИМТ-2020 в направлении горизонта	15
5 Определение коэффициента усиления G_r антенны ССИЗ в направлении горизонта.....	15
6 Определение свертки G_{tot} коэффициентов усиления обеих антенн в направлении горизонта.....	18
7 Определение порогового уровня защиты ССИЗ и эталонной ширины полосы.....	18

8	Определение необходимых потерь при распространении и связанной с ними процентной доли времени	19
9	Определение контура координационной зоны.....	19
Приложение 3 – Методика расчета координационной зоны вокруг земных станций ССИЗ ГСО в полосе частот 25,25–27,5 ГГц.....		20
1	Введение.....	20
2	Стандартная методика TVG	20
3	Определение суммарной мощности базовой станции IMT-2020	20
4	Определение распределения усиления антенны БС IMT-2020 в направлении горизонта	20
5	Определение коэффициента усиления G_r антенны ССИЗ в направлении горизонта	20
6	Определение порогового уровня защиты ССИЗ и эталонной ширины полосы.....	20
7	Определение необходимых потерь при распространении и связанной с ними процентной доли времени	21
8	Определение контура координационной зоны.....	21
Приложение 4 – Методика обеспечения защиты земных станций ССИЗ от станций IMT, развернутых внутри координационной зоны		22
1	Введение.....	22
2	Потери при распространении.....	22
3	Суммарное воздействие нескольких базовых станций IMT-2020 на земную станцию ССИЗ.....	23
4	Земная станция, отслеживающая спутник ГСО	23
4.1	Общие правила	23
4.2	Минимальное затухание в направлении земной станции ССИЗ	24
5	Земная станция, отслеживающая спутник НГСО	26
5.1	Общие правила	26
5.2	Практический пример	26

Приложение 1

Методика расчета координационной зоны вокруг земных станций СКИ

1 Введение

Хотя признано, что земная станция СКИ большую часть времени отслеживает космический аппарат НГСО и, следовательно, усиление ее сигнала в направлении горизонта меняется со временем, траектории космических аппаратов СКИ существенно различаются от одной программы к другой. Для СКИ (на околоземных орбитах) могут планироваться программы всех типов – от полетов на низких околоземных орбитах (LEO) до полетов вокруг одной из точек Лагранжа, в том числе по геосинхронным околоземным орбитам, высокоэллиптическим орбитам (HEO) и лунным орбитам. Точно так же программы СКИ (в дальнем космосе) обычно нацелены на полеты к планетам в плоскости эклиптики, но могут в течение длительного периода оставаться на околоземных орбитах или отклоняться от плоскости эклиптики в погоне за кометами, астероидами или другими телами.

Чтобы гарантировать, что определенная здесь методика охватывает все типы программ СКИ, предполагается, что антенна земной станции СКИ направлена в сторону азимута станции ИМТ-2020 при минимальном значении своего угла места.

Учитывая чувствительность земных станций СКИ и невозможность рассматривать конкретную траекторию или орбиту космического аппарата, зона, определяемая с помощью этой методики, может оказаться относительно большой. Следовательно, такие зоны следует рассматривать как координационные зоны, в которых система ИМТ-2020 все же может быть развернута с согласия оператора СКИ.

Используемая методика представляет собой методику изменяющегося во времени усиления (TVG), описанную в Приложении 7 РР. Эта методика дает результаты, аналогичные результатам анализа методом Монте-Карло, но работает гораздо быстрее и эффективнее. Чтобы подтвердить это, было проведено сравнение с результатами анализа методом Монте-Карло с использованием Рекомендации МСЭ-R М.2101 для некоторых точек контура, которое показало, что критерий защиты СКИ выполняется, когда базовая станция (БС) развернута сразу за пределами контура, и превышает при развертывании БС внутри контура. Методика ориентирована на базовую станцию ИМТ-2020 с учетом того, что пользовательское оборудование работает либо в помещении, либо в условиях сильных местных помех. Поскольку исследования показали, что эффект суммирования воздействия нескольких базовых станций и пользовательского оборудования вблизи земной станции незначителен, в методике рассматривается единственная базовая станция ИМТ-2020. При рассмотрении суммарного воздействия нескольких БС увеличение расстояний не ожидается, при условии что панели антенн БС не направлены в сторону ЗС по азимуту одновременно. Однако при планировании установки БС внутри координационной зоны необходимо рассмотреть возможность такого суммарного воздействия.

2 Стандартная методика TVG

В этом случае необходимые минимальные потери при распространении определяются уравнением (1):

$$L_{req}(p_v) = P_t + G_t(p_n) + G_r - I(p) - L_c, \quad (1)$$

где:

- P_t : общий уровень мощности передачи (дБВт) в эталонной ширине полосы передающей базовой станции ИМТ-2020;
- $I(p)$: пороговый уровень защиты (дБВт) в эталонной ширине полосы, который будет превышен не более чем для $p\%$ времени на входе антенны приемной земной станции СКИ, испытывающей помехи;
- $G_t(p_n)$: усиление передающей антенны в направлении горизонта (дБи), которое на рассматриваемом азимуте превышает в течение $p_n\%$ времени;

- G_r : усиление в направлении физического горизонта для заданного азимута (дБи) антенны земной станции СКИ, испытывающей помехи;
- $L_{req}(p_v)$: минимальные необходимые потери при распространении (дБ) в течение $p_v\%$ времени; эти потери должны превышать потерями на трассе распространения для всех возможных значений $p_v\%$, полученных из дополнительной интегральной функции распределения (CCDF) рассматриваемого усиления. p_v представляет собой процент времени аппроксимации свертки между переменным усилением в направлении горизонта и потерями на трассе распространения и определяется уравнением (2);
- L_c : потери из-за местных помех (дБ), относящиеся к конкретной среде земной станции СКИ, если таковые имеются. Потери из-за местных помех, применимые к базовой станции ИМТ, следует рассматривать при детальной координации, когда известны условия среды, в которой находится базовая станция:

$$p_v = \begin{cases} 100p/p_n & \text{при } p_n \geq 2p; \% \\ 50 & \text{при } p_n < 2p. \end{cases} \quad (2)$$

Ограничение до 50% вытекает из используемой модели распространения; см. Рекомендацию МСЭ-R P.452, в которой процентная доля времени ограничена 50%.

3 Определение суммарной мощности базовой станции ИМТ-2020

Суммарная мощность базовой станции ИМТ-2020 P_t (дБВт) определяется уравнением (3):

$$P_t = P_e + 10 \log(N) - L_o - 30 + 10 \log\left(\frac{B_{ref}}{B_{IMT}}\right), \quad (3)$$

где:

- P_e : мощность на один элемент антенны (дБм);
- N : количество элементов антенны;
- L_o : омические потери (дБ);
- B_{ref} : эталонная ширина полосы для критерия защиты СКИ (МГц для 26 ГГц, Гц для 37–38 ГГц);
- B_{IMT} : эталонная ширина полосы базовой станции ИМТ (МГц для 26 ГГц, Гц для 37–38 ГГц).

Например, общая мощность антенны 8×8 элементов, расположенной в городе или пригороде и работающей на частоте 26 ГГц со входной мощностью 10 дБ(м/200 МГц) на один элемент при омических потерях 3 дБ, составит -28 дБ(Вт/МГц).

4 Определение распределения усиления антенны базовой станции ИМТ-2020 в направлении горизонта

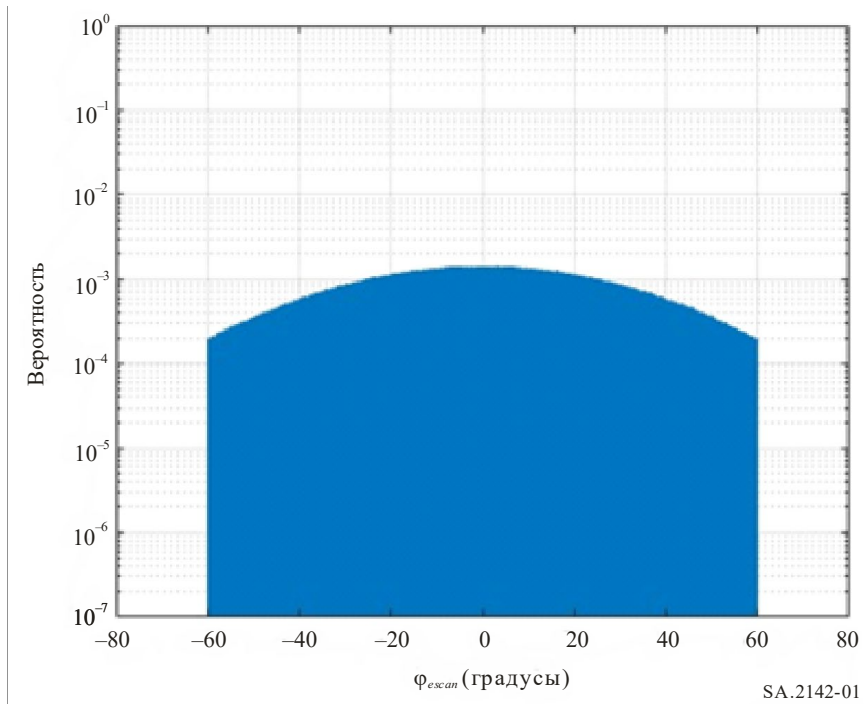
Предполагается, что панель антенны базовой станции направлена по азимуту на земную станцию СКИ. Распределение усиления антенны по направлению к горизонту определяется исходя из распределения электрических азимутальных углов φ_{escan} и углов электрического наклона θ_{eilt} , а также углов механического наклона θ_{milt} . Сами эти распределения задаются распределениями азимутов и расстояний до пользовательского оборудования, видимого с базовой станции, с использованием высот антенн БС и пользовательского оборудования (UE).

В настоящей Рекомендации механический наклон относится к горизонтальной плоскости. Поскольку панель антенны всегда направлена к земле, это значение отрицательно. Электрический наклон определяется по отношению к перпендикуляру к панели антенны, так что отрицательное значение означает электрический наклон вниз. Для городской/пригородной базовой станции, расположенной на высоте 6 м, с механическим наклоном антенны -10° и для пользовательского оборудования, расположенного на высоте 1,5 м, было получено следующее распределение усиления антенны БС

ИМТ-2020 по направлению к горизонту. В данном случае угол наведения луча по азимуту φ_{escan} можно упростить до нормального распределения по азимуту $N(\mu, \sigma^2)$ с нулевым средним значением $\mu = 0^\circ$ и $\sigma = 30^\circ$, ограниченного значениями -60° и $+60^\circ$. Распределение φ_{escan} показано на рисунке 1.

РИСУНОК 1

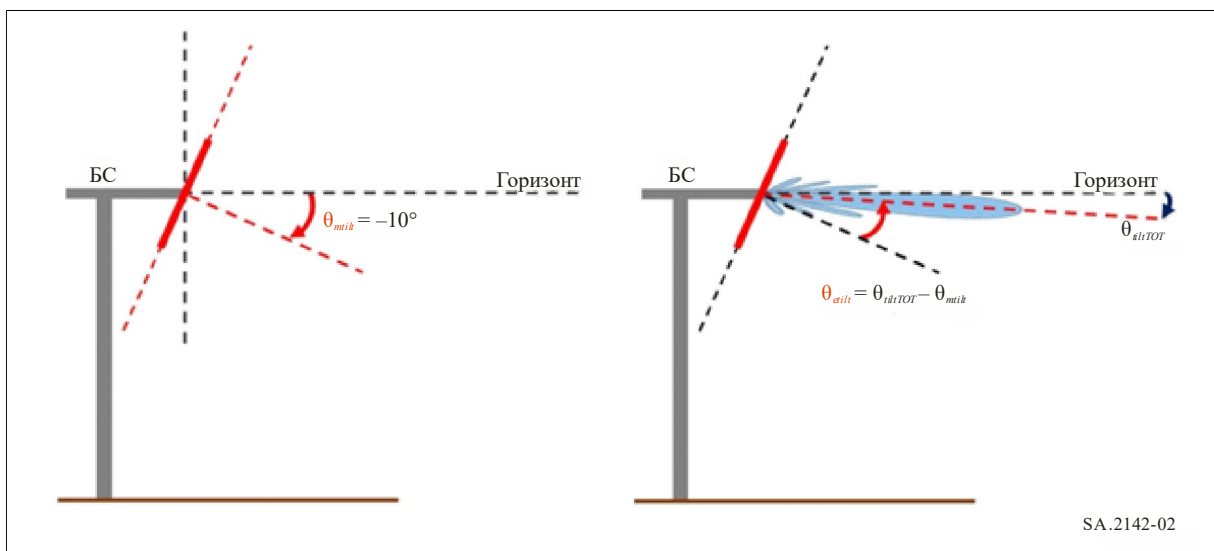
БС ИМТ-2020 (город/пригород) – распределение наведения луча по азимуту



Распределение угла наклона $\theta_{tilt\ TOT} = \theta_{eilt} + \theta_{milt}$ (см. рисунок 2) получается из распределения расстояния между БС и UE, такого как распределение Рэлея ($\sigma = 32$ м).

РИСУНОК 2

БС ИМТ-2020 (город/пригород) – распределение общего наклона



Диаграммы плотности распределения вероятности для расстояния до UE и значения $\theta_{tilt\ TOT}$ приведены соответственно на рисунках 3 и 4.

РИСУНОК 3

БС ИМТ-2020 (город/пригород) – плотность распределения вероятности для расстояния от БС до UE

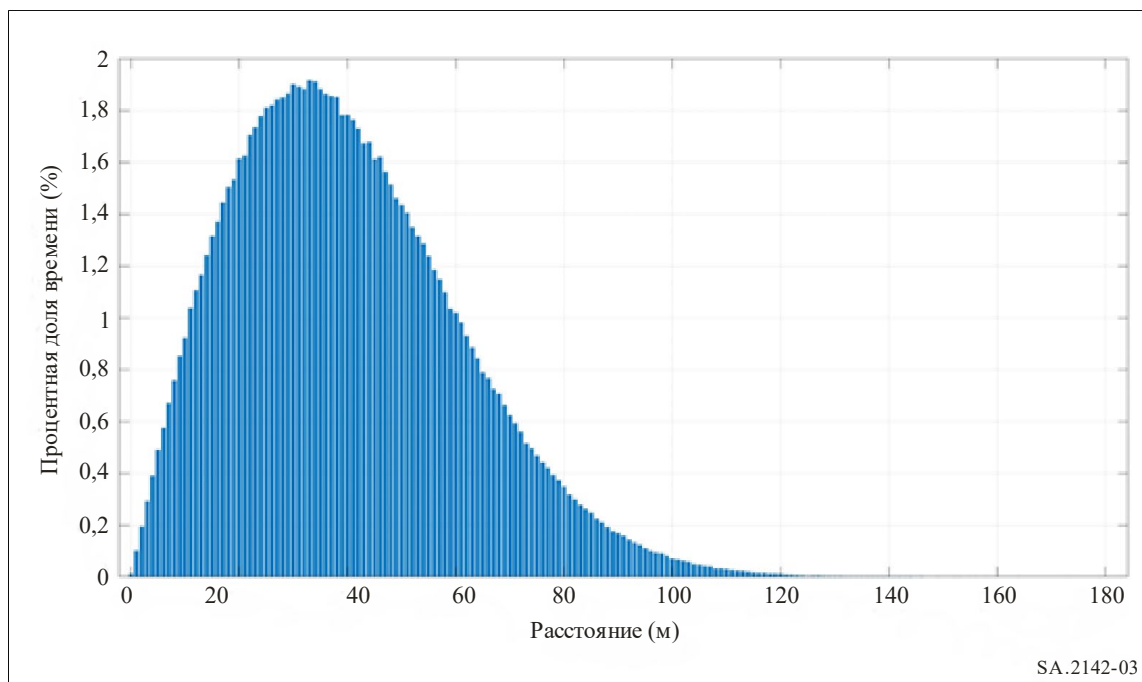
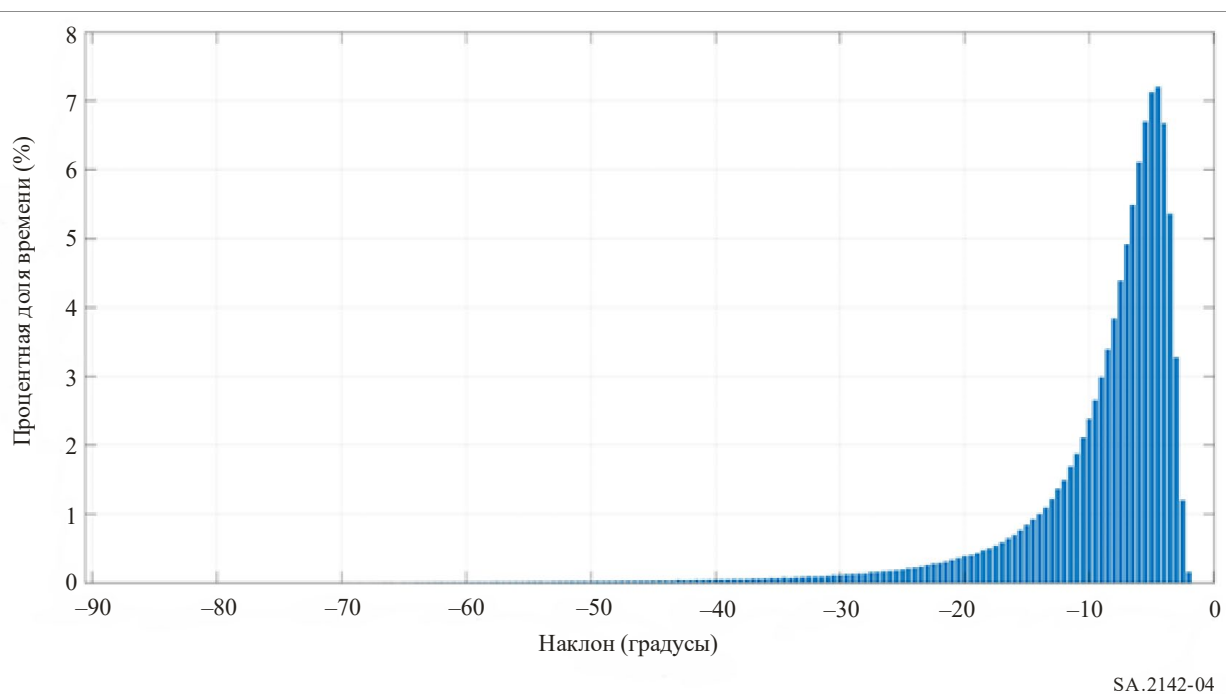


РИСУНОК 4

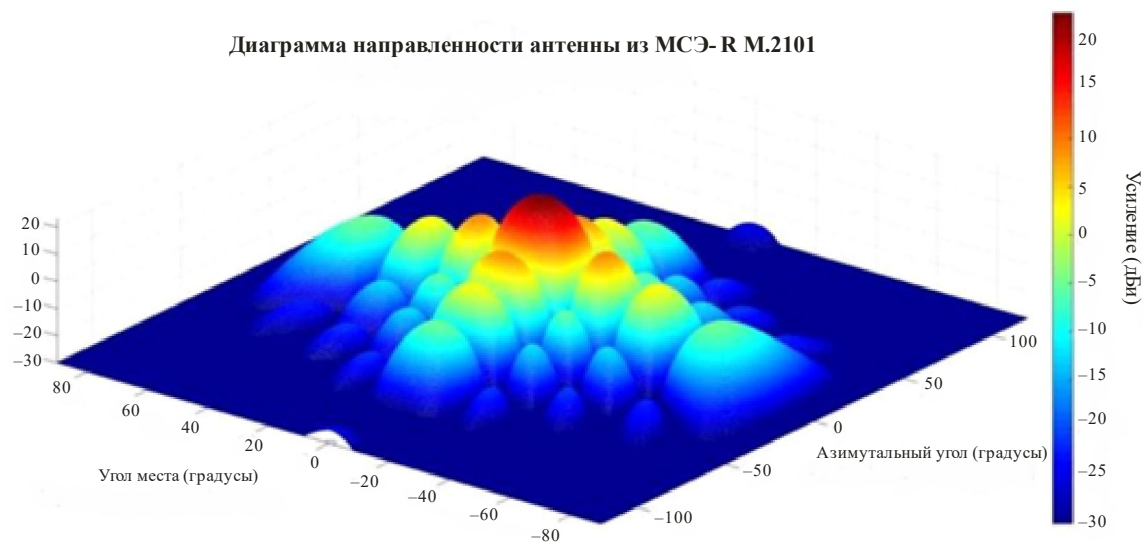
БС ИМТ-2020 (город/пригород) – плотность распределения вероятности для общего угла наклона



Из этих распределений можно получить распределение усиления антенны в направлении земной станции, испытывающей помехи, используя диаграмму направленности антенны из Рекомендации МСЭ-R M.2101. На рисунке 5 представлена диаграмма направленности антенны 8×8 элементов с апертурой элемента 65° , коэффициентом усиления антенны 5 дБи и коэффициентом обратного излучения 30 дБ. Согласно Рекомендации МСЭ-R M.2101 диаграмма направленности антенны ограничена значением -30 дБи (что является минимальным значением для диаграммы направленности одного элемента антенной решетки).

РИСУНОК 5

БС IMT-2020 (город/пригород) – диаграмма направленности антенны БС при угле электрического наклона 0°

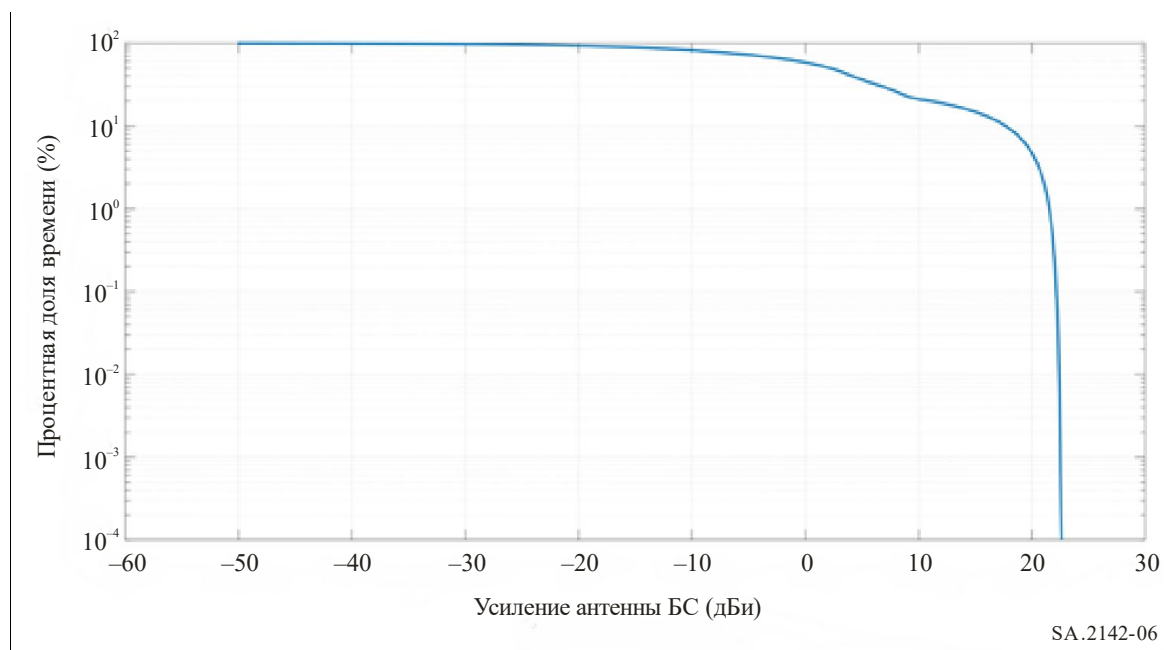


SA.2142-05

Распределение рассчитано для равнинной местности, то есть угол горизонта равен 0° . Это допущение для наихудшего случая, учитывая, что более высокие углы горизонта обеспечат меньшие значения усиления антенны (антенна направлена на землю). Это распределение показано на рисунке 6 для частоты 26 ГГц и на рисунке 7 для частоты 37 ГГц. Коэффициент усиления по оси X равен G_r , а процентная доля времени по оси Y равна p_n , как указано в уравнении (1).

РИСУНОК 6

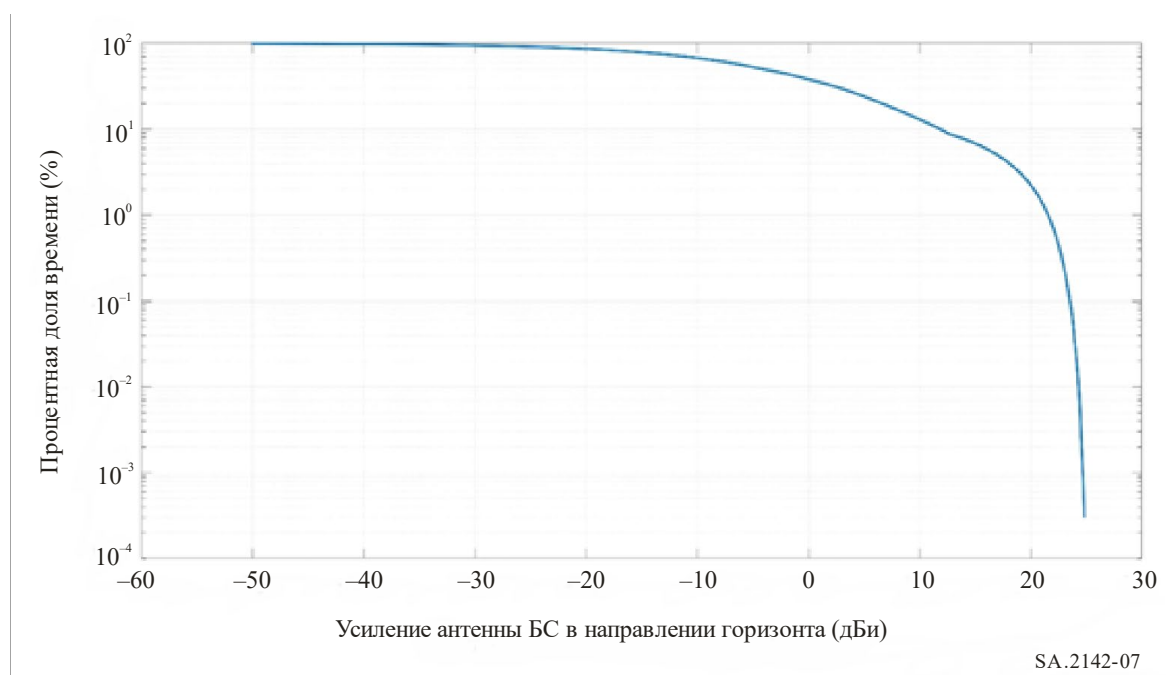
Дополнительная интегральная функция распределения (CCDF) усиления в направлении горизонта (БС IMT-2020 город/пригород, 24,25–27,5 ГГц)



SA.2142-06

РИСУНОК 7

CCDF усиления в направлении горизонта (БС ИМТ-2020 город/пригород, 37,00-43,50 ГГц)



Представленные выше распределения усиления антенны БС ИМТ-2020 по направлению к горизонту представляют собой пример с использованием диаграммы направленности антенны из Рекомендации МСЭ-R М.2101 при допущении, что в пределах зоны покрытия луч, управляемый с помощью электронных средств, всегда направляется в сторону UE. Распределение усиления антенны БС ИМТ-2020 можно получить и с использованием альтернативных диаграмм усиления антенны БС ИМТ-2020, включая фактически измеренные диаграммы направленности антенны, если таковые имеются. При расчете статистики усиления БС ИМТ-2020 в направлении земной станции, испытывающей помехи, также следует учитывать случаи, когда в БС ИМТ-2020 реализована технология массива с переключением лучей, так что лучи БС фиксированы, а UE по мере его перемещения в пределах зоны покрытия БС назначается разным лучам, или когда местоположение UE фиксировано.

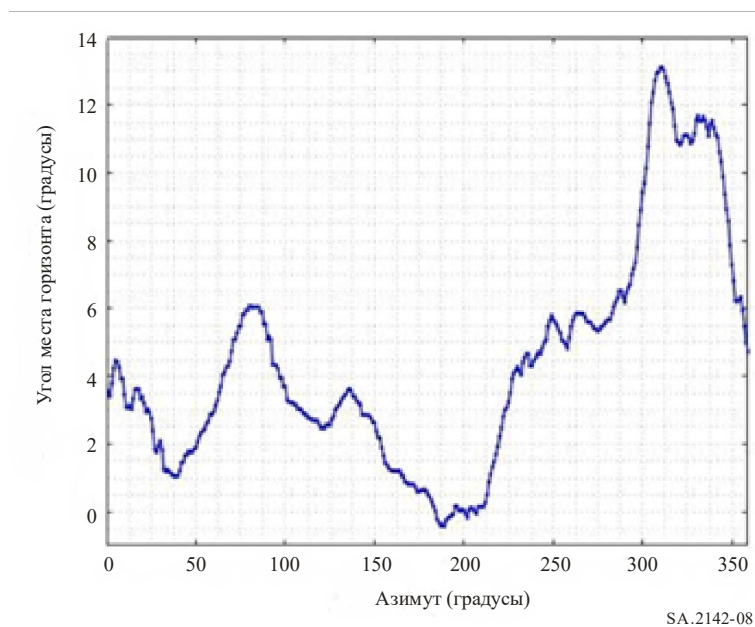
5 Определение коэффициента усиления G_r антенны СКИ в направлении горизонта

Усиление антенны СКИ в направлении горизонта определяется с использованием минимального угла места наведения для рассматриваемого азимута и соответствующей диаграммы направленности антенны.

- Минимальный угол места для СКИ (околоземной) в полосах частот 25,5–27 ГГц и 37–38 ГГц составляет 5° ; если угол места горизонта больше 4° , то минимальный угол места считается равным 1° над горизонтом.
- Минимальный угол места для СКИ (в дальнем космосе) в полосе частот 37–38 ГГц составляет 10° ; если угол места горизонта больше 9° , то минимальный угол места считается равным 1° над горизонтом.

В качестве примера на рисунке 8 приведен профиль горизонта для земной станции СКИ в Робledo (Испания). Угол места – около 75° по азимуту и выше 250° – превышает 4° , следовательно, минимальный угол места для СКИ (околоземной) составляет 1° над этим горизонтом. В других местах соответствующее значение будет равно 5° .

РИСУНОК 8
Профиль горизонта вокруг Робледо

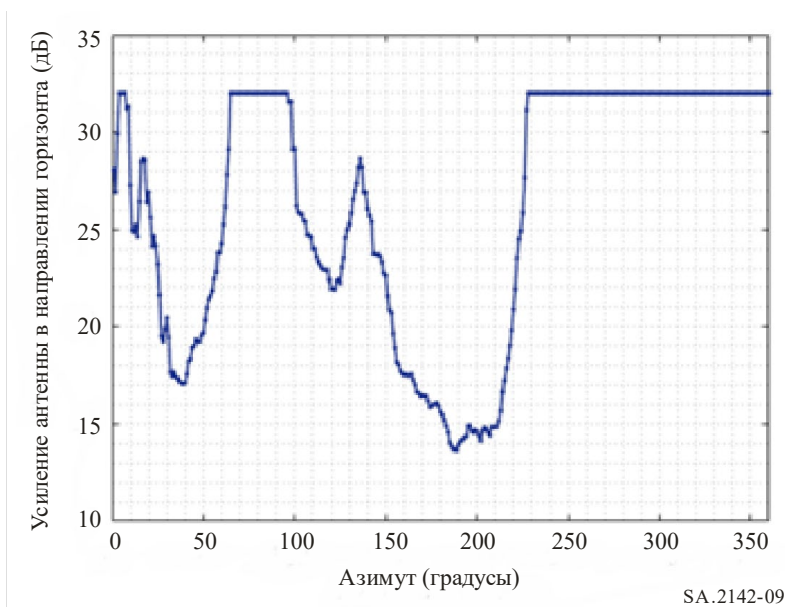


Следует отметить, что в Рекомендации МСЭ-R P.452 вычисляется угол места для всех точек модели местности между передатчиком и приемником, а затем определяется максимальное значение угла места со стороны передатчика и со стороны приемника. В этом случае значение, полученное согласно Рекомендации МСЭ-R P.452 со стороны приемника для всех азимутов, позволит непосредственно создать профиль горизонта, изображенный на рисунке 8.

Диаграмма направленности антенны СКИ зависит от каждой антенны и рассматриваемой полосы частот. Для полосы 25,5–27 ГГц можно использовать Рекомендацию МСЭ-R SA.509, а для полосы 37–38 ГГц – Рекомендацию МСЭ-R SA.1811. В качестве альтернативы можно также рассмотреть диаграммы направленности антенн, представленные в Приложениях 7 или 8 РР.

На рисунке 9 показан пример коэффициента усиления G_r антенны СКИ в зависимости от азимута вокруг земной станции СКИ в Робледо (Испания).

РИСУНОК 9
Усиление антенны земной станции СКИ в направлении горизонта вокруг станции в Робледо



6 Определение порогового уровня защиты СКИ и эталонной ширины полосы

- Для СКИ (околоземной), работающей на частотах ниже 30 ГГц, пороговый уровень защиты I указан в Рекомендации МСЭ-R SA.609 и составляет -156 дБВт при эталонной ширине полосы B_{ref} , равной 1 МГц. Соответствующий процент времени p составляет либо 0,1% для беспилотных программ, либо 0,001% для пилотируемых программ. Поскольку большинство земных станций СКИ могут поддерживать как пилотируемые, так и беспилотные программы, следует использовать значение 0,001%.
- Для СКИ, работающей в полосе частот 37–38 ГГц, пороговый уровень защиты I указан в Рекомендации МСЭ-R SA.1396 и составляет -217 дБВт при эталонной ширине полосы B_{ref} , равной 1 Гц. Соответствующий процент времени p составляет либо 0,1% для беспилотных программ, либо 0,001% для пилотируемых программ. Поскольку большинство земных станций СКИ могут поддерживать как пилотируемые, так и беспилотные программы, следует использовать значение 0,001%.

Эти критерии не включают никаких распределений, которые можно было бы предусмотреть в каждом конкретном случае.

7 Определение необходимых потерь при распространении и связанной с ними процентной доли времени

Для каждого азимута вокруг земной станции СКИ и каждой процентной доли времени p_n , определенной в разделе 2, необходимые потери при распространении L_{req} и соответствующая процентная доля времени p_v определяются с использованием уравнений (1) и (2) соответственно.

8 Определение координационного контура

Для каждого азимута вокруг земной станции СКИ, каждого значения расстояния от местоположения земной станции СКИ и каждого значения процентной доли времени p_v , определенных в разделе 7, потери при распространении определяются с использованием соответствующей модели распространения, такой как модель, представленная в Рекомендации МСЭ-R P.452 или Рекомендации МСЭ-R P.2001, с учетом высоты местности и препятствий, окружающих земную станцию. В случае использования Рекомендации МСЭ-R P.2001 соответствующая процентная доля времени p_v , полученная с помощью уравнения (2), не должна ограничиваться 50%.

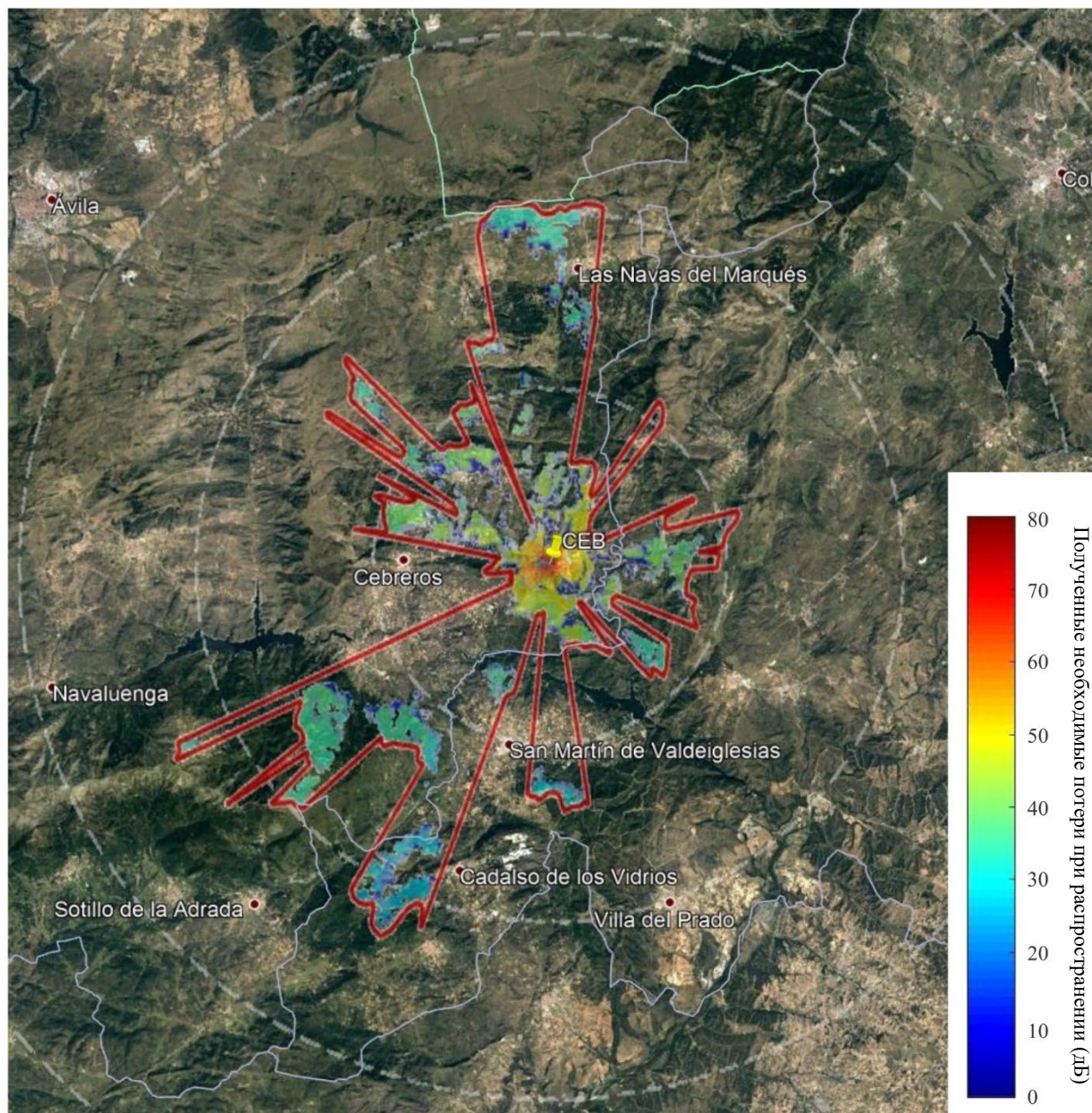
Модель рельефа местности может представлять собой данные профиля местности с разрешением в 1 угловую секунду, полученные в рамках программы радиолокационных топографических наблюдений космического аппарата "Шатгл" (SRTM), однако могут использоваться и более подробные модели местности, включая модели застроенных территорий. Профили местности можно снимать с шагом азимута 1° вокруг изучаемой земной станции и шагом по расстоянию 25 м. Затем можно вычислить потери вокруг станции с шагом азимута 1° и шагом по расстоянию 100 м.

Необходимое координационное расстояние для каждого значения азимута и процентной доли времени p_v – это максимальное расстояние, на котором рассчитанные потери при распространении чуть ниже необходимых потерь при распространении $L_{req}(p_v)$. Координационное расстояние, которое следует сохранить для рассматриваемого азимутального угла, представляет собой максимальное расстояние, полученное для всех значений p_v .

На рисунке 10 в качестве примера показан координационный контур вокруг станции СКИ в Себреросе (Испания), полученный для городской/пригородной базовой станции с антенной 8×8 элементов, работающей на частоте 26 ГГц. Белые окружности проведены на относительном расстоянии 10 км.

РИСУНОК 10

Вид координационного контура и нарушений уровня защиты вокруг станции в Себреросе



SA.2142-10

Приложение 2

Методика расчета координационной зоны вокруг земных станций ССИЗ НГСО в полосе частот 25,5–27 ГГц

1 Введение

Большинство спутников ССИЗ НГСО, использующих эту полосу частот, – спутники LEO на полярных орбитах. Можно использовать и иные типы орбит с другим наклоном, однако ожидается, что это не изменит результаты, полученные при использовании данной методики с конкретным спутником на солнечно-синхронной орбите высотой 400 км, как это предлагается в разделе 5.

Используемая методика основана на методике изменяющегося во времени усиления (TVG), приведенной в Приложении 7 РР. Однако поскольку коэффициенты усиления антенны передатчика и приемника варьируются, необходимо произвести свертку между распределениями этих коэффициентов усиления и, следовательно, методику требуется немного пересмотреть. Здесь методика снова проверялась посредством дополнительного моделирования методом Монте-Карло для некоторых точек контура.

Методика ориентирована на базовую станцию ИМТ-2020 с учетом того, что пользовательское оборудование работает либо в помещении, либо в условиях сильных местных помех. Для определения координационных зон, размер которых может превышать окончательные расстояния, полученные путем детального расчета в процессе координации, предполагается, что рассматриваемая панель антенны базовой станции физически направлена по тому же азимуту, что и земная станция ССИЗ, испытывающая помехи.

2 Модифицированная методика TVG

Для аппроксимации свертки распределений усиления антенны передатчика (базовой станции, отслеживающей UE), усиления антенны приемника (земной станции ССИЗ, отслеживающей спутник ССИЗ на типичной полярной орбите) и модели распространения использовалась модифицированная версия методики TVG, приведенной в Приложении 7 РР. Уравнение (1) можно переработать следующим образом:

$$L_{req}(p_v) = P_t + G_t(p_t) + G_r(p_r) - I(p) - L_c = P_t + G_{tot}(p_n) - I(p) - L_c, \quad (4)$$

где:

P_t : общий уровень мощности передачи (дБВт) в эталонной ширине полосы передающей базовой станции ИМТ-2020;

$I(p)$: пороговый уровень защиты (дБВт) в эталонной ширине полосы, который будет превышен не более чем для $p\%$ времени на входе антенны приемной земной станции ССИЗ, испытывающей помехи;

$G_t(p_t)$: усиление передающей антенны в направлении горизонта (дБи), которое на рассматриваемом азимуте превышает в течение $p_t\%$ времени;

$G_r(p_r)$: усиление в направлении физического горизонта для заданного азимута (дБи) антенны земной станции ССИЗ, испытывающей помехи, которое на рассматриваемом азимуте превышает в течение $p_r\%$ времени;

$G_{tot}(p_n) = G_t(p_t) + G_r(p_r)$: задается сверткой между распределением усиления передачи $G_t(p_t)$ и распределением усиления земной станции, испытывающей помехи, $G_r(p_r)$;

L_c : потери из-за местных помех (дБ), относящиеся к конкретной среде земной станции ССИЗ, если таковые имеются. Потери из-за местных помех, применимые к базовой станции ИМТ, следует рассматривать при детальной координации, когда известны условия среды, в которой находится базовая станция (см. пример в Приложении 4);

$L_{req}(p_v)$: минимальные необходимые потери при распространении (дБ) в течение $p_v\%$ времени; эти потери должны превышать потерями на трассе распространения для всех возможных значений $p_v\%$, полученных из дополнительной интегральной функции распределения рассматриваемого усиления. p_v представляет собой процент времени аппроксимации свертки между переменным усилением в направлении горизонта и потерями на трассе распространения и определяется уравнением (2).

3 Определение суммарной мощности базовой станции IMT-2020

Совпадает с разделом 3 Приложения 1.

4 Определение распределения усиления антенны БС IMT-2020 в направлении горизонта

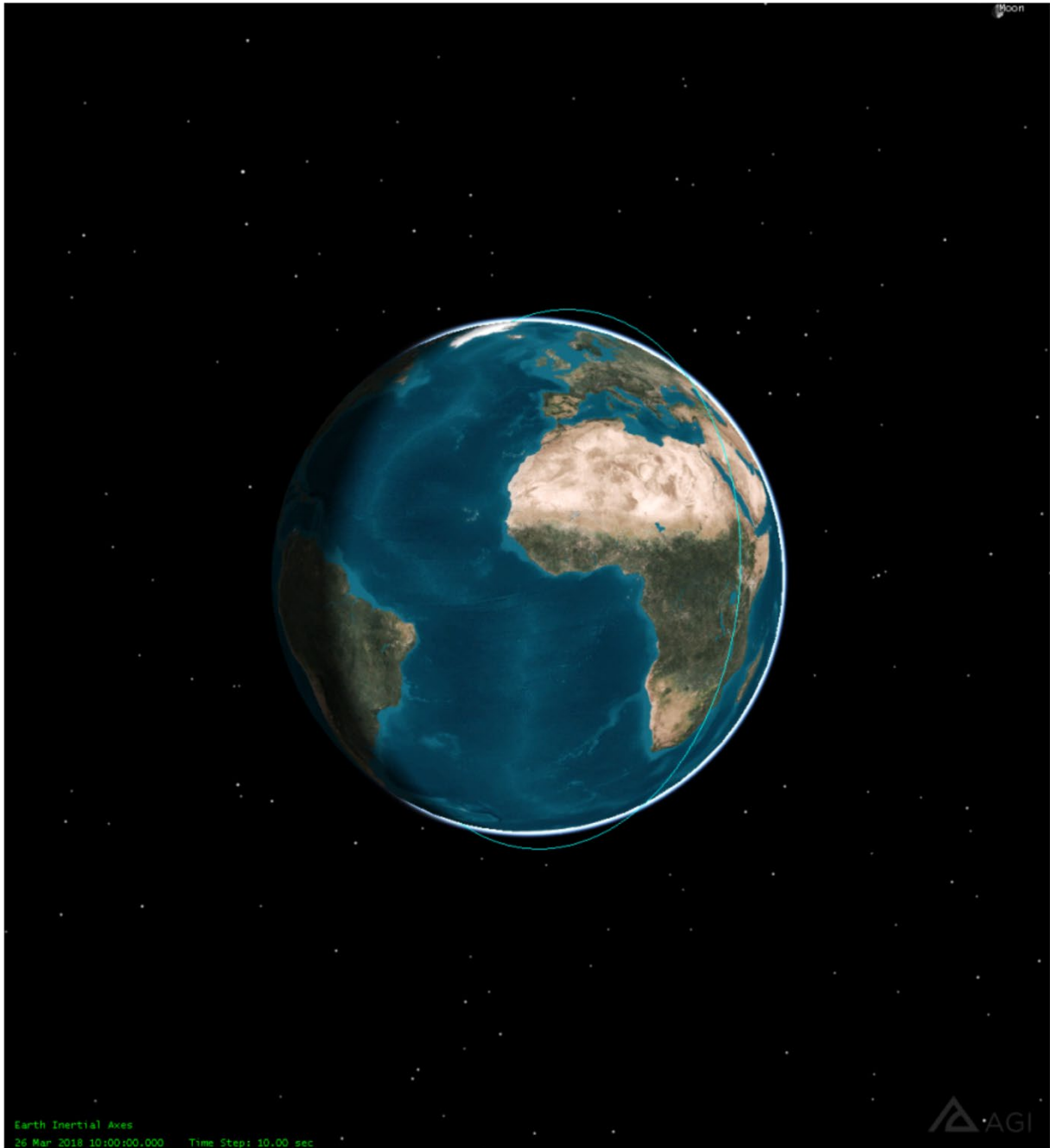
Совпадает с разделом 4 Приложения 1.

5 Определение коэффициента усиления G_r антенны ССИЗ в направлении горизонта

Чтобы определить коэффициент усиления антенны земной станции ССИЗ в направлении горизонта для каждого азимута, необходимо выполнить моделирование движения спутника ССИЗ по орбите в течение заданного периода времени.

Спутники ССИЗ, как правило, движутся по солнечно-синхронным орбитам высотой от 400 до 1400 км, типичное значение составляет 800 км. В наихудшем случае наклонение орбиты высотой 400 км составляет 97° . Вид такой орбиты показан на рисунке 11.

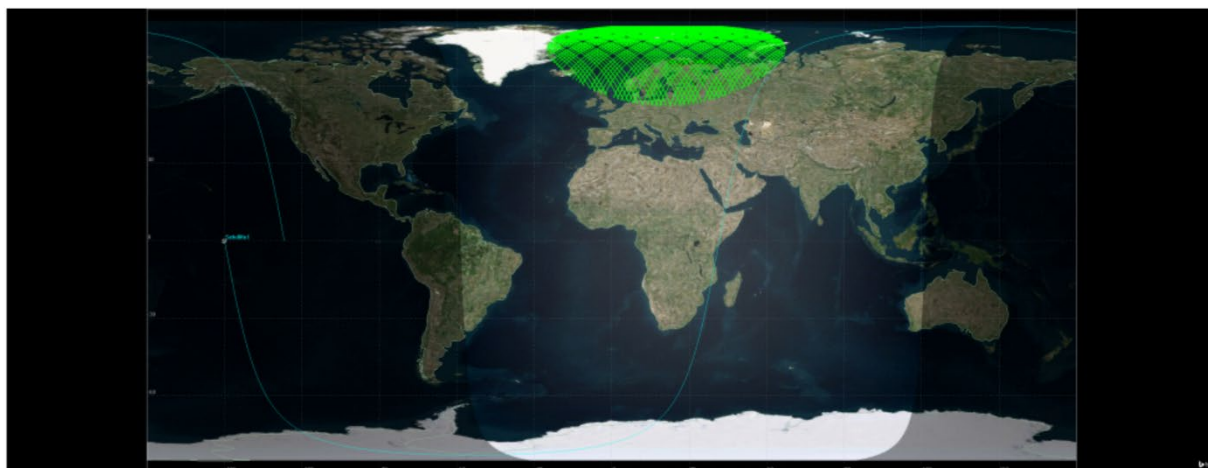
РИСУНОК 11
Орбита спутника ССИЗ



SA.2142-11

Затем необходимо определить видимость такого спутника с рассматриваемой земной станции ССИЗ. Спутник виден, когда его угол места при наблюдении с земной станции превышает 5° . На рисунке 12 в качестве примера показаны те части орбиты, которые видны из Кируны (Швеция) при значениях угла места более 5° в течение 11-дневного периода.

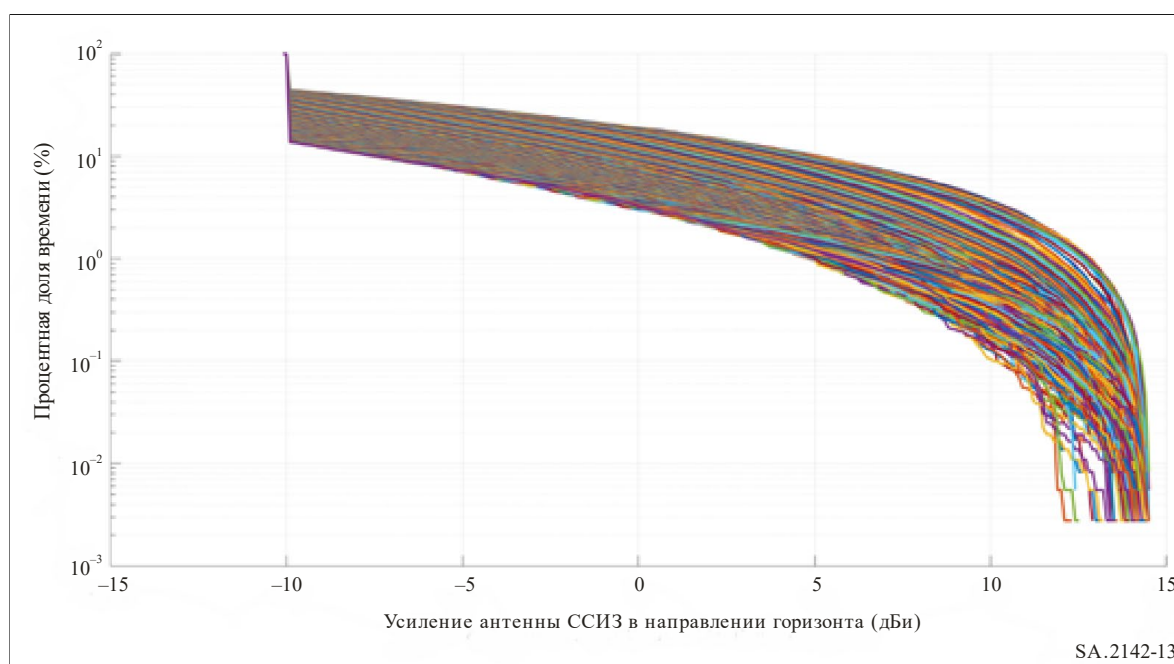
РИСУНОК 12
Видимость спутника ССИЗ с данной земной станции



SA.2142-12

Затем для каждого временного шага, когда спутник виден, и каждого азимута вокруг земной станции необходимо определить угол смещения между вектором "земная станция – спутник" и направлением горизонта для рассматриваемого азимута. Этот угол смещения можно использовать для определения усиления антенны в направлении горизонта с использованием диаграмм направленности антенны, таких как приведенные в Приложении 7 или Приложении 8 РР. После этого можно получить интегральную функцию распределения (CDF) усиления антенны для каждого азимута, как показано на рисунке 13 для Кируны, и антенны, соответствующей Приложению 8 РР, с максимальным коэффициентом усиления 70,7 дБи.

РИСУНОК 13
Усиление антенны ССИЗ в направлении горизонта для Кируны и спутника НГСО на полярной орбите высотой 400 км



SA.2142-13

Эта величина CDF обеспечивает значения G_r по оси X и p_r по оси Y , используемые в уравнении (4), для каждого азимута.

6 Определение свертки G_{tot} коэффициентов усиления обеих антенн в направлении горизонта

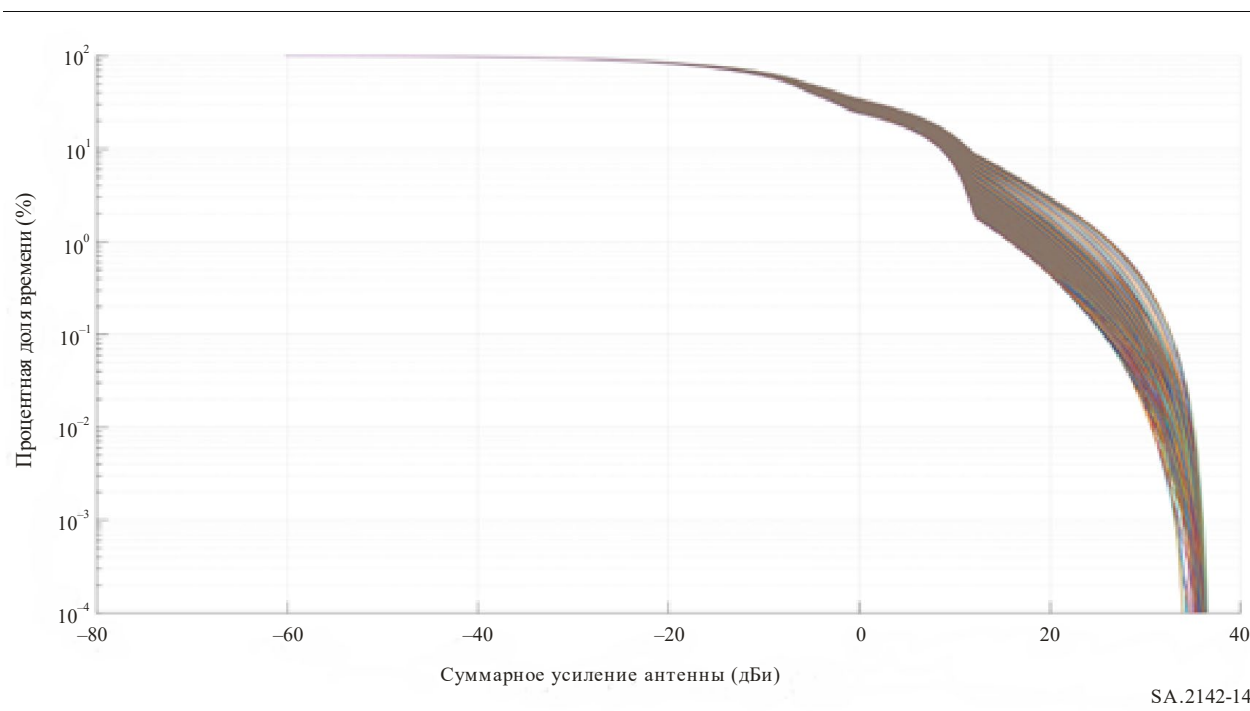
Когда известны оба распределения коэффициентов усиления базовой станции в направлении горизонта и ССИЗ в направлении горизонта, следующим шагом должно быть определение их свертки. Ее можно получить непосредственно для каждого азимута или с помощью следующего альтернативного подхода:

- сгенерировать N случайных значений коэффициента усиления G_t антенны базовой станции, следуя распределению (G_t, p_t) , полученному в разделе 4;
- сгенерировать N случайных значений коэффициента усиления G_r антенны земной станции ССИЗ, следуя распределению (G_r, p_r) , полученному в разделе 5;
- просуммировать два полученных случайных значения: $G_{tot} = G_t + G_r$;
- сгенерировать CDF от G_{tot} .

Это проделано в качестве примера для земной станции ССИЗ в Кируне при всех значениях азимута вокруг земной станции, как показано на рисунке 14.

РИСУНОК 14

Суммарное усиление G_{tot} для Кируны и спутника НГСО на полярной орбите высотой 400 км



SA.2142-14

7 Определение порогового уровня защиты ССИЗ и эталонной ширины полосы

Пороговый уровень I совместного использования частот ССИЗ указан в Рекомендации МСЭ-R SA.1027. В настоящей Рекомендации предлагаются два критерия: долгосрочный и краткосрочный. Анализ методом Монте-Карло показал, что при соблюдении краткосрочного критерия выполняется и долгосрочный. Кроме того, применение этой методики с долгосрочным критерием и процентной долей времени 20% приводит к значительной переоценке координационных расстояний, необходимых для обеспечения защиты земных станций ССИЗ.

Таким образом, критерием совместного использования частот является краткосрочный критерий, составляющий -116 дБВт при эталонной ширине полосы B_{ref} , равной 10 МГц. Соответствующий процент времени p составляет 0,005%.

8 Определение необходимых потерь при распространении и связанной с ними процентной доли времени

Совпадает с разделом 7 Приложения 1.

9 Определение контура координационной зоны

Для каждого азимута вокруг земной станции ССИЗ, каждого значения расстояния от местоположения земной станции ССИЗ и каждого значения процентной доли времени p_v , определенных в разделе 8, потери при распространении определяются с использованием соответствующей модели распространения, такой как модель, представленная в Рекомендации МСЭ-R P.452 или Рекомендации МСЭ-R P.2001, с учетом высоты местности и препятствий, окружающих земную станцию. В случае использования Рекомендации МСЭ-R P.2001 соответствующая процентная доля времени p_v , полученная с помощью уравнения (2), не должна ограничиваться 50%.

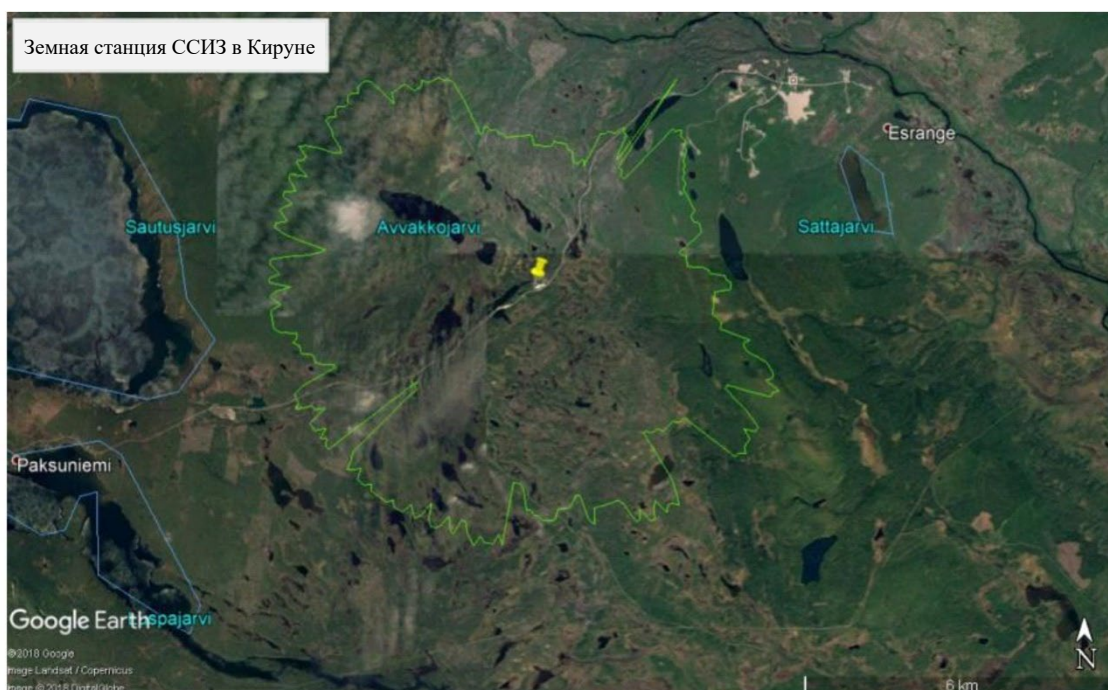
Модель рельефа местности может представлять собой данные профиля местности с разрешением в 1 угловую секунду, полученные в рамках программы радиолокационных топографических наблюдений космического аппарата "Шаттл" (SRTM), однако могут использоваться и более подробные модели местности, включая модели застроенных территорий. Профили местности можно снимать с шагом азимута 1° вокруг изучаемой земной станции и шагом по расстоянию 25 м. Затем можно вычислить потери вокруг станции с шагом азимута 1° и шагом по расстоянию 100 м.

Необходимое координационное расстояние для каждого значения азимута и процентной доли времени p_v – это максимальное расстояние, на котором рассчитанные потери при распространении чуть ниже необходимых потерь при распространении $L_{req}(p_v)$. Координационное расстояние, которое следует сохранить для рассматриваемого азимутального угла, представляет собой максимальное расстояние, полученное для всех значений p_v .

На рисунке 15 в качестве примера показан контур координационной зоны вокруг станции в Кируне (Швеция), полученный для городской/пригородной базовой станции с антенной 8×8 элементов, работающей на частоте 26 ГГц.

РИСУНОК 15

Вид контура координационной зоны вокруг станции в Кируне



Приложение 3

Методика расчета координационной зоны вокруг земных станций ССИЗ ГСО в полосе частот 25,25–27,5 ГГц

1 Введение

Эта методика применяется к спутникам ССИЗ, выполняющим наблюдения с орбиты ГСО, таким как метеорологические спутники, работающие в полосе частот 25,5–27 ГГц.

В этом случае земная станция ССИЗ отслеживает данный спутник ГСО и, следовательно, ее антенна не движется. Таким образом можно непосредственно применять методику TVG, приведенную в Приложении 7 РР. Эта методика дает результаты, аналогичные результатам анализа методом Монте-Карло, но работает гораздо быстрее и эффективнее. Здесь методика снова проверялась посредством дополнительного моделирования методом Монте-Карло для некоторых точек контура.

Методика ориентирована на базовую станцию ИМТ-2020 с учетом того, что пользовательское оборудование работает либо в помещении, либо в условиях сильных местных помех. Для определения координационных зон, размер которых может превышать окончательные расстояния, полученные путем детального расчета в процессе координации, предполагается, что рассматриваемая панель антенны базовой станции физически направлена по тому же азимуту, что и земная станция ССИЗ, испытывающая помехи.

2 Стандартная методика TVG

См. Приложение 1, раздел 2.

3 Определение суммарной мощности базовой станции ИМТ-2020

См. Приложение 1, раздел 3.

4 Определение распределения усиления антенны БС ИМТ-2020 в направлении горизонта

См. Приложение 1, раздел 4.

5 Определение коэффициента усиления G_r антенны ССИЗ в направлении горизонта

В этом случае спутник ГСО фиксируется на заданной долготе дуги ГСО на высоте около 36 000 км. Поэтому достаточно всего один раз определить вектор, идущий от земной станции ССИЗ к спутнику ССИЗ. Угол смещения между этим вектором и направлением горизонта для каждого азимута также достаточно определить только один раз, тогда как для спутника НГСО его нужно определять для каждого временного шага.

Этот угол смещения позволяет определить усиление антенны земной станции ССИЗ по направлению к горизонту для рассматриваемого азимута. Обычно его максимальное значение соответствует азимуту, по которому находится спутник ГСО.

6 Определение порогового уровня защиты ССИЗ и эталонной ширины полосы

Краткосрочный порог I для совместного использования частот ССИЗ указан в Рекомендации МСЭ-R SA.1161 и составляет -133 дБВт при эталонной ширине полосы B_{ref} , равной 10 МГц. Соответствующий процент времени p составляет 0,1%.

7 Определение необходимых потерь при распространении и связанной с ними процентной доли времени

См. Приложение 1, раздел 7.

8 Определение контура координационной зоны

Для каждого азимута вокруг земной станции ССИЗ, каждого значения расстояния от местоположения земной станции ССИЗ и каждого значения процентной доли времени p_v , определенных в разделе 7, потери при распространении определяются с использованием соответствующей модели распространения, такой как модель, представленная в Рекомендации МСЭ-R P.452 или Рекомендации МСЭ-R P.2001, с учетом высоты местности и препятствий, окружающих земную станцию. В случае использования Рекомендации МСЭ-R P.2001 соответствующая процентная доля времени p_v , полученная с помощью уравнения (2), не должна ограничиваться 50%.

Модель рельефа местности может представлять собой данные профиля местности с разрешением в 1 угловую секунду, полученные в рамках программы SRTM, однако могут использоваться и более подробные модели местности, включая модели застроенных территорий. Профили местности можно снимать с шагом азимута 1° вокруг изучаемой земной станции и шагом по расстоянию 25 м. Затем можно вычислить потери вокруг станции с шагом азимута 1° и шагом по расстоянию 100 м.

Необходимое координационное расстояние для каждого значения азимута и процентной доли времени p_v – это максимальное расстояние, на котором рассчитанные потери при распространении чуть ниже необходимых потерь при распространении $L_{req}(p_v)$. Координационное расстояние, которое следует сохранить для рассматриваемого азимутального угла, представляет собой максимальное расстояние, полученное для всех значений p_v .

На рисунке 16 в качестве примера показан контур координационной зоны, полученный вокруг земной станции ССИЗ в Лойке (Швейцария) для городской/пригородной базовой станции с антенной 8×8 элементов, работающей на частоте 26 ГГц.

РИСУНОК 16

Вид контура координационной зоны вокруг станции в Лойке



Приложение 4

Методика обеспечения защиты земных станций ССИЗ от станций ИМТ, развернутых внутри координационной зоны

1 Введение

Целью настоящего Приложения является описание методики обеспечения защиты земных станций ССИЗ (ГСО и/или НГСО) от ИМТ-2020 в случаях, когда базовая станция ИМТ расположена в пределах координационной зоны. За пределами этой координационной зоны расчеты не требуются, и развертывание сетей ИМТ-2020 может осуществляться без особых ограничений. Однако возможно развертывание сетей ИМТ-2020 в координационной зоне, и в этом случае необходимо принять некоторые меры предосторожности.

Исследования показали, что в случае защиты ССИЗ (ГСО или НГСО) использование общей методики TVG (сделанное без учета профиля местности) дает расстояния, которые в большинстве случаев могут быть приближенно определены следующим образом:

- для земных станций ГСО – путем расчета с максимальным усилением БС в направлении горизонта и процентной долей времени 50% по модели, описанной в Рекомендации МСЭ-R P.452;
- для земных станций НГСО – путем расчета с максимальным суммарным усилением (G_{tot} – сумма коэффициентов усиления ССИЗ и БС в направлении горизонта) и процентной долей времени 50% по модели, описанной в Рекомендации МСЭ-R P.452

Расстояние, определенное с помощью методики TVG, также зависит от излучаемой мощности. Исследования показывают, что упомянутое выше приближение полностью соответствует э.и.и.м., равной 48 дБм/200 МГц для антенны 8×8 элементов (мощность 25 дБм/200 МГц с учетом омических потерь 3 дБ и максимального усиления 23 дБи), и может быть расширено для более высоких значений э.и.и.м.

Некоторые другие исследования земных станций ССИЗ показали, что соответствие краткосрочному критерию (–133 дБ(Вт/10 МГц) для 0,1% времени (случай ГСО) и –116 дБ(Вт/10 МГц) для 0,005% времени (НГСО)) также подразумевает и выполнение долгосрочного критерия. Таким образом, для земной станции ССИЗ исследования могут быть сосредоточены только на этом критерии.

В случае земной станции ССИЗ координационное расстояние в большинстве случаев ограничивается линией прямой видимости (LoS). Другими словами, расстояние часто бывает близким к радиогоризонту или меньше. В этом случае расчетные потери, приведенные в Рекомендации МСЭ-R P.452 (при 50% времени и в условиях прямой видимости (LoS)), основаны на потерях в свободном пространстве и дифракции.

2 Потери при распространении

В условиях LoS эффекты волнового и тропосферного рассеяния не играют роли, и минимальные потери обусловлены потерями в свободном пространстве и дифракцией, как описано в Рекомендации МСЭ-R P.452. Потери в свободном пространстве увеличиваются с расстоянием, а дифракционные потери связаны с наличием физических препятствий на трассе распространения, а также с дифракцией на кривизне поверхности Земли. Дифракционные потери зависят от количества и высоты препятствий, высоты антенны базовой станции ИМТ-2020 и высоты антенны земной станции.

В городской среде для базовой станции ИМТ, обслуживающей точку беспроводного доступа на высоте 6 м, очень большое значение может приобретать дифракция на зданиях, то есть влияние препятствий. Например, кривые, представленные в Рекомендации МСЭ-R P.2108, показывают дифракционные потери от 13 до 45 дБ на первых 500 м. Для этого расстояния среднее значение потерь близко к 19 дБ. Это значение произвольно и будет использоваться в качестве примера при расчете. Однако для более точных расчетов следует использовать реальный профиль местности с указанием высоты зданий. На рисунке 17 приведен пример распределения высоты зданий, которое можно использовать при моделировании.

РИСУНОК 17

Пример распределения высоты зданий в центре Тулузы



SA.2142-17

3 Суммарное воздействие нескольких базовых станций ИМТ-2020 на земную станцию ССИЗ

Суммарное воздействие нескольких базовых станций может иметь место только в том случае, если излучение каждой из нескольких станций создает одну и ту же мощность в приемнике ССИЗ. Для выполнения этого условия в ситуации LoS, принимая во внимание предыдущее допущение при расчете (максимальное усиление, 50%), БС должны иметь максимальное усиление в направлении земной станции при почти одинаковых потерях на каждой трассе распространения. Рассматривая городскую среду с разными трассами распространения и несколькими уровнями дифракционных потерь, этой ситуацией нельзя полностью пренебречь. Следовательно, для учета такого суммарного воздействия можно использовать повышенный запас по критериям защиты ССИЗ.

4 Земная станция, отслеживающая спутник ГСО

4.1 Общие правила

Как указано в разделе 1 настоящего Приложения, расстояние разноса в координационной зоне между земной станцией, направленной в сторону спутника ГСО, и базовой станцией ИМТ-2020 может быть определено с учетом:

- 1 максимального усиления земной станции в направлении горизонта (G_{\max});
- 2 максимального коэффициента усиления БС в направлении горизонта ($G_{t\max}$);
- 3 мощности БС ИМТ-2020 (или TRP при омических потерях 3 дБ), преобразованной в эталонную ширину полосы для критерия защиты ССИЗ (10 МГц) (P_t);
- 4 краткосрочного критерия защиты земной станции ССИЗ: -133 дБ(Вт/10 МГц) (C_r);
- 5 запаса для учета суммирования (s);

- 6 процентной доли времени 50%, указанной в Рекомендации МСЭ-R P.452 (Примечание: для упрощения можно использовать Рекомендацию МСЭ-R P.525 (свободное пространство) и Рекомендацию МСЭ-R P.526 (дифракция));
- 7 соответствующего профиля местности между земной станцией и БС. Этот профиль местности должен быть максимально точным и учитывать потери из-за зданий/местных препятствий.

В реальных условиях использование расстояния разноса может оказаться затруднительным. В этой ситуации, чтобы определить положение БС по отношению к земной станции ССИЗ, предпочтительнее рассчитать необходимые потери на основе приведенных выше предположений. Необходимые потери при распространении можно рассчитать следующим образом:

$$L_{req} = P_t + G_{tmax} + G_{rmax} - C_r + A. \quad (5)$$

4.2 Минимальное затухание в направлении земной станции ССИЗ

В исследовании изучается возможность использования угла избирательности между механическим азимутом БС и азимутом земной станции ССИЗ в качестве фактора улучшения совместимости. На рисунке 18 показано интегральное распределение усиления антенны БС (точка беспроводного доступа на высоте 6 м) в направлении горизонта для разных физических азимутальных углов панели антенны БС. Рисунок выполнен с учетом распределения электрического наклона (см. Приложение 1, раздел 4) и механического наклона, составляющего -10° . На рисунке показано, что ввиду распределения UE по горизонтальному углу поворота (от -60° до 60°) и расстоянию для значений угла поворота от 0° до 50° можно получить максимальное усиление в направлении горизонта от 22,5 до 20 дБи. После достижения этого значения максимальное усиление в направлении горизонта резко уменьшается и опускается ниже 5 дБи, когда БС расположена перпендикулярно по отношению к приемнику.

Эти результаты показывают, что положение БС по отношению к земной станции ССИЗ может значительно улучшить совместимость между обеими службами. В таблице 1 приведены необходимые потери с учетом распределения усиления, представленного на рисунке 18, и уравнения (5). Максимальная TRP БС принимается равной 25 дБм/200 МГц. С учетом эталонной ширины полосы, соответствующей критерию защиты ССИЗ (см. Приложение 1, раздел 3), излучаемая мощность составляет -18 дБ(Вт/10 МГц). Для более высоких значений TRP минимальное затухание будет соответственно увеличиваться. Для антенны с меньшим или большим количеством элементов минимальное затухание необходимо рассчитать заново.

Земная станция ССИЗ может указывать на разные позиции на дуге геостационарной орбиты, но расчеты показывают, что усиление в направлении горизонта (G_r) может варьироваться только в пределах от -6 до -10 дБи, по крайней мере в большинстве европейских стран ниже заданной широты. Для обеспечения защиты земной станции выбрано значение -6 дБи.

В таблице 1 показано, что если используется среднее значение потерь из-за местных препятствий, равное 19 дБ, то расстояние разноса между БС IMT-2020 и земной станцией ССИЗ может оказаться менее 1 км, если БС направлена к земной станции, и менее 100 м, если БС направлена перпендикулярно земной станции.

РИСУНОК 18

CDF усиления БС IMT-2020 в направлении горизонта для разных азимутов

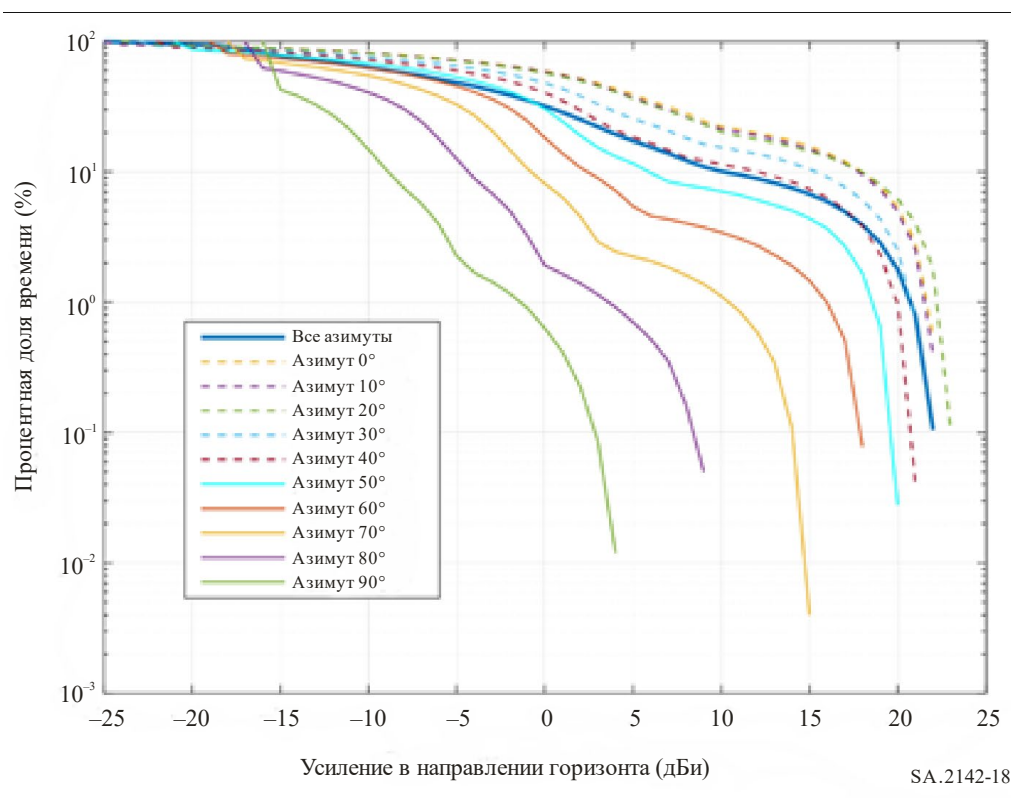


ТАБЛИЦА 1

Оценка необходимых потерь

Тип	Азимут (град.)	P_t (дБ(Вт/10 МГц))	G_t (дБи)	G_r (дБи)	C_r (дБ(Вт/10 МГц))	Суммарное воздействие (дБ)	$L_b^{(1)}$ (дБ)	Расстояние с учетом потерь в свободном пространстве (км)	Расстояние с учетом потерь в свободном пространстве и потерь из-за местных препятствий (км) ⁽²⁾
Точка доступа	0	-18	22,5	-6	-133	6	137,5	6,6	0,8
	10								
	20								
	30								
	40	-18	21	-6	-133	6	136	5,8	0,65
	50	-18	20	-6	-133	6	135	5,2	0,58
	60	-18	18	-6	-133	6	133	4,1	0,47
	70	-18	15	-6	-133	6	130	3	0,33
	80	-18	9	-6	-133	6	124	1,5	0,17
	90	-18	4	-6	-133	6	119	0,8	< 0,1

⁽¹⁾ Для базовых станций IMT с разными технико-эксплуатационными характеристиками необходимо соответствующим образом рассчитать уровни затухания.

⁽²⁾ Расстояния оцениваются с учетом среднего значения потерь из-за местных препятствий, равного 19 дБ (среднее значение распределения, указанное в Рекомендации МСЭ-R P.2108 для расстояния 500 м).

5 Земная станция, отслеживающая спутник НГСО

5.1 Общие правила

Как указано в разделе 1 настоящего Приложения, расстояние разноса в координационной зоне между земной станцией, направленной в сторону спутника НГСО, и базовой станцией ИМТ-2020 может быть определено с учетом:

- максимального суммарного усиления (совместного усиления БС и земной станции) в направлении горизонта ($G_{сmax}$);
- мощности БС ИМТ-2020 (или TRP при омических потерях 3 дБ), преобразованной в эталонную ширину полосы для критерия защиты ССИЗ (10 МГц) (P_t);
- краткосрочного критерия защиты земной станции ССИЗ НГСО: -116 дБ(Вт/10 МГц) (C_r);
- фиксированного значения коэффициента суммирования (A);
- процентной доли времени 50%, указанной в Рекомендации МСЭ-R P.452, что нередко можно упростить за счет совместного применения Рекомендации МСЭ-R P.525 (свободное пространство) и Рекомендации МСЭ-R P.526 (дифракция);
- соответствующего профиля местности между земной станцией и БС. Этот профиль местности должен быть максимально точным и учитывать потери из-за зданий/местных препятствий. Пример приведен на рисунке 1.

В реальных условиях использование расстояния разноса может оказаться затруднительным. В этой ситуации, чтобы определить положение БС по отношению к земной станции ССИЗ, лучше всего рассчитать необходимые потери на основе приведенных выше предположений. Эти потери можно рассчитать следующим образом:

$$L = P_t + G_{сmax} - C_r + A. \quad (6)$$

5.2 Практический пример

Как и в предыдущем разделе, исследование сосредоточено на возможности использования угла избирательности между механическими осями БС и земной станции ССИЗ в качестве фактора улучшения совместимости. На рисунке 19 показано интегральное распределение суммарного усиления (соотношение усиления БС и усиления ССИЗ) в направлении горизонта для разных азимутальных углов. Ввиду ограничения угла электрического наклона БС диапазоном от -60° до 60° максимальное суммарное усиление составляет от 35 до 37,5 дБи для угла избирательности от 0° до 50° и уменьшается при больших значениях угла.

В таблице 2 приведены необходимые потери с учетом распределения усиления, представленного на рисунке 19 и в уравнении из пункта 5.1. В этом примере максимальная мощность БС принята равной 25 дБм/200 МГц. С учетом эталонной ширины полосы, соответствующей критерию защиты ССИЗ (см. раздел 3), излучаемая мощность составляет -18 дБ(Вт/10 МГц).

Земная станция ССИЗ отслеживает спутник НГСО на высоте 800 км на полярной орбите. Минимальный угол места принимается равным 5° . Для этого угла места максимальное усиление антенны в направлении горизонта, согласно Приложению 8 РР, близко к 15 дБи.

В таблице 2 показано, что если используется среднее значение потерь из-за местных препятствий, равное 19 дБ, то расстояние разноса между БС ИМТ-2020 и земной станцией ССИЗ может оказаться менее 1,3 км, если БС направлена к земной станции, и менее 140 м, если БС направлена перпендикулярно земной станции.

На рисунке 20 представлена карта потерь в городе во Франции, где может быть развернута земная станция ССИЗ. На этом рисунке видно, что максимальное расстояние в городе при условии отсутствия зданий составляет около 3 км, что дает уровень потерь 142 дБ. При наличии зданий на трассе расстояние может сократиться до нескольких сотен метров. Тем не менее в местах, возвышающихся над уровнем моря (холмы, горы и т. д.) и находящихся в северо-восточном и юго-западном направлениях от станции на большом расстоянии от нее (около 5 км), необходимо соблюдать осторожность. На рисунке 20 видно, что дифракционные потери из-за зданий на пути распространения радиоволн обеспечивают защиту земных станций ССИЗ и без наложения чрезмерных ограничений на БС ИМТ-2020.

РИСУНОК 19

CDF суммарного усиления в направлении горизонта для разных азимутов

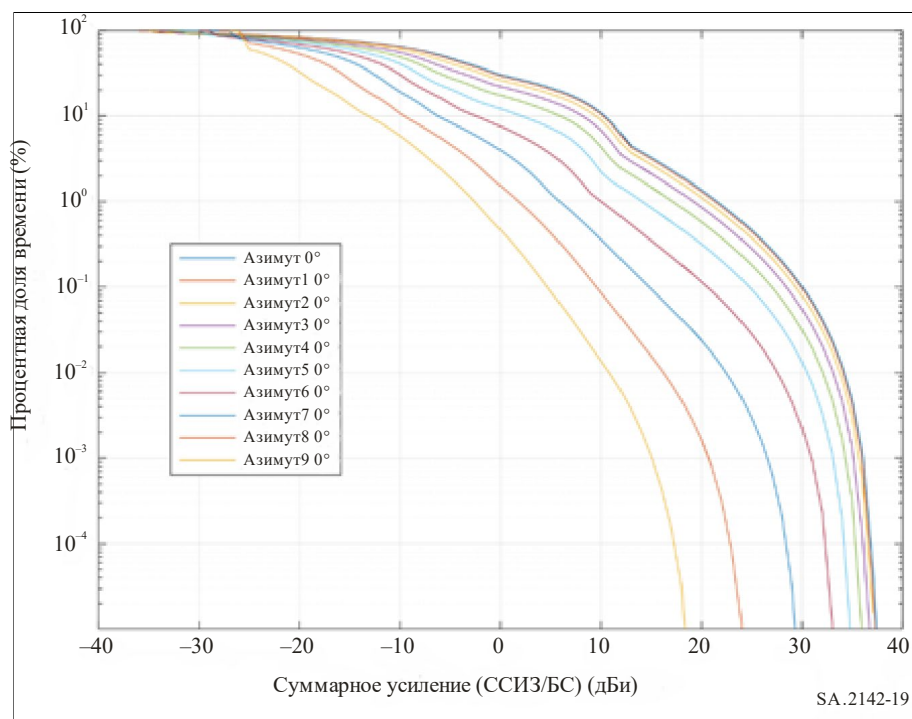


ТАБЛИЦА 2

Оценка необходимых потерь

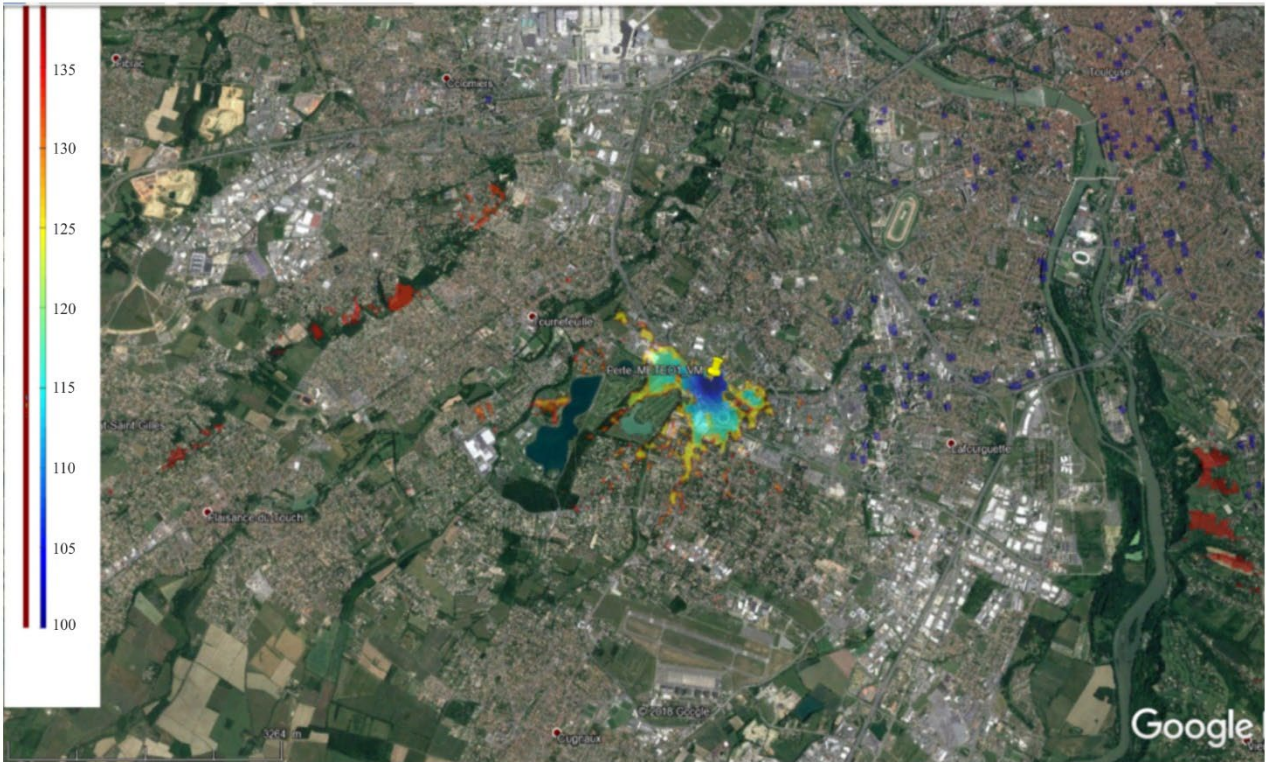
Тип	Азимут (град.)	P_t (дБ(Вт/10 МГц))	G_c (дБи)	C_r (дБ(Вт/10 МГц))	Суммарное воздействие (дБ)	$L_b^{(1)}$ (дБ)	Расстояние с учетом потерь в свободном пространстве (км)	Расстояние с учетом потерь в свободном пространстве и потерь из-за местных препятствий (км) ⁽²⁾
Точка доступа	0	-18	38	-116	6	142	11,6	1,3
	10							
	20							
	30							
	40	-18	36	-116	6	140	9,2	1,03
	50	-18	35	-116	6	139	8,3	0,92
	60	-18	33	-116	6	137	6,6	0,73
	70	-18	30	-116	6	134	4,6	0,52
	80	-18	24	-116	6	128	2,3	0,26
90	-18	19	-116	6	123	1,3	0,14	

⁽¹⁾ Для базовых станций ИМТ с разными технико-эксплуатационными характеристиками необходимо соответствующим образом рассчитать уровни затухания.

⁽²⁾ Расстояния оцениваются с учетом среднего значения потерь из-за местных препятствий, равного 19 дБ (среднее значение распределения, указанное в Рекомендации МСЭ-R P.2108 для расстояния 500 м).

РИСУНОК 20

Карта потерь для города Тулузы с использованием Рекомендации МСЭ-R P.452 (50%)
и реального профиля местности, соответствующего модели застройки



SA.2142-20