

Международный союз электросвязи

МСЭ-R
Сектор радиосвязи МСЭ

Рекомендация МСЭ-R P.681-10
(12/2017)

**Данные о распространении радиоволн,
необходимые для проектирования
сухопутных подвижных систем связи
Земля-космос**

Серия Р
Распространение радиоволн



Международный
союз
электросвязи

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, 2018 г.

© ITU 2018

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 P.681-10*

Данные о распространении радиоволн, необходимые для проектирования сухопутных подвижных систем связи Земля-космос

(Вопрос МСЭ-R 207/3)

(1990-1994-1995-1997-1999-2001-2003-2009-2015-2016-2017)

Сфера применения

В настоящей Рекомендации представлен прогноз различных параметров распространения радиоволн, необходимых для планирования сухопутной подвижной спутниковой службы (СПСС) Земля-космос.

Ассамблея радиосвязи МСЭ,

учитывая,

- a)* что для надлежащего планирования сухопутных подвижных систем Земля-космос необходимы соответствующие данные о распространении радиоволн и методы прогнозирования;
- b)* что для планирования систем электросвязи Земля-космос рекомендуются методы, представленные в Рекомендации МСЭ-R P.618;
- c)* что требуется дальнейшее развитие методов прогнозирования для конкретного применения в сухопутных подвижных спутниковых системах в целях обеспечения достаточной точности во всех районах мира и для всех эксплуатационных условий;
- d)* что вместе с тем существуют методы, обеспечивающие достаточную точность для многих применений,

рекомендует

принять для планирования сухопутных подвижных систем электросвязи Земля-космос методы, представленные в Приложении 1, в дополнение к методам, предложенным в Рекомендации МСЭ-R P.618.

Приложение 1**1 Введение**

Явления распространения радиоволн для сухопутной подвижной спутниковой службы (СПСС) отличаются от аналогичных явлений для фиксированной спутниковой службы (ФСС) прежде всего по причине более значительного влияния местности. В ФСС обычно можно бороться с многолучевостью, затенением и перекрытием путем использования остронаправленных антенн, размещенных на открытых местах. Поэтому, как правило, процент времени готовности СПСС меньше, чем для ФСС. Для проектировщиков систем наибольший интерес представляет диапазон процента готовности от 80 до 99%.

* Настоящая Рекомендация должна быть доведена до сведения 4-й Исследовательской комиссии по радиосвязи.

В настоящем Приложении представлены данные и модели, особенно необходимые для прогнозирования ухудшения связи на линиях СПСС, возникающего вследствие влияния тропосферы и ионосферы, многолучевости, перекрытия и затенения. В Приложении используются данные измерений в диапазоне частоты от 870 МГц в УВЧ-диапазоне до 20 ГГц.

2 Тропосферные явления

2.1 Ослабление

Потери при распространении сигнала в тропосфере обусловлены атмосферными газами, дождем, туманом и облаками. Во всех случаях, за исключением трасс с низкими углами места, потери при распространении в тропосфере пренебрежимо малы на частотах ниже 1 ГГц и, как правило, остаются незначительными вплоть до частоты примерно 10 ГГц. Выше 10 ГГц для многих типов трасс уровень ослабления может быть высоким для существенных процентов времени. Существуют методы прогнозирования поглощения в газах (Рекомендация МСЭ-R P.676) и ослабления в дожде (Рекомендация МСЭ-R P.618). Ослабление за счет тумана и облаков обычно пренебрежимо мало на частотах вплоть до 10 ГГц.

2.2 Мерцания

Нерегулярные изменения уровня принимаемого сигнала и угла его прихода происходят как из-за тропосферной турбулентности, так и вследствие атмосферной многолучевости. Масштабы этого явления увеличиваются при увеличении частоты и уменьшении угла места трассы, за исключением флуктуаций угла прихода, вызванных турбулентностью и не зависящих от частоты. Угол раствора антенны также влияет на величину таких мерцаний. Наблюдения показали, что эти явления максимально проявляются летом. Соответствующий метод прогнозирования представлен в Рекомендации МСЭ-R P.618.

3 Ионосферные явления

Влиянию ионосферы на трассы Земля–космос посвящена Рекомендация МСЭ-R P.531. Величины ионосферных воздействий для частот в диапазоне от 0,1 до 10 ГГц приведены в таблицах 1 и 2 Рекомендации МСЭ-R P.680.

4 Затенение

4.1 Модель затенения придорожными деревьями

Для разработки расширенной эмпирической модели затенения придорожными деревьями использовались данные измерений кумулятивного распределения замираний на частотах 870 МГц, 1,6 ГГц и 20 ГГц. Плотность расположения деревьев вдоль дороги представлена процентом оптического затенения, вызванного этими деревьями, при угле места трассы 45° в направлении излучения сигнала. Данная модель справедлива, когда этот процент находится в пределах 55–75%.

4.1.1 Расчет замираний, вызванных затенением придорожными деревьями

Следующая процедура позволяет получить оценки глубины замирания, вызванного затенением придорожными деревьями, на частотах между 800 МГц и 20 ГГц для трасс с углами места от 7° до 60° и длине пройденного расстояния от 1 до 80%. Эмпирическая модель соответствует усредненным условиям распространения, когда транспортное средство движется по боковой части автомагистрали (случаи, когда дорога с односторонним движением проходит вблизи или вдалеке от придорожных деревьев, также включены). Прогнозируемые распределения замираний применимы к автомагистралям и сельским дорогам, когда общее направление трассы распространения для большей ее части перпендикулярно линии, вдоль которой растут деревья и расположены придорожные столбы. Предполагается, что основная причина ослабления сигнала СПСС – это затенение лиственным покровом (см. Рекомендацию МСЭ-R P.833).

Необходимы следующие параметры:

f : частота (ГГц);

θ : угол места трассы по отношению к спутнику (град.);

p : процент пройденного расстояния, на котором превышает названный уровень замираний.

Шаг 1. Рассчитать распределение замираний на частоте 1,5 ГГц, которое справедливо для процента пройденного расстояния в диапазоне $20\% \geq p \geq 1\%$, при требуемом угле места трассы $60^\circ \geq \theta \geq 20^\circ$:

$$A_L(p, \theta) = -M(\theta) \ln(p) + N(\theta), \quad (1)$$

где:

$$M(\theta) = 3,44 + 0,0975 \theta - 0,002 \theta^2; \quad (2)$$

$$N(\theta) = -0,443 \theta + 34,76. \quad (3)$$

Шаг 2. Преобразовать распределение замираний, полученное для частоты 1,5 ГГц и справедливое при $20\% \geq p \geq 1\%$, в соответствующее распределение на желаемой частоте f (ГГц) в диапазоне $0,8 \text{ ГГц} \leq f \leq 20 \text{ ГГц}$:

$$A_{20}(p, \theta, f) = A_L(p, \theta) \exp \left\{ 1,5 \left[\frac{1}{\sqrt{f_{1,5}}} - \frac{1}{\sqrt{f}} \right] \right\}. \quad (4)$$

Шаг 3. Рассчитать распределение замираний для процентов пройденных расстояний $80\% \geq p > 20\%$ в диапазоне частот $0,85 \text{ ГГц} \leq f \leq 20 \text{ ГГц}$:

$$A(p, \theta, f) = A_{20}(20\%, \theta, f) \frac{1}{\ln 4} \ln \left(\frac{80}{p} \right) \quad \text{для } 80\% \geq p > 20\%;$$

$$= A_{20}(p, \theta, f) \quad \text{для } 20\% \geq p > 1\%. \quad (5)$$

Шаг 4. Для углов места трассы в диапазоне $20^\circ > \theta \geq 7^\circ$ распределение замираний принимается таким же, как при $\theta = 20^\circ$.

На рисунке 1 показаны величины превышенных замираний на частоте 1,5 ГГц в зависимости от угла места от 10° до 60° для ряда одинаковых значений от 1 до 50%.

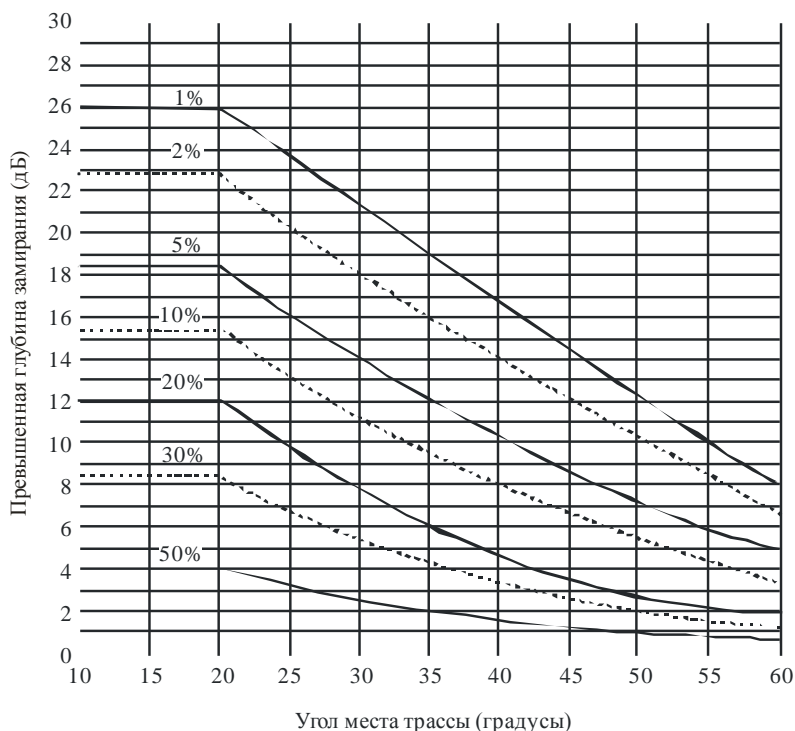
4.1.1.1 Применение метода для углов места более 60°

Модель затенения придорожными деревьями на частотах 1,6 ГГц и 2,6 ГГц можно использовать при углах места трассы выше 60° , применив следующую процедуру:

- использовать уравнения (1) – (5) при угле места более 60° на указанных выше частотах;
- провести линейную интерполяцию между значением, рассчитанным для угла 60° , и значениями замираний для угла места 80° , приведенными в таблице 1;
- провести линейную интерполяцию между значениями из таблицы 1 и нулем при 90° .

РИСУНОК 1

Замирания на частоте 1,5 ГГц, вызванные затенением придорожными деревьями в зависимости от угла места трассы



P0681-01

ТАБЛИЦА 1

Превышенные значения замирания (дБ) при угле места 80°

p (%)	Затенение деревьями	
	1,6 ГГц	2,6 ГГц
1	4,1	9,0
5	2,0	5,2
10	1,5	3,8
15	1,4	3,2
20	1,3	2,8
30	1,2	2,5

4.1.1.2 Применение модели затенения придорожными деревьями для негеостационарных (НГСО) и подвижных спутниковых систем

Описанная выше модель прогнозирования была разработана и применима для такой геометрии СПСС, когда угол места остается постоянным. В случае негеостационарных систем, когда угол места меняется, готовность линии можно рассчитать следующим образом:

- рассчитать процент времени для каждого угла места (или диапазона углов места), под которым виден космический аппарат со стороны терминала;
- для заданного запаса на распространение (ордината на рисунке 1) определить процент неготовности для каждого угла места;
- для каждого угла места перемножить результаты, полученные на шагах а) и б), а произведение разделить на 100, что даст процент неготовности системы при данном угле места;
- сложить все значения, полученные на шаге с), что даст значение общей неготовности системы.

Если антенна подвижного терминала имеет неизотропную диаграмму направленности, то на шаге b) для каждого угла места из величины запаса на замирание следует вычесть усиление антенны.

В случае спутникового созвездия с многоканальной видимостью, использующего разнесение трасс (то есть переключение на трассу с наименьшим ослаблением сигнала), приближенный расчет можно провести, предположив, что используется космический аппарат с самым высоким углом места.

4.1.2 Модель распределения длительности замираний

Правильность проектирования приемников сухопутных подвижных спутниковых служб зависит от знания соответствующих статистических данных о продолжительности замираний, которую можно выразить в единицах пройденного расстояния (м) или в секундах (с). На основе измерения длительности замираний была получена следующая эмпирическая модель, которая справедлива для протяженности участка, на котором возникли $dd \geq 0,02$ м:

$$P(FD > dd | A > A_q) = \frac{1}{2} \left(1 - \operatorname{erf} \left[\frac{\ln(dd) - \ln(\alpha)}{\sqrt{2} \sigma} \right] \right), \quad (6)$$

где $P(FD > dd | A > A_q)$ – это вероятность того, что протяженность участка, на котором возникли замирания FD , превышает расстояние dd (м) при условии, что затухание A превышает A_q . Обозначение erf – это функция ошибок, σ – стандартное отклонение $\ln(dd)$, а $\ln(\alpha)$ – среднее значение $\ln(dd)$. Левая часть уравнения (6) оценивалась путем расчета процентной доли числа событий, определяемых как "длительность замираний" превысивших dd , от общего числа событий, для которых $A > A_q$ по данным, собранным в Соединенных Штатах Америки и в Австралии. На основе этих данных методом регрессионного анализа были получены следующие оптимальные значения: $\alpha = 0,22$ и $\sigma = 1,215$.

На рисунке 2 представлена зависимость P , выраженного в процентах p от величины dd при пороговом значении 5 дБ.

Модель, представленная уравнением (6), основана на измерениях, проведенных на трассах с углом места 51° , и применима в условиях умеренного и сильного затенения (процент оптического затенения находится между 55 и 90%). Испытания при углах места 30° и 60° показали, что зависимость от угла места довольно проста – чем меньше угол места, тем больше продолжительность замирания для заданного процента. Например, для 30° длительность замирания оказалась примерно вдвое больше, чем для 60° при том же процентном уровне.

4.1.3 Модель распределения длительности незамираний

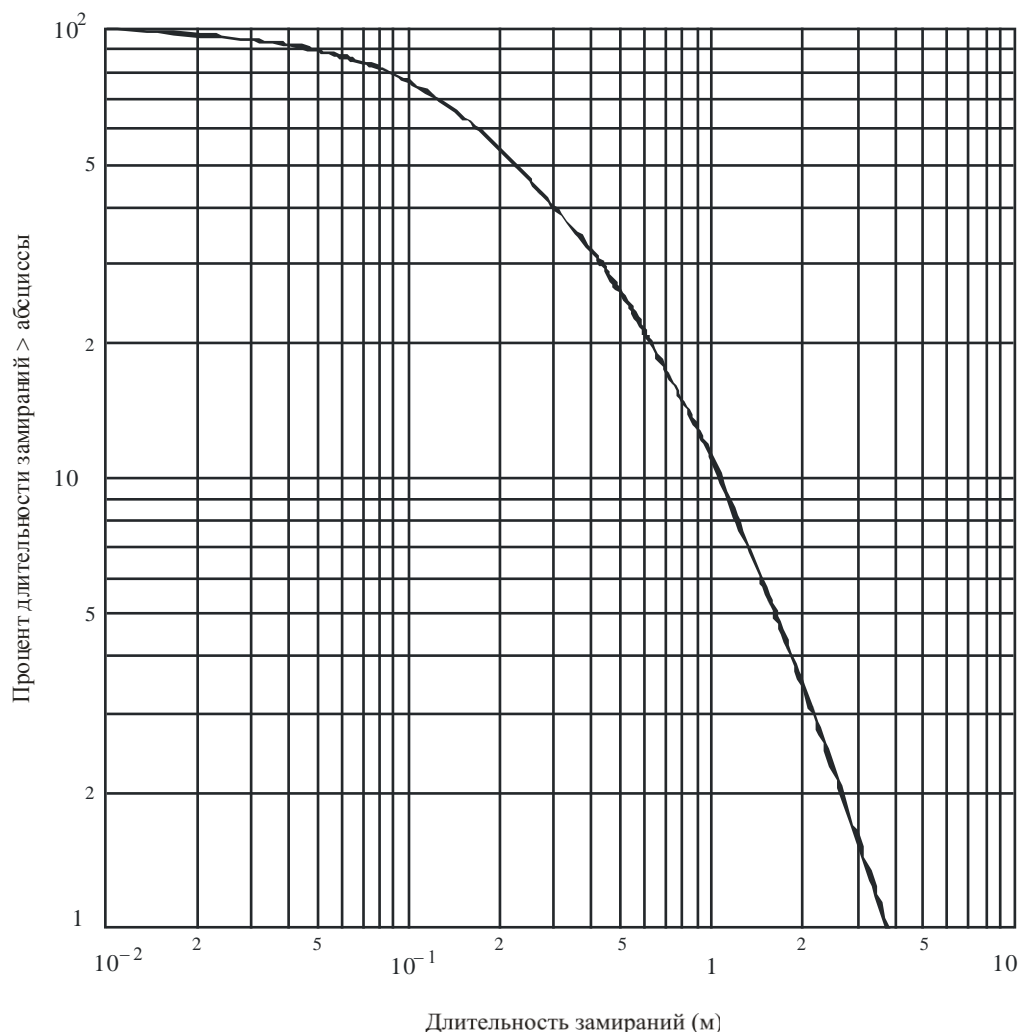
Событие, которое называется "длительность незамираний" на участке длиной dd , определяется как расстояние, на котором уровни замираний остаются ниже заданного порогового значения. Модель длительности незамираний представлена следующим уравнением:

$$p(NFD > dd | A < A_q) = \beta (dd)^{-\gamma} \quad (7)$$

где $p(NFD > dd | A < A_q)$ – процент вероятности того, что непрерывный участок, на котором возникает незамирание NFD превышает расстояние dd при условии, что уровень замирания остается ниже порогового значения A_q . В таблице 2 представлены значения β и γ для дорог, на которых возникает умеренное и сильное затенение, то есть процент оптического затенения меняется в диапазоне 55–75% и 75–90% соответственно. Величина порогового значения замирания A_q равна 5 дБ.

РИСУНОК 2

Наилучшая аппроксимация кумулятивного распределения замираний, обусловленных затенением придорожными деревьями, при пороговом значении в 5 дБ



P.0681-02

ТАБЛИЦА 2

Значения коэффициентов регрессии для длительности незамираний при величине порога замираний 5 дБ и угле места трассы 51°

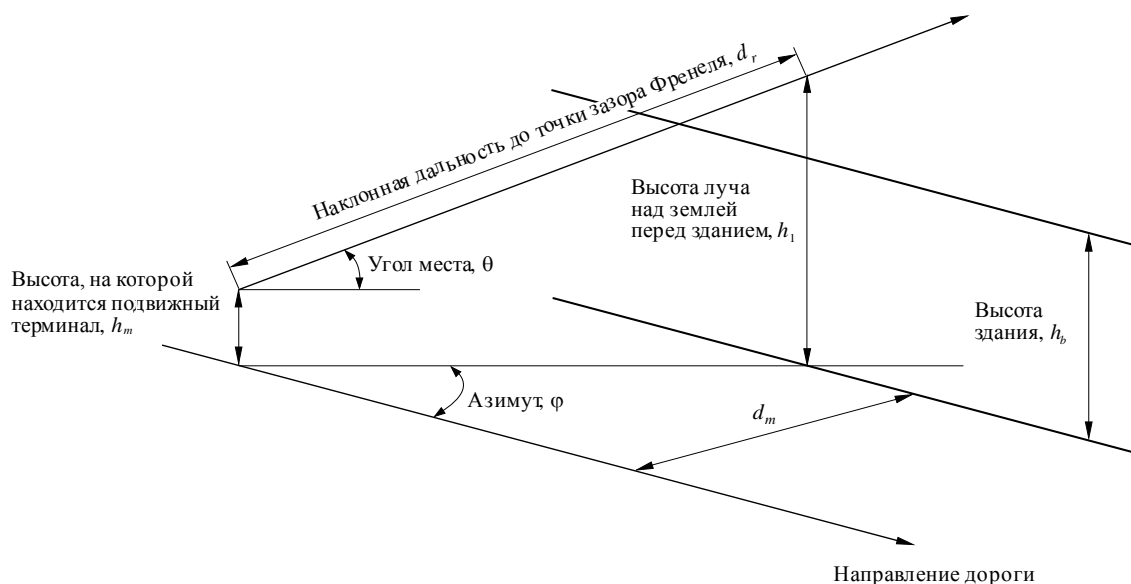
Уровень затенения	β	γ
Умеренный	20,54	0,58
Сильный	11,71	0,8371

4.2 Модель затенения придорожными зданиями

Затенение придорожными зданиями в городской зоне может моделироваться путем применения рэлеевского распределения в отношении высоты зданий. На рисунке 3 показана геометрия модели.

РИСУНОК 3

Геометрия модели затенения придорожными зданиями



P.0681-03

Процент вероятности перекрытия зданиями определяется следующим образом:

$$p = 100 \exp \left[- (h_1 - h_2)^2 / 2h_b^2 \right], \quad \text{для } h_1 > h_2, \quad (8)$$

где:

h_1 : высота луча над землей у фасада здания, определяемая следующим образом:

$$h_1 = h_m + (d_m \tan \theta / \sin \varphi); \quad (8a)$$

h_2 : расстояние зазора Френеля, требуемого над зданиями, определяемое следующим образом:

$$h_2 = C_f (\lambda d_r)^{0,5}; \quad (8b)$$

h_b : наиболее распространенная (наиболее вероятная) высота здания;

h_m : высота подвижного устройства над землей;

θ : угол места луча к спутнику относительно горизонтальной плоскости;

φ : азимутальный угол луча относительно направления улицы;

d_m : дальность подвижного устройства от фасада здания;

d_r : наклонная дальность от подвижного устройства до позиции на луче, находящейся вертикально над фасадом здания, определяемая следующим образом:

$$d_r = d_m / (\sin \varphi \cdot \cos \theta) \quad (8c)$$

C_f : требуемый зазор как часть первой зоны Френеля;

λ : длина волны,

и где h_1 , h_2 , h_b , h_m , d_m , d_r и λ – постоянные единицы и $h_1 > h_2$.

Следует заметить, что уравнения (8a), (8b) и (8c) справедливы для $0^\circ < \theta < 90^\circ$ и для $0^\circ < \varphi < 180^\circ$. Фактические ограничивающие значения применяться не должны.

На рисунке 4 представлены примеры затенения придорожными зданиями, рассчитанные с помощью приведенных выше уравнений для:

$$h_b = 15 \text{ м};$$

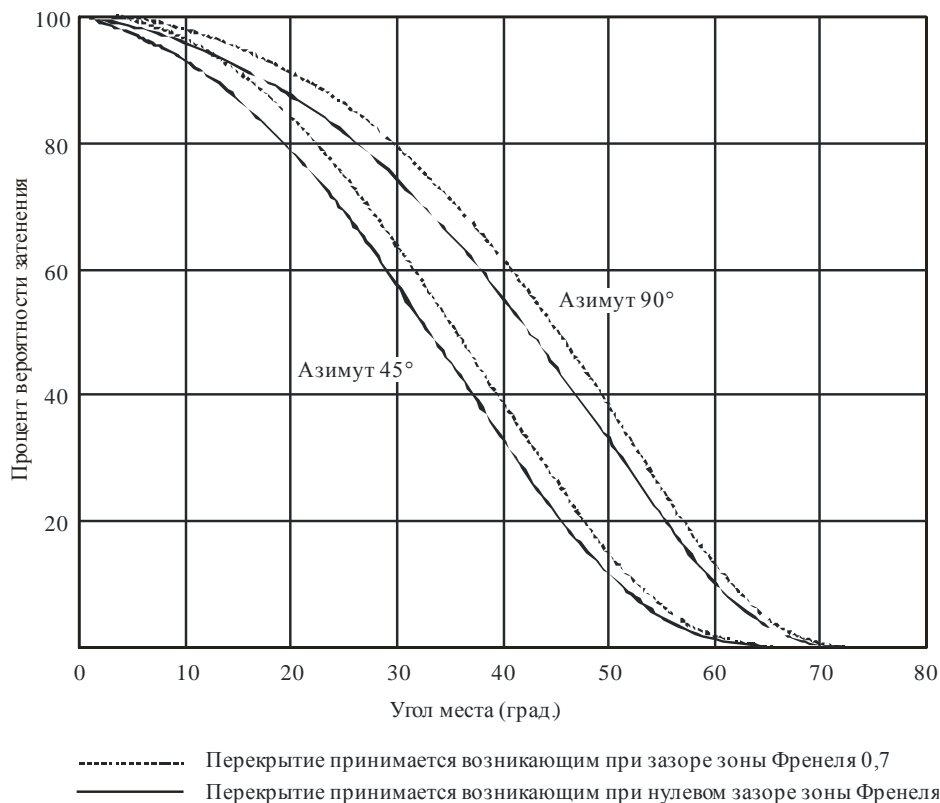
$$h_m = 1,5 \text{ м};$$

$d_m = 17,5$ м;

частота = 1,6 ГГц.

РИСУНОК 4

Примеры затенения придорожными зданиями
(значения параметров указаны в тексте)



P0681-04

На рисунке 4 пунктирные линии означают, что перекрытие считается существующим, если зазор луча составляет менее 0,7 первой зоны Френеля, расположенной вертикально над фасадом здания. Сплошные линии означают, что перекрытие считается существующим, только в случае отсутствия прямой видимости.

Несмотря на то что модель показывает отсутствие перекрытия при самых высоких углах места трассы, пользователям следует знать, что возможны эпизодические затенения и перекрытия, вызываемые эстакадами, выступающими флагами, отводами и т. д.

4.3 Аспекты, связанные с портативными терминалами (перекрытие, создаваемое пользователем)

При использовании портативных терминалов связи голова или тело оператора, находясь в поле антенны, вызывают изменение диаграммы направленности антенны. Для случая спутниковых систем, не находящихся на околоземной орбите (не-ОЗО), (ГСО, высокая околоземная орбита (ВОО), ИСО), предполагается, что позиция пользователя портативного терминала должна быть такова, чтобы ни его голова (или тело), ни окружающая среда не вызвали перекрытия. Для систем, использующих ОЗО, такое допущение сделать нельзя. Влияние головы (или тела) пользователя можно оценить, используя при расчете процента готовности линии метод, описанный в пункте 4.1.1.2, модифицированную диаграмму направленности антенны (которую необходимо измерить). Допуская, что азимутальные углы, под которыми виден спутник, распределены равномерно, можно использовать усредненную по азимуту угломестную диаграмму направленности. Незначительные движения головой или рукой, ведущие к изменению кажущегося угла места, также можно усреднить.

В Японии был проведен полевой эксперимент для исследования этого явления. На рисунке 5а) показана геометрия расположения головы человека и антенны в этом эксперименте. Угол места спутника составляет 32° , а частота сигнала, передаваемого спутником, 1,5 ГГц. Усиление антенны – 1 дБи, длина – 10 см. На рисунке 5б) показаны отклонения относительного уровня сигнала в зависимости от угла азимута φ , представленного на рисунке 5а). Из рисунка 5б) видно, что максимальное уменьшение уровня сигнала из-за перекрытия, вызываемого пользователем, составляет примерно 6 дБ, когда устройство находится в области, затененной головой человека.

Результаты, представленные на рисунке 5б), следует считать лишь иллюстрацией, поскольку данные соответствуют только одному значению угла места и диаграммы направленности антенны и совершенно не учитываются потенциально возможные эффекты зеркального отражения, которые могут играть весьма существенную роль в отношении окружающей среды портативного терминала при низкой направленности антенны.

Данные по распространению, относящиеся к потерям сигнала на входе при приеме внутри зданий и транспортных средств, в частности для случая портативных терминалов, содержатся в Рекомендации МСЭ-R P.679.

4.4 Моделирование влияния перекрытия зданиями с использованием функций экранирования улицы (МКФ)

Влияние перекрытия зданиями может быть оценено количественно с помощью функций экранирования улицы (МКФ), указывающей азимут и угол места, при которых линия связи может или не может быть полностью развернута. Функции такого типа получают, как правило, путем фотограмметрических исследований или отслеживания траектории луча. Концепция МКФ может применяться для упрощенных сценариев в целях создания ограниченного числа функций МКФ и, следовательно, для обеспечения возможности проведения быстрой примерной оценки общей готовности при разных конфигурациях с несколькими спутниками.

Данная городская зона может быть описана, в первом приближении, с помощью среднего угла экранирования (МКА) (градусы).

МКА определяется как угол места спутника для скользящего угла относительно верхних поверхностей зданий, когда линия связи перпендикулярна улице, что на языке математики означает

$$MKA = \arctan\left(\frac{h}{w/2}\right) \quad \text{градусы,} \quad (9)$$

где

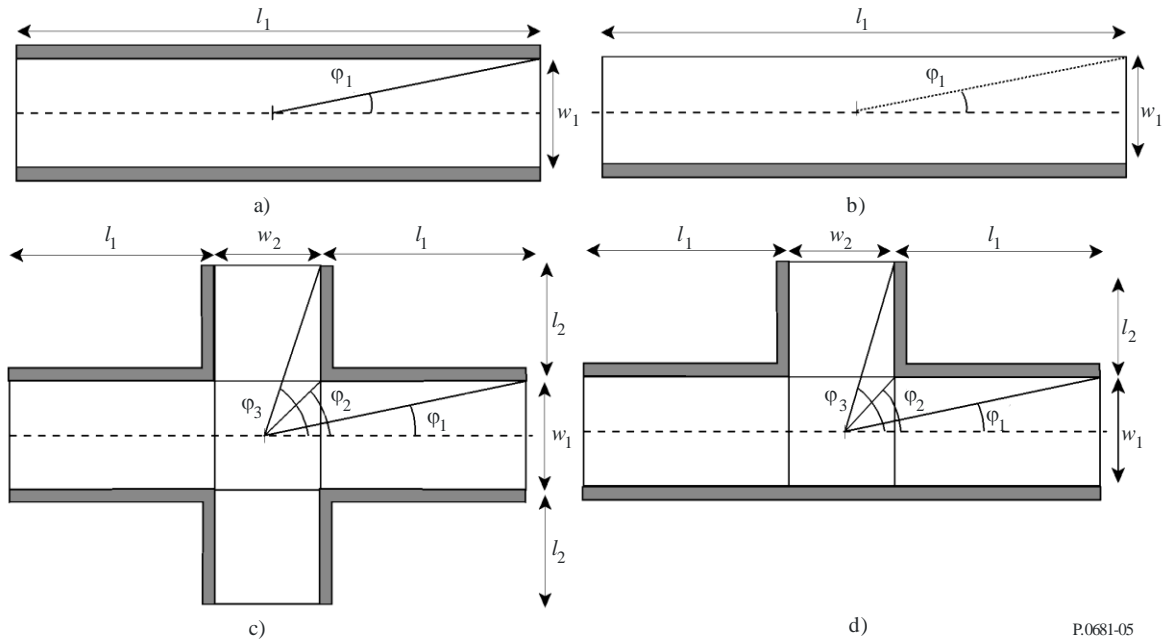
h : средняя высота здания;

w : средняя ширина улицы.

Кроме того, может быть принят городской сценарий с заданным МКА для создания набора из небольшого числа типовых конфигураций (базовые/образующие сценарии), а именно: уличные каньоны (scy), уличные перекрестки (scr), Т-образные перекрестки (Т-j) и отдельно стоящие стены (sw), каждая из них характеризуется данной вероятностью появления (см. рисунок 5). Подобным же образом может быть определен вектор смешанной трассы \vec{M} , указывающий для данной застроенной зоны вероятность появления каждого из образующих сценариев \vec{M} (w_{scy} , w_{scr} , w_{T-j} , w_{sw}) при $\sum w_i = 1$. Входные параметры для этой модели, то есть МКА, могут быть получены путем обследования условий или по городским картам.

РИСУНОК 5

Базовые/образующие сценарии, описывающие заданную городскую зону



P.0681-05

Если получена вероятность готовности для этих четырех образующих сценариев, общая готовность может быть приблизительно оценена как взвешенная сумма значений готовности каждого сценария:

$$a_T = w_{scy} a_{scy} + w_{scr} a_{scr} + w_{T-j} a_{T-j} + w_{sw} a_{sw} \quad (10)$$

Функции МКФ для этих четырех базовых сценариев были построены простым геометрическим способом при том допущении, что пользователь находится в центре плана (см. рисунок 5). На рисунке 6 представлены функции МКФ четырех образующих сценариев для простой модели распространения включено-выключено или при наличии прямой видимости – в отсутствие прямой видимости (аналогично пункту 4.2 для случая нулевого зазора зоны Френеля), где по ординате указаны угол места, по абсциссе – азимут или, вернее, ориентирование улицы ξ по отношению к линии связи. На верхней части диаграммы указаны положительные значения азимута, на нижней части – соответствующие отрицательные значения азимута. МКФ определяет районы на небесной полусфере, в которых может быть (незатененные области) или не может быть (затененные области) развернута линия связи. Границы "запрещенных" зон в МКФ отмечены сегментами и точками. Наиболее типичные показаны на рисунке 6 и определяются следующими уравнениями:

$$S_A: \theta = \tan^{-1} \left(h / \sqrt{\left(\frac{w}{2} \right)^2 \left(\frac{1}{\tan^2 \varphi} + 1 \right)} \right); \quad (11a)$$

$$P_A: \left(\varphi_A = 90^\circ; \theta_A = \tan^{-1} \left(\frac{h}{w/2} \right) \right); \quad (11b)$$

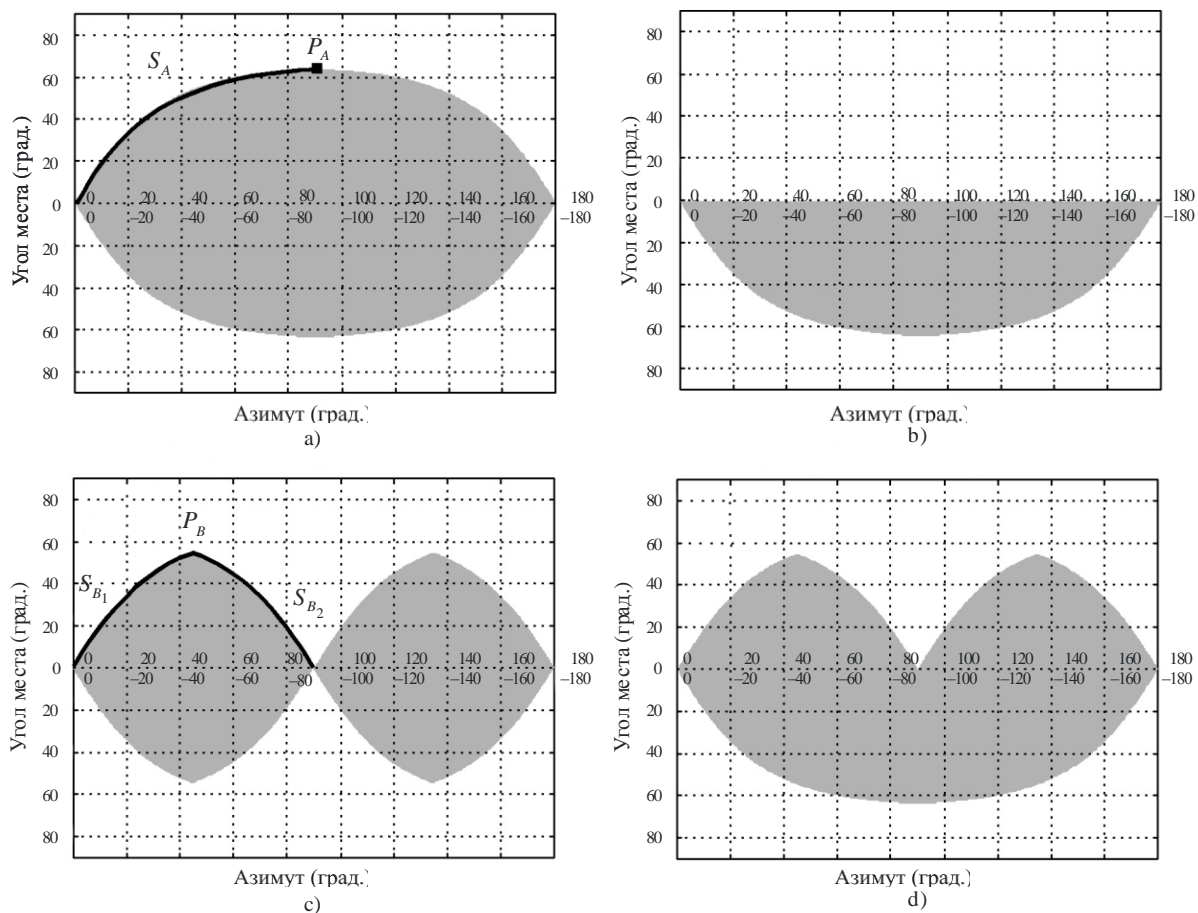
$$S_{B_1}: \theta = \tan^{-1} \left(h / \sqrt{\left(\frac{w_1}{2} \right)^2 \left(\frac{1}{\tan^2 \varphi} + 1 \right)} \right); \quad (11c)$$

$$S_{B_2}: \theta = \tan^{-1} \left(h / \sqrt{\left(\frac{w_1}{2} \right)^2 \left(\frac{1}{\tan^2(90^\circ - \varphi)} + 1 \right)} \right); \quad (11d)$$

$$P_B: \left(\varphi_B = \tan^{-1} \left(\frac{w_1}{w_2} \right); \theta_2 = \tan^{-1} \left(h / \sqrt{\left(\frac{w_1}{2} \right)^2 \left(\frac{1}{\tan^2 \varphi_B} + 1 \right)} \right) \right). \quad (11e)$$

РИСУНОК 6

Функции МКФ для: а) уличного каньона; б) отдельно стоящей стены; в) уличного перекрестка; и д) Т-образного перекрестка



$$h = 20$$

$$w_1 = 20$$

$$w_2 = 20$$

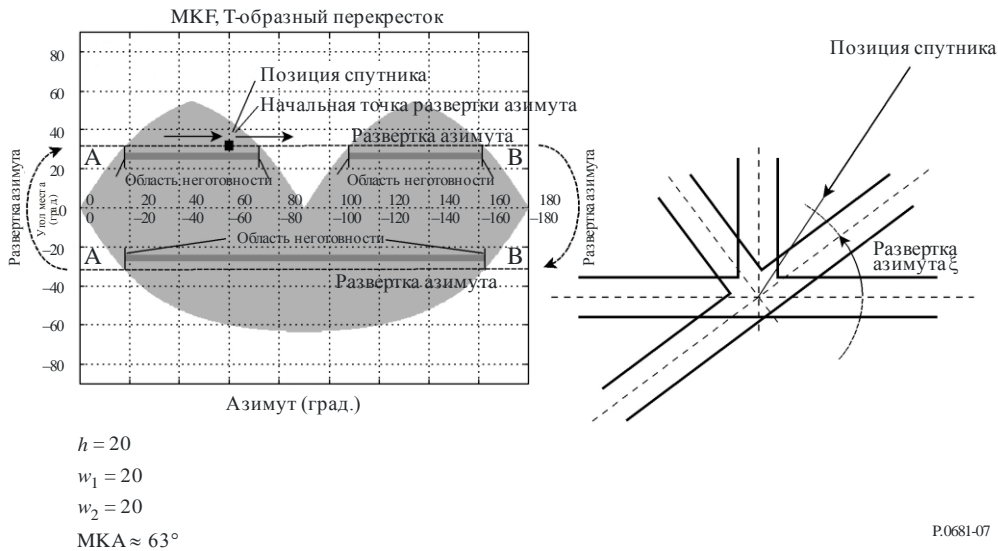
$$\text{МКА} \approx 63^\circ$$

P.0681-06

Готовность для конкретного базового сценария и данного геостационарного (ГСО) спутника может быть рассчитана путем рассмотрения всех возможных вариантов ориентирования улицы ξ относительно линии связи пользователь-спутник. На рисунке 7 показано положение ГСО-спутника относительно Т-образного перекрестка. Для случая, показанного на данном рисунке, все возможные варианты ориентирования могут быть описаны путем прохода по всем точкам на линии А–В, соответствующим постоянному углу места и всем возможным вариантам ориентирования улицы. Готовность – это часть прямой линии А–В в незатененной части МКФ. Аналогично на МКФ может быть отображена траектория орбиты негеостационарного (НГСО) спутника. Общая готовность может быть рассчитана в этом случае путем рассмотрения всех возможных вариантов ориентирования улицы относительно всех возможных направлений линии связи пользователь-спутник.

РИСУНОК 7

Расчет готовности для Т-образного перекрестка и ГСО-спутника



5 Модели многолучевости для линий прямой видимости без затенения

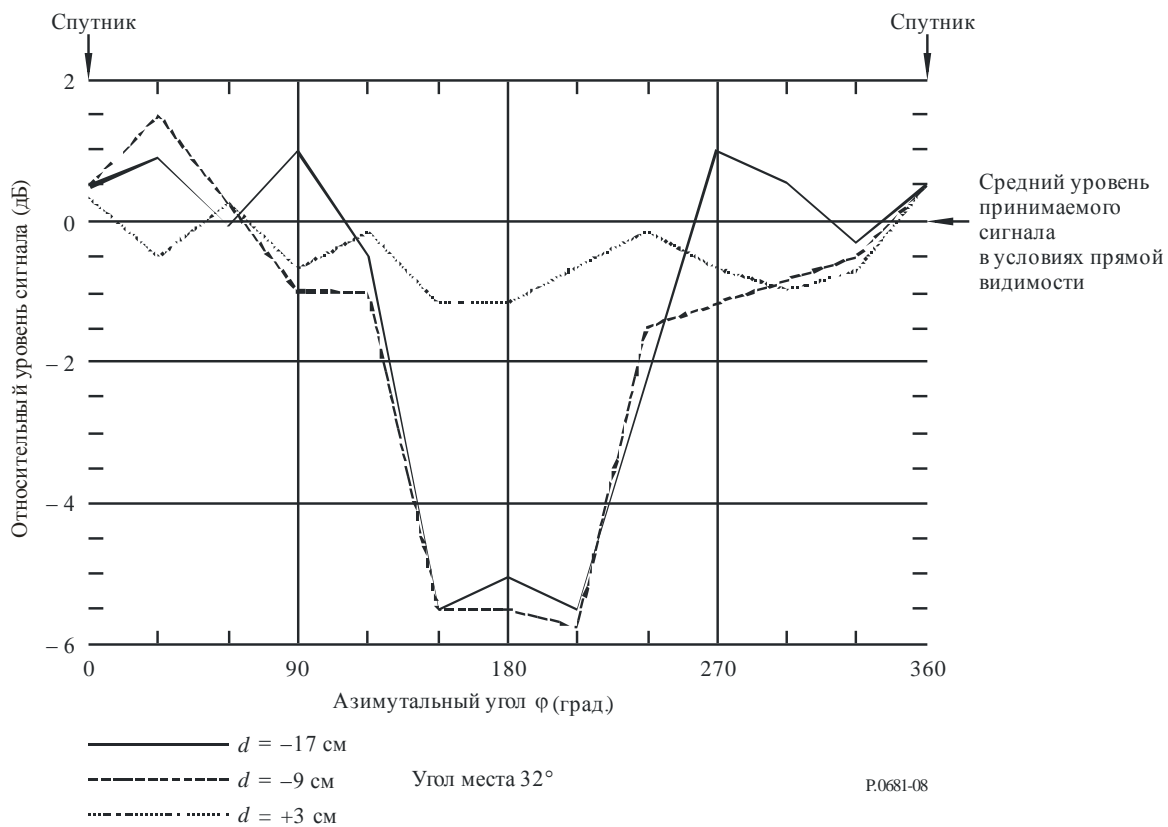
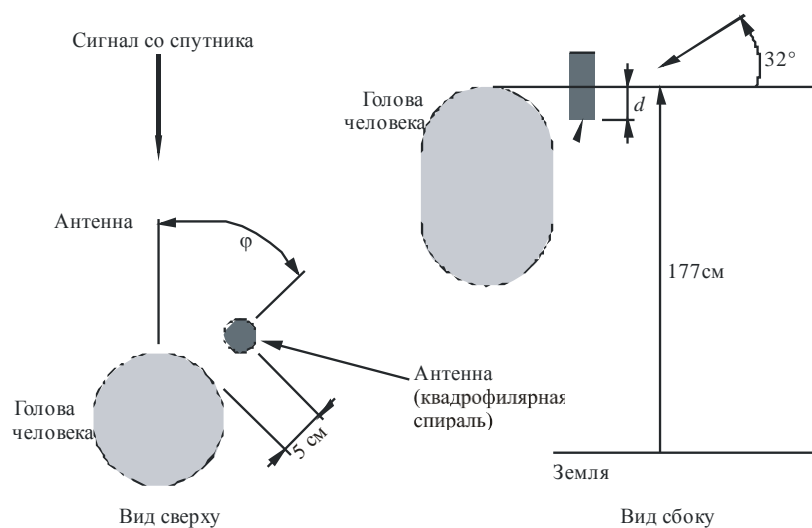
Во многих случаях подвижный терминал связан с подвижным спутником линией прямой видимости (с пренебрежимо малыми затенениями). Однако и в этих условиях из-за многолучевости, возникающей вследствие отражения сигнала от поверхности Земли, может возникать искажение сигнала. Сигнал, принимаемый подвижным терминалом, представляет собой сумму фазовых прямого сигнала, передаваемого по линии прямой видимости, и нескольких многолучевых сигналов. Эти многолучевые сигналы могут оказывать конструктивное или деструктивное влияние, приводя к усилению или ослаблению сигнала. Характеристики многолучевого сигнала зависят от поперечного сечения рассеяния многолучевого отражателя, количества лучей, расстояний до приемной антенны, поляризации поля и коэффициента направленного действия приемной антенны.

Модели, описывающие искажение сигнала вследствие многолучевости, представлены в следующих параграфах и основаны на результатах измерений с помощью антенны, имеющей следующие характеристики:

- ненаправленная по азимуту;
- усиление меняется менее чем на 3 дБ при изменении углов места от 15° до 75° ;
- ниже горизонта (отрицательный угол места) усиление антенны уменьшалось по крайней мере на 10 дБ.

РИСУНОК 8

а) Геометрия расположения головы человека и антенны;
 б) Замирания на частоте 1,5 ГГц, вызванные затенением придорожными объектами в зависимости от угла места трассы



5.1 Многолучевость в горных условиях

Распределение глубины замираний, вызванных многолучевостью, в горных условиях описывается следующим выражением:

$$p = a A^{-b} \quad (12)$$

для:

$$1\% < p < 10\%,$$

где:

p : отрезок трассы, выраженный в процентах, на котором превышает данную глубину замирания;

A : превышенная глубина замирания (дБ).

Параметры a и b для аппроксимации соответствующих кривых представлены в таблице 3 для частот 1,5 ГГц и 870 МГц. Заметим, что эта модель справедлива лишь в тех случаях, когда затенением можно пренебречь.

ТАБЛИЦА 3

Параметры наилучшей аппроксимации кривых кумулятивного распределения замираний, вызванных многолучевостью, в горных условиях

Частота (ГГц)	Угол места 30°			Угол места 45°		
	a	b	Диапазон (дБ)	a	b	Диапазон (дБ)
0,87	34,52	1,855	2–7	31,64	2,464	2–4
1,5	33,19	1,710	2–8	39,95	2,321	2–5

На рисунке 9 представлены кривые кумулятивных распределений замираний для углов места трасс 30° и 45° на частотах 1,5 ГГц и 870 МГц.

5.2 Многолучевость в условиях воздействия придорожных деревьев

Эксперименты, проведенные в Соединенных Штатах Америки вдоль дорог с растущими по обочинам деревьями показали, что многолучевое замирание мало зависит от угла места трассы в диапазоне 30°–60°. На основе результатов измерений была разработана следующая модель:

$$p = u \exp(-vA) \quad (13)$$

для:

$$1\% < p < 50\%,$$

где:

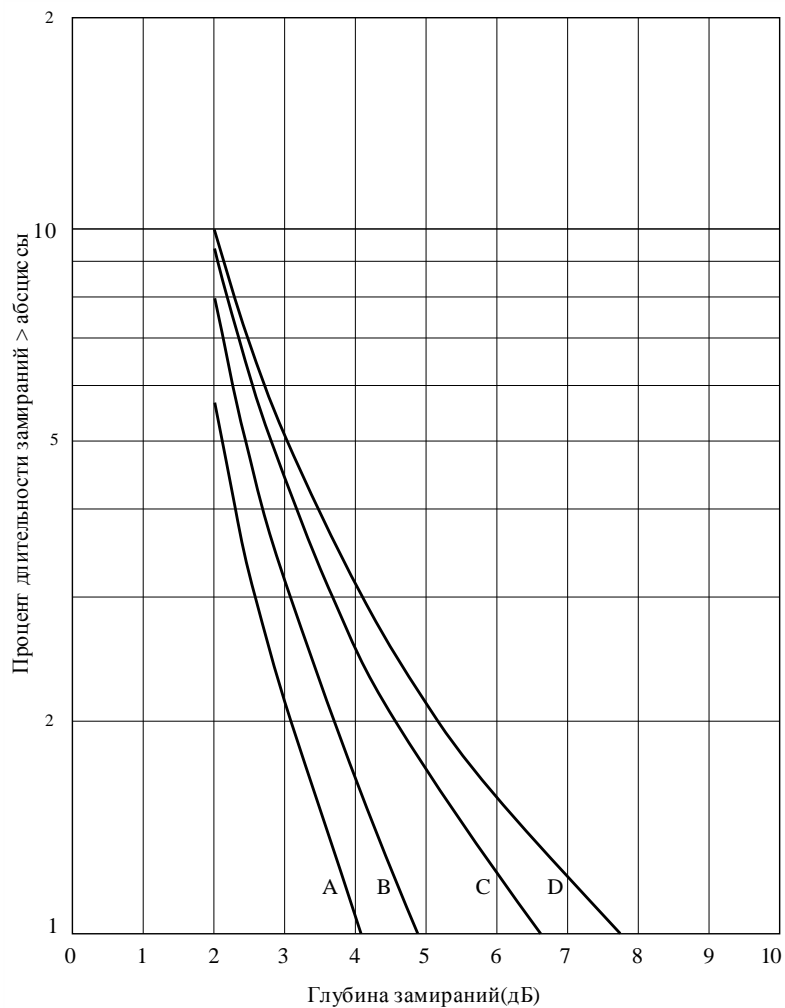
p : отрезок трассы, выраженный в процентах, на котором превышает данную глубину замирания;

A : превышенная глубина замирания (дБ).

Заметим, что в представленной выше модели предполагается, что затенение пренебрежимо мало. Параметры u и v для аппроксимации соответствующих кривых представлены в таблице 4.

РИСУНОК 9

Наилучшая аппроксимация кривых кумулятивного распределения замираний, вызванных многолучевостью, в горных условиях



P.0681-09

ТАБЛИЦА 4

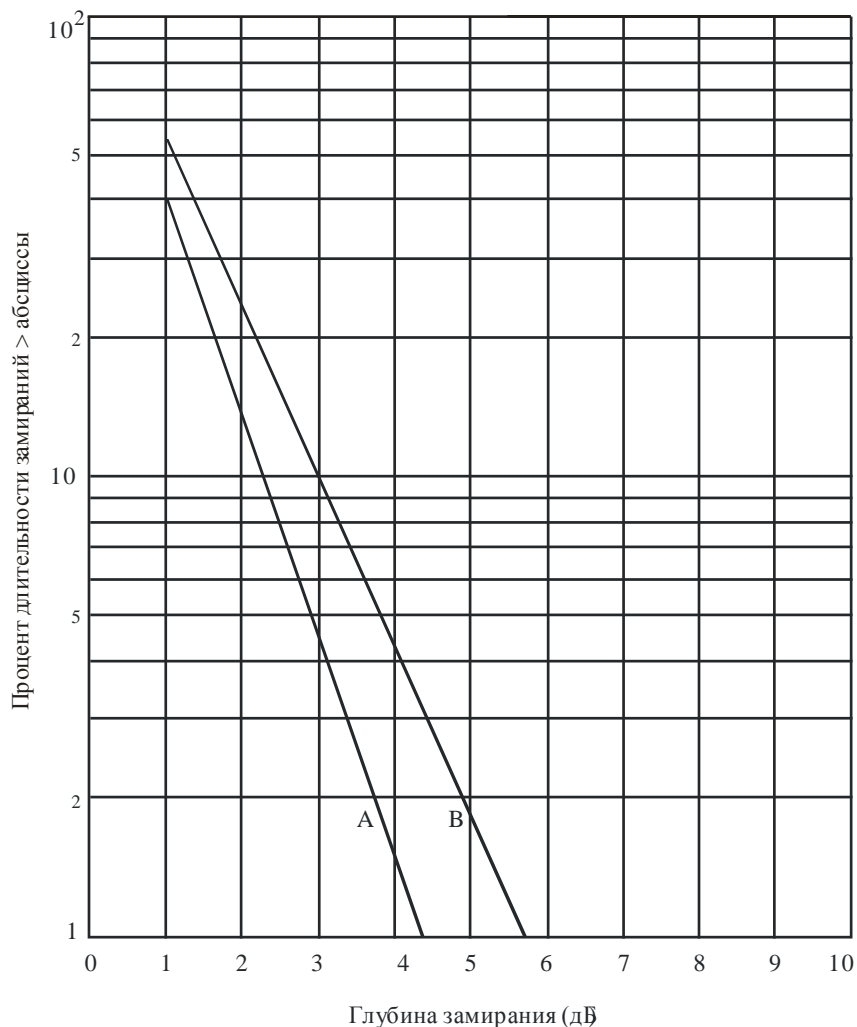
Параметры наилучшей экспоненциальной аппроксимации кривых кумулятивного распределения замираний, вызванных многолучевостью, на дорогах с растущими по обочинам деревьями

Частота (ГГц)	u	v	Диапазон замираний (дБ)
0,870	125,6	1,116	1–4,5
1,5	127,7	0,8573	1–6

На рисунке 10 представлены кривые кумулятивных распределений замираний на частотах 1,5 ГГц и 870 МГц. Замирание, усиленное из-за многолучевости, может возникнуть при более низких углах места (5° – 30°), когда лучи, рассеянные сравнительно гладкой холмистой земной поверхностью в прямом направлении, могут приниматься с более значительных расстояний.

РИСУНОК 10

Наилучшая аппроксимация кривых кумулятивного распределения замираний, вызванных многолучевостью, на дорогах с растущими по обочинам деревьями



Кривые A : 870 МГц
B : 1,5 ГГц

P.0681-10

6 Статистическая модель для смешанных условий распространения

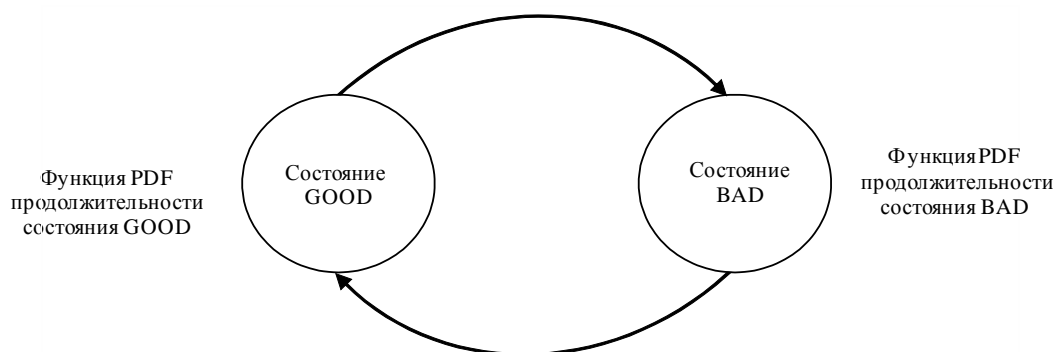
В пунктах 4.1 и 5 представлены модели для особых условий, которыми являются затенение придорожными объектами и прямая видимость без затенения в горных условиях, а также условия затенения придорожными деревьями. В реальных условиях распространения СПСС, таких как сельские, лесистые, городские и пригородные зоны, может возникнуть сочетание разных условий распространения. Кумулятивная функция распределения (CDF) уровней сигнала в подобных смешанных условиях может быть рассчитана на основе следующей усовершенствованной модели с двумя состояниями, которая включает состояние GOOD (*хорошо*), то есть условия, при которых затенение незначительно, и состояние BAD (*плохо*), то есть условия с более сильным затенением (такая модель обозначается далее как "статистическая модель"). На основе аналогичных аналитических допущений могут быть стохастически сгенерированы пространственно-временные

серии комплексных огибающих уровня мощности сигнала (далее такая модель называется "генеративная или обобщенная модель"). В разделах 6.1 и 6.2 представлены поэтапные методы применения статистической и генеративной моделей соответственно. Обе модели действительны для узкополосных СПСС, где частотная характеристика канала одинаково влияет на все частоты в пределах ширины полосы сигнала (не избирательные по частоте каналы).

Долговременные изменения принимаемого сигнала могут быть описаны полумарковской цепью, включающей два дискретных состояния – GOOD и BAD (см. рисунок 11). Считается, что длительность каждого состояния имеет логарифмически-нормальное распределение. В состояниях GOOD и BAD сигнал соответствует распределению Лу. Распределение Лу предполагает, что принимаемый сигнал является суммой двух компонентов – сигнала прямой трассы и многолучевого диффузного сигнала. Считается, что средняя амплитуда сигнала прямой трассы имеет нормальное распределение, а диффузный компонент многолучевого распространения соответствует рэлеевскому распределению. Стандартное отклонение амплитуды сигнала прямой трассы и мощности многолучевого сигнала находятся в линейной зависимости от средней амплитуды сигнала прямой трассы.

РИСУНОК 11

Метод полумарковской цепи с двумя состояниями



P.0681-11

Для стохастического синтеза комплексной огибающей канала следует учитывать фиксированную корреляционную длину амплитуды сигнала прямой трассы, а для диффузного компонента многолучевого распространения следует учитывать фиксированный доплеровский спектр. Необходимо учитывать длину переходного участка между двумя последовательными событиями (обязательно отражающими разные состояния), где происходит линейное увеличение/уменьшение уровня мощности диффузного компонента многолучевого распространения. Эти переходы не должны учитываться в статистическом прогнозе для комплексных огибающих канала.

Основные характеристики модели:

- 1) модель предполагает два состояния – GOOD и BAD, которые могут быть не связаны с условиями прямой видимости или условиями отсутствия прямой видимости;
- 2) длительность каждого состояния характеризуется логарифмически-нормальным распределением:

$$p_{\text{lognormal}}(x) = \frac{1}{\sigma_i x \sqrt{\pi}} \exp \left[-\frac{(\ln x - \mu_i)^2}{2\sigma_i^2} \right], \quad (14)$$

где:

- $i = G$ для состояний GOOD;
- $i = B$ для состояний BAD;
- μ_G и σ_G среднее и стандартное отклонение для состояния GOOD;
- μ_B и σ_B среднее и стандартное отклонение для состояния BAD;

- 3) замирание в каждом состоянии описывается распределением Лу, где тройные параметры Лу не являются постоянными:

$$\text{Fading} \sim \text{Loo}(M_{Ai}, \Sigma_{Ai}, MP_i),$$

где:

$i = G$ для состояний GOOD;

$i = B$ для состояний BAD;

M_{Ai} : средняя амплитуда прямого сигнала;

Σ_{Ai} : стандартное отклонение прямого сигнала;

MP_i : средняя амплитуда компонента многолучевого распространения

при:

$$M_{Ai} = \text{normal}(\mu_{M_A}, \sigma_{M_A});$$

$$\Sigma_{Ai} = g_{1i}M_{Ai} + g_{2i};$$

$$MP_i = h_{1i}M_{Ai} + h_{2i}.$$

Функция плотности вероятности Лу определяется как:

$$p_{Loo}(x) = \frac{x \times 8,686}{\Sigma_{Ai} \sigma_i^2 \sqrt{2\pi}} \int_0^{\infty} \frac{1}{a} \exp \left[-\frac{(20 \log_{10}(a) - M_{Ai})^2}{2 \Sigma_{Ai}^2} - \frac{x^2 - a^2}{2 \sigma_i^2} \right] I_0 \left(\frac{xa}{\sigma_i^2} \right) da \quad (15)$$

где:

a : амплитуда прямого сигнала;

$2\sigma_i^2$: среднее значение мощности принимаемого компонента многолучевого распространения, $MP_i = 10 \log(2\sigma_i^2)$ дБ;

- 4) длина переходного участка $L_{\text{trans}, i}$ между событиями GOOD и BAD зависит от разницы значений $M_{A,i}$, $\Delta M_{A,i} = |M_{A,i \text{ GOOD}} - M_{A,i \text{ BAD}}|$:

$$L_{\text{trans}, i} = f_1 \times \Delta M_{A,i} + f_2. \quad (16)$$

Для того чтобы не учитывать нереалистичные значения M_A для состояний GOOD и BAD, должны рассматриваться ограниченные диапазоны вероятностей:

- 5–95% для состояния GOOD
- $[p_{B,\text{min}}; p_{B,\text{max}}]$ для состояния BAD.

Для того чтобы учитывать реалистичные значения длительности событий для состояний GOOD и BAD, должна быть установлена минимально возможная длительность события:

- dur_{minG} для состояния GOOD
- dur_{minB} для состояния BAD.

Для статистической и генеративной моделей должны использоваться следующие входные параметры.

ТАБЛИЦА 5
Параметры моделей

Параметр	Описание
$(\mu, \sigma)_{G,B}$	Для длительности события (м) допускается среднее и стандартное отклонение логарифмически-нормальной функции
$dur_{\min G,B}$	Минимально возможная длительность событий (м)
$(\mu_{M_{A,G,B}}, \sigma_{M_{A,G,B}})$	Параметры для распределения $M_{A,G,B}$ (M_A является средним значением амплитуды A для прямой трассы на протяжении одного события) (дБ)
$MP = h_{1G,B}M_A + h_{2G,B}$	Многолучевая мощность $MP_{G,B}$ (один полином 1^{-10} порядка для каждого состояния) (дБ)
$\Sigma_{AG,B} = g_{1G,B}M_A + g_{2G,B}$	Стандартное отклонение A , $\Sigma_{A,G,B}$ (один полином 1^{-10} порядка для каждого состояния)
$L_{\text{corr}G,B}^*$	Длина корреляции амплитуды прямой трассы (м)
$f_1\Delta M_A + f_2$	Длина переходного участка L_{trans} (один простейший полином 1^{-10} порядка) (м)
$[p_{B,\min}; p_{B,\max}]$	Диапазон вероятности для учета распределения $M_{A,B}$

Замечание. – G означает состояние GOOD, а B означает состояние BAD.

* Только для генеративного моделирования.

6.1 Прогнозирование статистики замираний для линии связи с одним спутником

Представленная ниже процедура позволяет провести оценку общей статистики замираний на линии распространения СПСС для частот до 30 ГГц при углах места от 20° до 90°. Вместе с тем приведенные здесь предлагаемые значения параметров ограничивают применимый диапазон частот 1,5–20 ГГц. Предполагается, что усиление приемной антенны составит около 5 дБи для частот ниже 5 ГГц и 19 дБи для частот выше 10 ГГц.

Замечание. – Статистический метод прогноза был упрощен относительно метода синтеза временных серий (пункт 6.2) в целях получения приблизительного значения замирания, коэффициента Райса и статистических данных по суммарной мощности. Для большей точности статистические данные должны рассчитываться на основании синтеза временных серий на расстоянии 100 км.

Входные параметры:

- частота (Гц);
- окружающие условия;
- угол места.

Шаг 0. Определяем $(\mu, \sigma)_{G,B}$, $(\mu_{M_A}, \sigma_{M_A})_{G,B}$, $(g_1, g_2)_{G,B}$, $(h_1, h_2)_{G,B}$, $(dur_{\min})_{G,B}$, (f_1, f_2) , $p_{B,\min}$ и $p_{B,\max}$ из таблицы входных параметров, приведенной в Приложении 2. Ближайшие ко входным данным значения угла места и частоты берем из соответствующей таблицы.

Шаг 1. Рассчитываем среднюю продолжительность состояний GOOD и BAD, $\langle dur \rangle_G$ и $\langle dur \rangle_B$ соответственно и среднюю длину переходного участка $\langle dur \rangle_T$:

$$\langle dur \rangle_{G,B} = \exp\left(\mu_{G,B} + \frac{\sigma_{G,B}^2}{2}\right) \frac{1 - \operatorname{erf}\left(\frac{\log dur_{\min,B,G} - (\mu_{G,B} + \sigma_{G,B}^2)}{\sigma_{G,B}}\right)}{1 - \operatorname{erf}\left(\frac{\log dur_{\min,B,G} - \mu_{G,B}}{\sigma_{G,B}}\right)} \quad (17a)$$

$$\langle dur \rangle_T = f_1 \times \left(\mu_{M_{A,G}} - \mu_{M_{A,B}} - \sigma_{M_{A,B}}^2 \times \frac{p_N(M_{A,\min}; \mu_{M_{A,B}}, \sigma_{M_{A,B}}) - p_N(M_{A,\max}; \mu_{M_{A,B}}, \sigma_{M_{A,B}})}{F_N(M_{A,\max}; \mu_{M_{A,B}}, \sigma_{M_{A,B}}) - F_N(M_{A,\min}; \mu_{M_{A,B}}, \sigma_{M_{A,B}})} \right) + f_2 \quad (17b)$$

где:

$p_N(x; \mu, \sigma)$ и $F_N(x; \mu, \sigma)$ соответственно представляют функцию плотности вероятности и кумулятивную функцию нормального распределения со средним μ и стандартным отклонением σ , как определено в Рекомендации МСЭ-R P.1057:

$$M_{A,\min,B} = \mu_{M_{A,B}} + \sqrt{2}\sigma_{M_{A,B}} \operatorname{erf}^{-1}(2p_{B,\min} - 1); \quad (18a)$$

$$M_{A,\max,B} = \mu_{M_{A,B}} + \sqrt{2}\sigma_{M_{A,B}} \operatorname{erf}^{-1}(2p_{B,\max} - 1). \quad (18b)$$

Шаг 2. Рассчитываем вероятность состояний GOOD и BAD p_G и p_B :

$$p_G = \frac{\langle dur \rangle_G + \langle dur \rangle_T}{\langle dur \rangle_G + \langle dur \rangle_B + 2\langle dur \rangle_T}; \quad (19a)$$

$$p_B = \frac{\langle dur \rangle_B + \langle dur \rangle_T}{\langle dur \rangle_G + \langle dur \rangle_B + 2\langle dur \rangle_T}. \quad (19b)$$

Шаг 3. Рассчитываем $P(x \leq x_0 | \text{GOOD})$ и $P(x \leq x_0 | \text{BAD})$ – кумулятивные функции распределения уровня сигнала x при состояниях GOOD и BAD следующим образом:

$$P(x \leq x_0 | state) = \frac{2,7647}{\sigma_{M_A} \left(F_N(M_{A,\max}; \mu_{M_A}, \sigma_{M_A}) - F_N(M_{A,\min}; \mu_{M_A}, \sigma_{M_A}) \right)} \int_{M_{A,\min}}^{M_{A,\max}} \int_0^{x_0} \int_{a_{\min}}^{a_{\max}} \frac{x}{a(g_1 M_A + g_2) 10^{\frac{h_1 M_A + h_2}{10}}} \times \exp \left(-\frac{(M_A - \mu_{M_A})^2}{2\sigma_{M_A}^2} - \frac{(20 \log_{10} a - M_A)^2}{2(g_1 M_A + g_2)^2} - \frac{x^2 + a^2}{10^{\frac{h_1 M_A + h_2}{10}}} \right) I_0 \left(\frac{2ax}{10^{\frac{h_1 M_A + h_2}{10}}} \right) da dx dM_A \quad (20a)$$

где:

Параметр	Состояние GOOD	Состояние BAD
$M_{A,\min}$	$\mu_{M_{A,G}} - 1,645 \times \sigma_{M_{A,G}}$	$M_{A,\min,B}$
$M_{A,\max}$	$\mu_{M_{A,G}} + 1,645 \times \sigma_{M_{A,G}}$	$M_{A,\max,B}$
a_{\min}	$10^{\frac{(1-3g_1)M_A - 3g_2}{20}}$	
a_{\max}	$10^{\frac{(1+3g_1)M_A + 3g_2}{20}}$	

Следует отметить, что σ_{M_A} может быть равным нулю (как, например, в хороших состояниях сельской и пригородной местности при $f = 10 - 20$ ГГц). При таком условии M_A не распределяется случайным образом, что изменяет выражение CDF (без интегрирования, кроме M_a). Далее кумулятивные функции распределения принимают вид (при: $M_A = \mu_{M_A}$ здесь).

$$P(x \leq x_0 | state) = \frac{2 \times 8,686}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{x_0} \int_{a_{\min}}^{a_{\max}} \frac{x}{a(g_1 M_A + g_2) 10^{\frac{h_1 M_A + h_2}{10}}} \times \exp \left(-\frac{(20 \log_{10} a - M_A)^2}{2(g_1 M_A + g_2)^2} - \frac{x^2 + a^2}{10^{\frac{h_1 M_A + h_2}{10}}} \right) I_0 \left(\frac{2ax}{10^{\frac{h_1 M_A + h_2}{10}}} \right) da dx \quad (20b)$$

Шаг 4. Рассчитываем $P(x \leq x_0)$ – кумулятивную функцию распределения уровня сигнала x следующим образом:

$$P(x \leq x_0) = p_G \times P(x \leq x_0 | \text{GOOD}) + p_B \times P(x \leq x_0 | \text{BAD}). \quad (21)$$

Шаг 5. Рассчитываем $P(K \leq K_0 | \text{GOOD})$ и $P(K \leq K_0 | \text{BAD})$ – кумулятивную функцию распределения коэффициента Райса K (дБ) при состояниях GOOD и BAD следующим образом:

Если $\sigma_{M_A} \neq 0$

$$P(K \leq K_0 | state) = \frac{\int_{M_{A,\min}}^{M_{A,\max}} \exp\left(\frac{-(M_A - \mu_{M_A})^2}{2\sigma_{M_A}^2}\right) \left[1 + \operatorname{erf}\left(\frac{K_0 - ((1-h_1)M_A - h_2)}{(g_1 M_A + g_2)\sqrt{2}}}\right)\right] dM_A}{\sigma_{M_A} \left(F_N(M_{A,\max}; \mu_{M_A}, \sigma_{M_A}) - F_N(M_{A,\min}; \mu_{M_A}, \sigma_{M_A})\right) 2\sqrt{2\pi}}. \quad (22a)$$

Если $\sigma_{M_A} = 0$, тогда

$$P(K \leq K_0 | state) = \frac{1 + \operatorname{erf}\left(\frac{K_0 - ((1-h_1)M_A - h_2)}{(g_1 M_A + g_2)\sqrt{2}}}\right)}{2} \quad (22b)$$

Шаг 6. Рассчитываем $P(K \leq K_0)$ – кумулятивную функцию распределения коэффициента Райса K следующим образом:

$$P(K \leq K_0) = p_G \times P(K \leq K_0 | GOOD) + p_B \times P(K \leq K_0 | BAD). \quad (23)$$

Шаг 7. Рассчитываем $P(p_t \leq p_{t,0} | GOOD)$ и $P(p_t \leq p_{t,0} | BAD)$ – кумулятивную функцию распределения суммарной мощности p_t (мощность на прямой трассе и диффузная мощность многолучевого сигнала) при состояниях GOOD и BAD следующим образом.

Для $h_1 \geq 0$:

$$\text{если } \frac{10 \log p_{t,0} - h_2}{h_1} < M_{A,\min}, P(p_t \leq p_{t,0} | state) = 0; \quad (24a)$$

если $\frac{10 \log p_{t,0} - h_2}{h_1} \geq M_{A,\min}$ и $\sigma_{M_A} \neq 0$

$$P(p_t \leq p_{t,0} | state) = \frac{\int_{M_{A,\min}}^{\min\left\{M_{A,\max}, \frac{10 \log p_{t,0} - h_2}{h_1}\right\}} \exp\left(\frac{-(M_A - \mu_{M_A})^2}{2\sigma_{M_A}^2}\right) \left[1 + \operatorname{erf}\left(\frac{10 \log\left(p_{t,0} - 10^{-\frac{h_1 M_A + h_2}{10}}\right) - M_A}{(g_1 M_A + g_2)\sqrt{2}}}\right)\right] dM_A}{\sigma_{M_A} \left(F_N(M_{A,\max}; \mu_{M_A}, \sigma_{M_A}) - F_N(M_{A,\min}; \mu_{M_A}, \sigma_{M_A})\right) 2\sqrt{2\pi}}. \quad (24b)$$

При $h_1 < 0$:

$$\text{если } \frac{10 \log p_{t,0} - h_2}{h_1} > M_{A,\max}, P(p_t \leq p_{t,0} | state) = 0 \quad (24c)$$

если $\frac{10 \log p_{t,0} - h_2}{h_1} \leq M_{A,\max}$ и $\sigma_{M_A} \neq 0$,

$$P(p_t \leq p_{t,0} | state) = \frac{\int_{\max\left\{M_{A,\min}, \frac{10 \log p_{t,0} - h_2}{h_1}\right\}}^{M_{A,\max}} \exp\left(\frac{-(M_A - \mu_{M_A})^2}{2\sigma_{M_A}^2}\right) \left[1 + \operatorname{erf}\left(\frac{10 \log\left(p_{t,0} - 10^{-\frac{h_1 M_A + h_2}{10}}\right) - M_A}{(g_1 M_A + g_2)\sqrt{2}}}\right)\right] dM_A}{\sigma_{M_A} \left(F_N(M_{A,\max}; \mu_{M_A}, \sigma_{M_A}) - F_N(M_{A,\min}; \mu_{M_A}, \sigma_{M_A})\right) 2\sqrt{2\pi}} \quad (24d)$$

Если $\sigma_{M_A} = 0$, тогда

$$P(p_t \leq p_{t,0} | state) = \frac{1 + \operatorname{erf}\left(\frac{10 \log\left(p_{t,0} - 10^{-\frac{h_1 M_A + h_2}{10}}\right) - M_A}{(g_1 M_A + g_2)\sqrt{2}}}\right)}{2} \quad (24e)$$

Шаг 8. Рассчитываем $P(p_t \leq p_{t,0})$ – кумулятивную функцию распределения суммарной мощности p_t следующим образом:

$$P(p_t \leq p_{t,0}) = p_G \times P(p_t \leq p_{t,0} | GOOD) + p_B \times P(p_t \leq p_{t,0} | BAD). \quad (25)$$

На рисунках 12, 13 и 14 показаны примеры расчета функции CDF для параметров городской и пригородной зон (Европа) при углах места 30° и 60° и на частотах в диапазоне 1,5–3 ГГц.

РИСУНОК 12

Примеры расчета глубины замирания в городской и пригородной зонах при углах места 30° и 60° (Европа; 1,5–3 ГГц; коэффициент усиления антенны < 5 дБи)

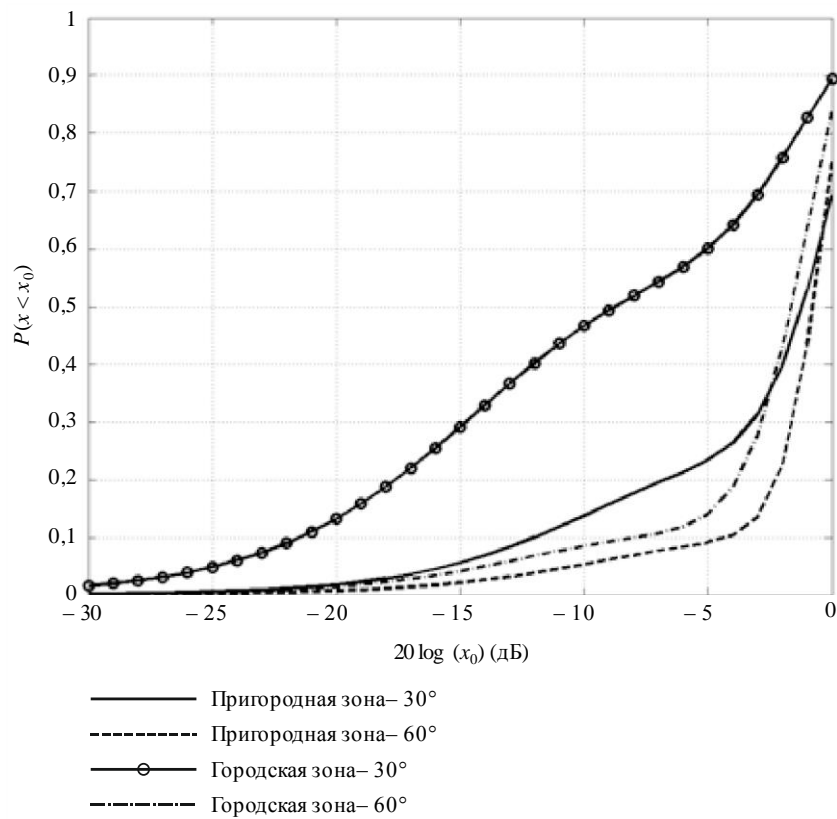
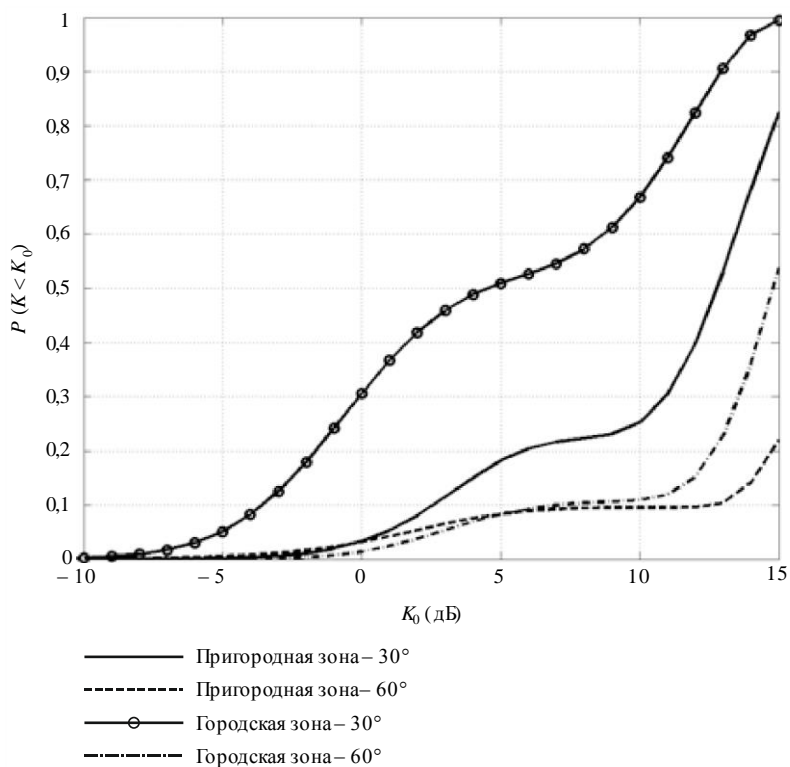


РИСУНОК 13

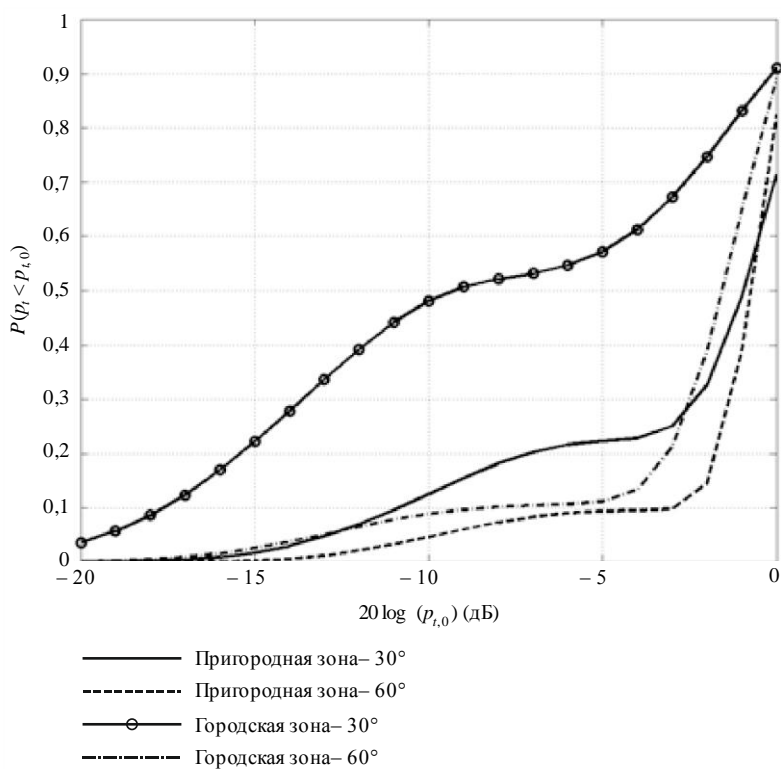
Примеры расчета коэффициента Райса при замираниях в городской и пригородной зонах для углов места 30° и 60° (Европа; 1,5–3 ГГц; коэффициент усиления антенны < 5 дБи)



P.0681-В

РИСУНОК 14

Примеры расчета суммарной мощности замираний в городской и пригородной зонах при углах места 30° и 60° (Европа; 1,5–3 ГГц; коэффициент усиления антенны < 5 дБи)



P.0681-И

6.2 Синтез временных серий комплексной огибающей замирания сигнала

Для расчета эксплуатационных параметров приемников СПСС требуется стохастический синтез реалистичных временных серий комплексной огибающей канала. Для имитации временных изменений канала СПСС для одного спутника ГСО следует использовать усовершенствованную модель из двух состояний на основе полумарковской цепи.

На рисунке 15 приведена блок-схема имитатора для генерации пространственно-временных серий огибающей мощности принимаемого сигнала.

РИСУНОК 15
Блок-схема имитатора



P.0681-5

Пошаговая генерация временных серий комплексной огибающей мощности производится следующим образом.

Входные параметры:

- частота f (Гц);
- угол места θ (градусы);
- ориентация ϕ по азимуту/маршруту (градусы);
- окружающие условия;
- интервал T_s дискретизации (с);
- скорость v_m перемещения мобильного устройства (м/с^{-1}).

Шаг 0. Выбор параметров модели (μ, σ)_{G,B}, (μ_{M_A}, σ_{M_A})_{G,B}, (g_1, g_2)_{G,B}, (h_1, h_2)_{G,B}, (dur_{\min})_{G,B}, ($L_{\text{сop}}$)_{G,B}, f_1, f_2 , $conf_{B,\min}, conf_{B,\max}$ в зависимости от входных данных. Ближайшие ко входным данным значения угла места и частоты берутся из соответствующей таблицы. Пример параметров модели приведен в таблице 5.

Шаг 1. Генерация серий состояний. Серии состояний включают серии событий GOOD и BAD. Длительность каждого события генерируется согласно логарифмически-нормальному распределению. Если полученное значение ниже чем dur_{\min} , необходимо производить новый случайный выбор до тех пор, пока не будет подобрано значение, которое выше значения параметра:

$$\text{State_duration}_G \sim \text{lognormal}(\mu_G, \sigma_G);$$

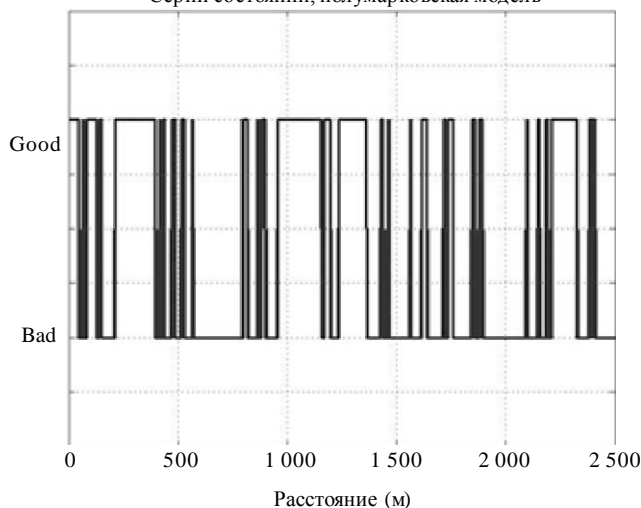
$$\text{State_duration}_B \sim \text{lognormal}(\mu_B, \sigma_B).$$

На рисунке 16 приведен пример серий состояний с различной длительностью событий GOOD и BAD.

РИСУНОК 16

Пример серий состояний

Серии состояний, полумарковская модель



P068116

Шаг 2. Генерация тройных параметров Лу (M_A , Σ_A , MP) для каждого состояния и длины переходного участка (L_{trans}) между состояниями. Если значение M_A выходит за границы диапазона $[\mu_{M_{A,G}} - 1,645\sigma_{M_{A,G}}; \mu_{M_{A,G}} + 1,645\sigma_{M_{A,G}}]$ для состояния GOOD и выходит за границы диапазона $[\mu_{M_{A,B}} + \sqrt{2}\sigma_{M_{A,B}} \operatorname{erf}^{-1}(2p_{B,\min} - 1); \mu_{M_{A,B}} + \sqrt{2}\sigma_{M_{A,B}} \operatorname{erf}^{-1}(2p_{B,\max} - 1)]$ состояния BAD, то должен производиться новый случайный выбор до тех пор, пока не будет подобрано значение, которое попадает в этот диапазон.

ТАБЛИЦА 6

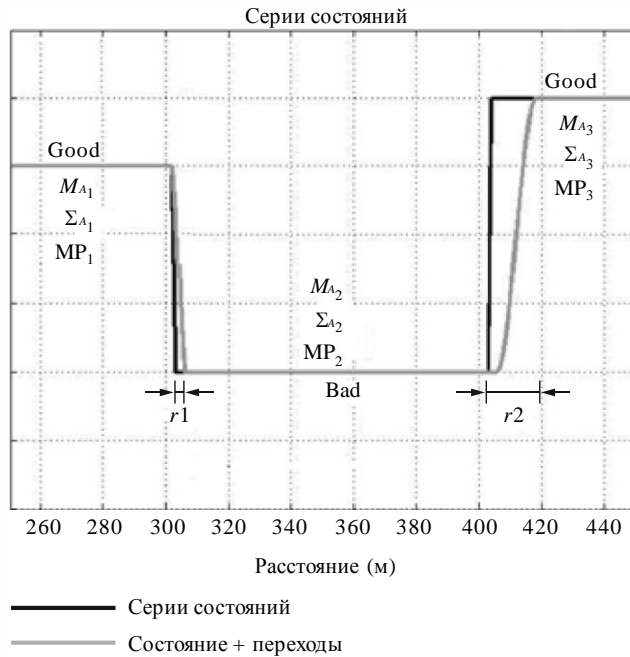
События GOOD	События BAD
$M_{AGi} = \text{Normal}(\mu_{M_{A,G}}, \sigma_{M_{A,G}})$	$M_{ABi} = \text{Normal}(\mu_{M_{A,B}}, \sigma_{M_{A,B}})$
$\Sigma_{AGi} = g_{1G} * M_{AGi} + g_{2G}$	$\Sigma_{ABi} = g_{1B} * M_{ABi} + g_{2B}$
$MP_{Gi} = h_{1G} * M_{AGi} + h_{2G}$	$MP_{Bi} = h_{1B} * M_{ABi} + h_{2B}$

Добавление длины переходного участка L_{trans} между состояниями (см. рисунок 17):

$$L_{trans} = f_1 / M_{Ai} - M_{Ai+1} / + f_2 \text{ (м)}. \quad (26)$$

РИСУНОК 17

Пример тройных параметров Лу для каждого состояния и введение длины переходного участка между состояниями



P068117

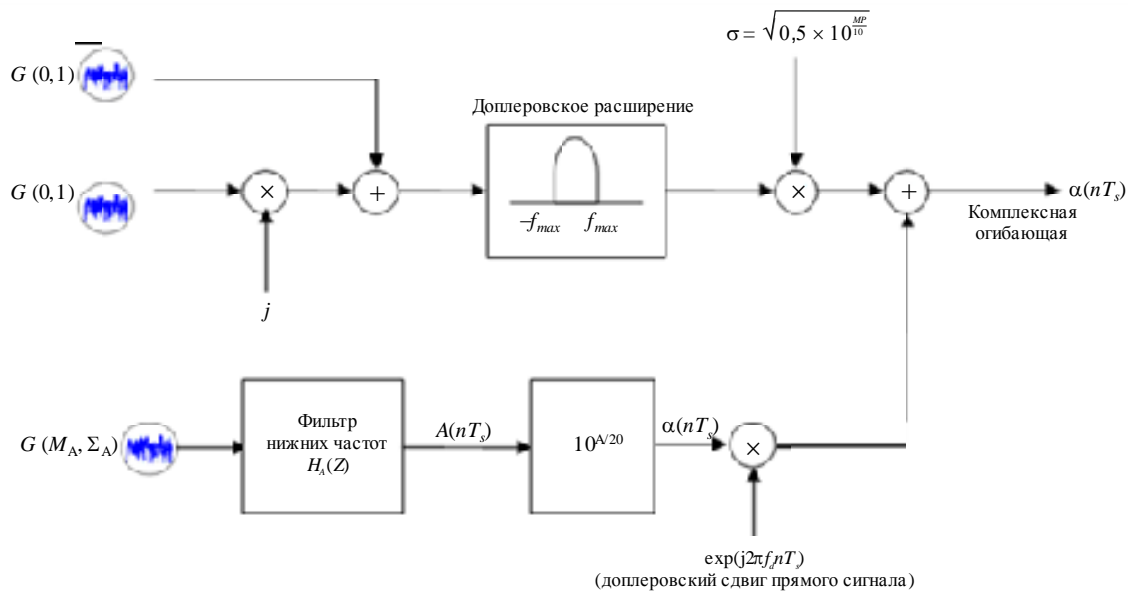
Шаг 3. Генерация суммарных временных серий Лу.

Комплексные изменения сигнала могут быть созданы при помощи генератора временных серий Лу. Реализация генератора представлена на рисунке 18. Параметры схемы должны обновляться для каждого состояния при генерации временных серий.

Параметры Лу, полученные для состояний GOOD и BAD вокруг переходного участка, внутри переходного участка линейно интерполируются (дБ).

РИСУНОК 18

Генератор временных серий Лу



P068118

Верхняя цепь генерирует быстрые изменения многолучевого сигнала, а нижняя – медленные изменения прямого сигнала.

В верхней цепи две гауссовских серии в квадратуре с нулевым средним и единичным стандартным отклонением проходят через доплеровский фильтр для сигналов с единичной энергией. После доплеровского преобразования полученные комплексные серии умножаются на σ , где $2\sigma^2$ – среднеквадратическое значение изменений многолучевого сигнала.

Нижняя цепь выполняет имитацию изменений амплитуды и фазы прямого сигнала. На первом этапе генерируется стандартное гауссово распределение со средним M_A (дБ) и стандартным Σ_A (дБ) отклонением. На втором этапе серии, измеряемые в децибелах, преобразуются в линейные единицы измерений.

На третьем этапе представлены изменения фазы прямого сигнала. Предполагается, что они изменяются линейно, что приводит к появлению постоянной спектральной доплеровской линии в зависимости от относительной скорости спутника подвижной связи, а также угла прихода, азимута и угла места относительно траектории мобильного устройства.

Частота спектральной доплеровской линии определяется следующим образом:

$$f_d = (f \times v_m/c) \cos\varphi \cdot \cos\theta. \quad (27)$$

Быстрые изменения регулируются доплеровским расширением, что связано в основном с перемещением терминала. В зависимости от диаграммы направленности антенны для генерации быстрых изменений необходимо использовать модель Джейкса.

Фильтр Джейкса определяется следующим образом:

$$\begin{cases} S(f) = \frac{K}{\pi f_m \sqrt{1-(f/f_m)^2}} & \text{для } |f| < f_m; \\ S(f) = 0 & \text{для } |f| \geq f_m, \end{cases} \quad (28)$$

где $f_m = v_m \times f/c$, а K – это параметр нормализации, благодаря которому в процессе фильтрации мощность обработки не изменяется.

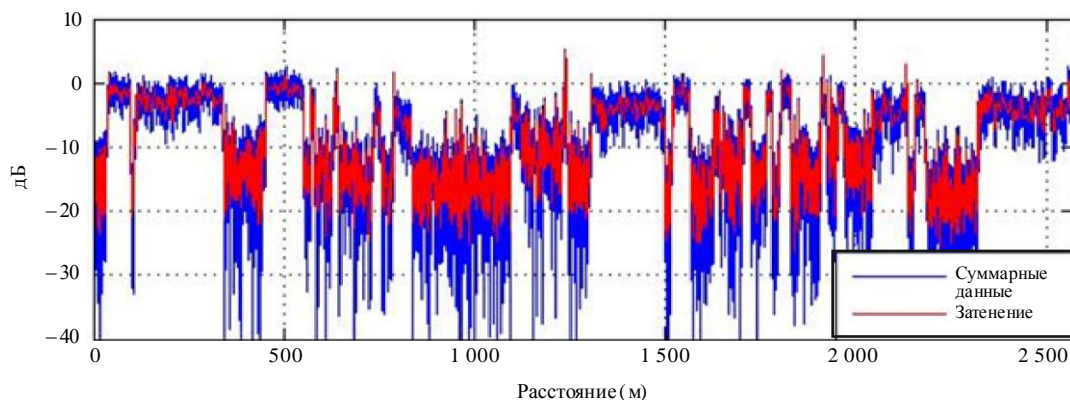
Амплитуда прямого сигнала в меньшей степени подвержена колебаниям, чем амплитуда многолучевого сигнала, вызванного затенением. В этом варианте скорость изменения медленных колебаний определяется длиной корреляции L_{corrG} для состояний GOOD или L_{corrB} для состояний BAD. Для расстояния $v_m T_s$ дискретизации при многолучевости коррелированные временные серии в случае затенений генерируются с использованием следующего цифрового фильтра нижних частот:

$$H_A(Z) = \frac{\sqrt{1-\rho_s^2}}{1-\rho_s Z^{-1}} c \rho_s = \exp\left(\frac{-v_m T_s}{L_{corr}}\right). \quad (29)$$

На рисунке 19 показан пример генерируемых временных серий (преобразованных в пространственные серии).

РИСУНОК 19

Пример генерируемых пространственных серий



P.0681-9

7 Физико-статистическая широкополосная модель для смешанных условий распространения

В пункте 6 приведена статистическая узкополосная модель для СПСС в различных условиях. Для широкополосных СПСС с каналом многолучевого распространения, где канал по-разному воздействует на разные частоты в пределах ширины полосы сигнала (частотно-избирательные каналы), более пригодна генеративная модель, реализующая линейный трансверсальный фильтр, выходным параметром которого является сигнал, представляющий собой сумму задержанного входного сигнала, ослабленного входного сигнала и входного сигнала с доплеровским сдвигом частоты (широкополосная модель). Определения терминов, связанных с многолучевым распространением, содержатся в Рекомендации МСЭ-R P.1407.

Данная модель применима к ситуации, когда спутник, находясь в известной позиции, ведет передачу сигналов на приемник на земле, а угол места ϵ и азимут ϕ могут быть вычислены относительно направления и позиции приемника. Модель применима для частот между 1 и 2 ГГц и справедлива для широкополосных систем с шириной полосы до 100 МГц. Эта модель базируется на детерминированных и стохастических параметрах и может генерировать векторы, включающие временные серии комплексных огибающих прямого и отраженного сигналов, и соответствующие векторы задержки на трассе. Параметры, определяющие стохастический режим модели, выводятся по результатам измерений, полученным для данного сценария. Геометрия модели основана на синтетическом представлении условий.

Модель канала содержит набор следующих частей (определенных для поддержки имитации реалистического режима распространения для большого числа представляющих интерес сценариев и проверенных далее путем эмпирического анализа на основе данных измерений):

- затенение прямого сигнала:
 - модуль фасада здания;
 - модуль дерева;
 - модуль столба освещения;
- модуль отражений.

Структура модели представлена на рисунке 20, включая следующие входные, промежуточные и выходные изменяющиеся во времени сигналы:

- $v_u(t)$: скорость движения пользователя;
- $hd_u(t)$: направление движения пользователя;
- $el_s(t)$: угол места спутника;
- $az_s(t)$: азимут спутника;
- $x_u(t)$: позиция пользователя по оси x (оси y и z считаются постоянными);

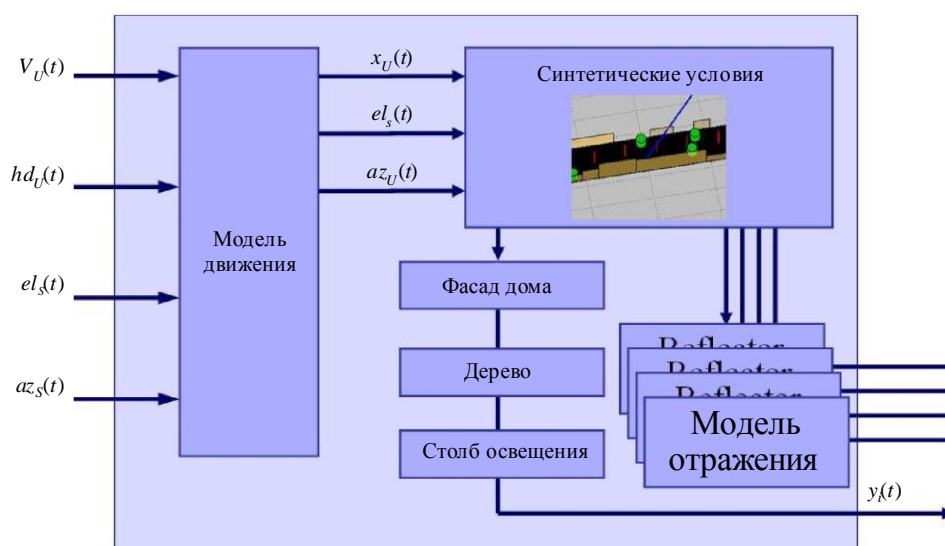
$az_u(t)$: азимут пользователя;

$y_i(t)$: выходные сигналы, где каждое значение i связано с прямым сигналом и отражателем.

Учитываемые в модели механизмы распространения и синтетические условия показаны на рисунке 21.

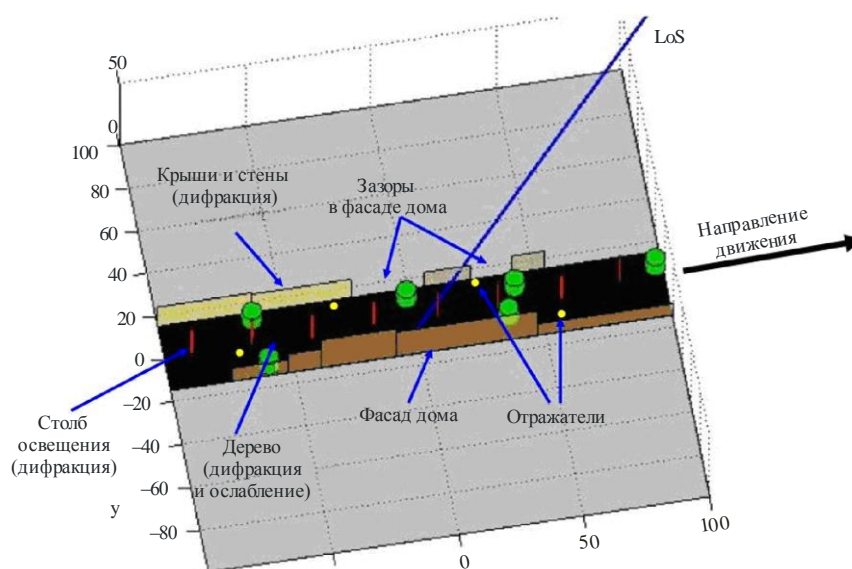
Структура модели действительна для нескольких сценариев: автотранспортное средство в городе, пешеход в городе, автотранспортное средство в пригороде, пешеход в пригороде. Модель построена на основании данных по результатам измерений в условиях городского и пригородного сценариев, проведенных в городе Мюнхен (Германия) и вблизи него. Программное обеспечение для реализации модели доступно на веб-сайте 3-й Исследовательской комиссии по радиосвязи. Полное описание реализации модели и ее использования содержится в размещенном на веб-сайте указанной Исследовательской комиссии МСЭ-R Отчете о физико-статистической модели широкополосной СПСС.

РИСУНОК 20
Структура модели



P.0681-20

РИСУНОК 21
Механизмы распространения и синтетические условия



P.0681-21

7.1 Входные параметры модели

Для каждой входной выборки должен быть задан ряд входных параметров модели:

- угол места спутника;
- азимут спутника;
- скорость движения пользователя;
- направление движения пользователя.

Следует отметить, что максимальная скорость пользователя ограничивается частотой дискретизации импульсной характеристики канала:

$$v < \frac{c_0 f_{\text{samp}}}{2f_c}, \quad (30)$$

где:

- f_{samp} : частота дискретизации;
- f_c : частота несущей;
- c_0 : скорость света.

Рекомендуется использовать корректный коэффициент передискретизации, например 4.

7.2 Выходные параметры модели

Выходными параметрами модели являются вектор N задержек τ_i на трассе и N комплексных значений $A_i(t)$ для каждого момента времени. Эквивалентная импульсная характеристика канала группового сигнала определяется следующим образом:

$$h(t, \tau) = \sum_{i=1}^N A_i(t) \delta(\tau - \tau_i(t)), \quad (31)$$

где t и τ означают оси времени и задержки соответственно. Следует отметить, что задержки на трассе $\tau_i(t)$ являются переменными во времени и могут достигать произвольных значений.

7.3 Использование выходных параметров модели

Пусть $s(t)$ – передаваемый эквивалентный групповой сигнал, тогда принимаемый сигнал $r(t)$ может быть рассчитан обычным образом путем конволюции передаваемого сигнала с импульсной характеристикой канала следующим образом:

$$r(t) = s(t) * h(t, \tau). \quad (32)$$

Импульсные характеристики канала как выходные параметры модели обновляются со скоростью, задаваемой f_{samp} .

8 Модель распространения в широкополосном канале спутник – внутреннее помещение

В разделе 7 описана физико-статистическая модель для широкополосного моделирования, которую возможно применять к сухопутной подвижной связи. В настоящем разделе представлено описание имитационной модели, с помощью которой возможно моделировать сценарий распространения в широкополосном канале спутник – внутренне помещение для оценки алгоритмов приемника. В частности, эта модель поддерживает моделирование для связи и для оценки времени прихода, которая необходима для целей определения местоположения. Аналогично модели, описанной в разделе 7, эта модель обеспечивает параметры для линейного трансверсального фильтра, который может использоваться для моделирования канала с частотно-избирательным замиранием. Определения терминов, связанных с многолучевым распространением, содержатся в Рекомендации МСЭ-R P.1407.

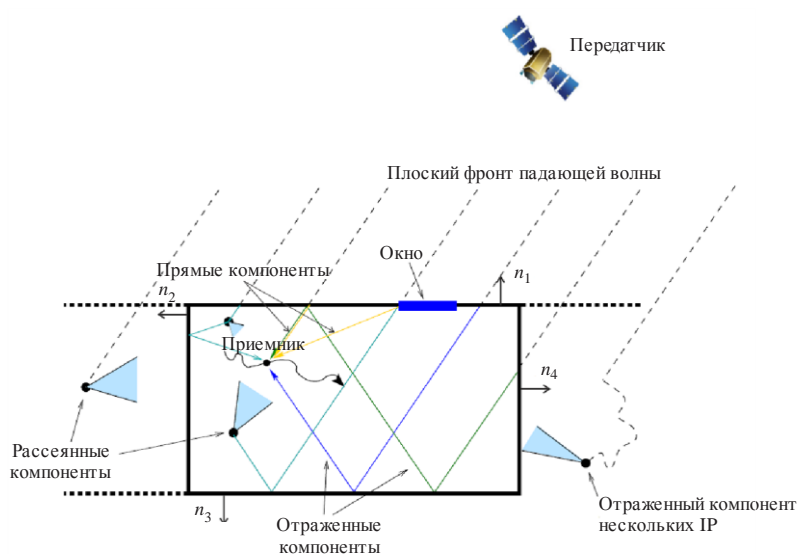
Модель канала обеспечивает моделирование распространения электромагнитных волн от передатчика на борту спутника к приемнику, расположенному внутри здания. Выбран метод физико-статистического моделирования, то есть части канала распространения волн моделируются с помощью детерминированных методов, а другие составляющие рассчитываются на основе моделированных статистических данных, полученных по результатам измерений. Измерения в данной области выполнялись с частотой несущей 1,51 ГГц и шириной полосы сигнала 100 МГц. Принимается, что передатчик и окружающая среда являются статическими или квазистатическими, а местоположение приемника может изменяться по произвольной траектории в пределах места действия, представляющего помещение в здании. Выходными данными будет совокупность значений времени задержки и комплексной амплитуды для разных компонентов многолучевого распространения, которые могут использоваться в структуре линейного трансверсального фильтра. Полученные параметры компонентов многолучевого распространения когерентно изменяются вместе с изменением местоположения приемника так, что поддерживается пространственно-когерентное моделирование.

Модель канал состоит из следующих служащих для моделирования канала распространения отдельных компонентов, представленных на рисунке 22.

- Прямые компоненты: это компоненты многолучевого распространения, которые проходят через наружные стены до их непосредственного приема приемной антенной. Основу этих компонентов составляют детерминированные расчеты с использованием структуры места действия.
- Отраженные компоненты: это компоненты многолучевого распространения, которые отражаются внутренними стенами места действия. Задержка и угол прихода этих компонентов моделируются с использованием детерминированных расчетов, а комплексная амплитуда является стохастической величиной.
- Рассеянные компоненты: это компоненты многолучевого распространения, которые представлены полностью стохастическим образом. Все параметры этих компонентов моделируются как случайные величины, представляющие взаимодействие электромагнитной волны с внутренними объектами, например с мебелью.

РИСУНОК 22

Общее представление отдельных компонентов, моделируемых с помощью модели канала распространения спутник – внутреннее помещение



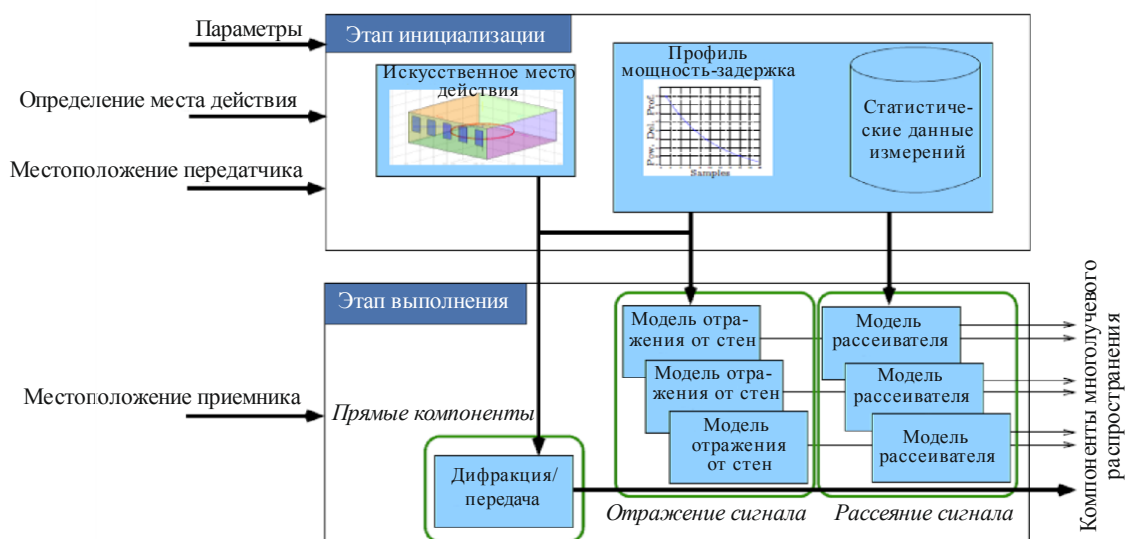
Эта модель разбивается на этап инициализации и этап выполнения, как показано на рисунке 23. На этапе инициализации происходит инициализации стохастических линий внутри модели канала таким образом, что этап выполнения является полностью детерминированным на основе полученных случайных величин. Таким образом, импульсная характеристика канала зависит только от местоположения приемника. Для моделирования определенной траектории приемника пользователь должен периодически переводить модель канала на этап выполнения, меняя при этом местоположение приемника в структуре петли. В качестве входных данных для модели канала на этапе инициализации ожидаются: описание места действия, частота несущей, ширина полосы моделирования, местоположение передатчика и среднеквадратический разброс задержки. Факультативно может быть представлено число рассеянных компонентов. Применительно к параметрам распространения описание места действия включает коэффициенты перпендикулярного пропускания материалов, к которым относятся стеновые материалы и оконное стекло. Значения коэффициента перпендикулярного пропускания и среднеквадратического разброса задержки могут быть рассчитаны с помощью Рекомендации МСЭ-R P.1238 и МСЭ-R P.2040 или взяты из этих Рекомендаций.

Рекомендуемый метод включен в компьютерную программу, включенную в прилагаемый файл R-REC-P.681-10-201712-I!!!ZIP.

Полное описание модели канала, включая ее реализацию, приведено в отчете МСЭ-R P.2145. На этапе выполнения местоположения приемника должны быть предоставлены пользователем в структуре петли.

РИСУНОК 23

Общее представление отдельных компонентов, моделируемых с помощью модели канала распространения спутник – внутреннее помещение



P.0681-23

8.1 Сфера применения имитационной модели

С помощью широкополосной модели распространения спутник – внутреннее помещение возможно моделировать сценарий распространения в широкополосном канале спутник – внутренне помещение для оценки алгоритмов приемника. В частности, эта модель поддерживает моделирование для связи и для оценки времени прихода, которая необходима для целей определения местоположения.

8.2 Применимость модели

Применимость модели имеет следующие ограничения, что обусловлено наличием стохастических частей, получаемых по данным измерений. В своей настоящей форме это ограничивает модель канала следующим образом:

- Диапазон частот: 1–2 ГГц и ширина полосы сигнала до 100 МГц.

- Поляризация: круговая поляризация.
- Окружающая среда: выходящие наружу помещения в типовых административных зданиях.

Используемый метод моделирования ограничивает широкополосную модель спутник – внутреннее помещение следующим образом:

- Статический передатчик: во время моделирования передатчик должен быть статическим или квазистатическим.
- Геометрия помещения: отдельная комната, у которой по крайней мере одна стена обращена к передатчику.
- Статическая окружающая среда: окружающая среда статическая, единственным движущимся предметом является приемник.
- Незначительное внешнее отражение: внешнее отражение, которое могут вызвать другие здания аналогичной высоты, находящиеся поблизости, пренебрежимо мало.

8.3 Входные параметры

На этапе инициализации для модели широкополосного канала спутник – внутреннее помещение требуются перечисленные ниже входные параметры.

Ширина полосы	Ширина полосы канала в Гц.
Частота несущей	Частота несущей в Гц.
Усредненный по пространству разброс задержки	Разброс задержки в секундах. Разброс задержки получают путем усреднения профиля мощность-задержка в имитируемом пространстве. Этот параметр определяет наклон экспоненциально затухающего усредненного по пространству профиля мощность-задержка. Формула и значения разброса задержки приведены в рекомендации МСЭ-R P.1238.
Местоположение передатчика	Пространственное местоположение передатчика в метрах в имитируемой эталонной системе координат, определяемой местом действия.
Место действия	Определяет конфигурацию помещения, которая необходима для физической детерминированной части модели канала. Кроме того, включает также коэффициенты перпендикулярного пропускания материалов стен и окон. Надлежащие значения могут быть рассчитаны с использованием метода для однослойных плит, который описан в Рекомендации МСЭ-R P.2040.
Число рассеянных компонентов	Необязательный параметр для изменения числа моделируемых рассеянных компонентов. По умолчанию это число равно 10 000. Значения этого параметра должны быть более 1 000.

На этапе выполнения для модели широкополосного канала спутник – внутреннее помещение требуются перечисленные ниже входные параметры.

Местоположение приемника	Пространственное местоположение приемника в той же системе координат, в которой представлены местоположение передатчика и место действия. Для моделирования определенной траектории приемника пользователь должен периодически запускать выполнение программы имитатора канала, меняя при этом местоположение приемника в структуре петли.
--------------------------	--

8.4 Выходные параметры

Модель обеспечивает импульсную характеристику канала (CIR) $h(\tau, x_r)$, рассчитанную на основании местоположения приемника x_r и предоставляемую пользователю следующим образом:

$$h(\tau, x_r) = \sum_{l=0}^{L(x_r)-1} \tilde{\alpha}_l(x_r) \delta(\tau - \tilde{\tau}_l(x_r)), \quad (33)$$

где:

- $L(x_r)$ число видимых трасс в местоположении приемника x_r ;
 $\tilde{\alpha}_l(x_r)$ комплексная амплитуда трассы; уже включает задержку внутри этапа;
 $\tilde{\tau}_l(x_r)$ задержка в секундах на трассе, приведенная к времени распространения по линии прямой видимости.

9 Разнесение спутников

В предыдущих разделах рассматривались линии связи с одним спутником. Для улучшения показателя готовности в системах с несколькими спутниками может использоваться разнесение линий связи. В данном разделе рассматривается объединение/коммутирование сигналов, поступающих от разных спутников. Рассматриваются два случая – случай отсутствия корреляции, когда предполагается, что последствия затенения, затрагивающие принимаемые сигналы от видимых спутников, являются некоррелированными; и случай наличия корреляции, когда существует определенная степень корреляции. В обеих ситуациях обуславливаемые многолучевостью отклонения сигнала рассматриваются как некоррелированные.

9.1 Случай отсутствия корреляции

Модель, представленная в разделе 6, обладает возможностью оценки воздействия разнесения спутников в случае группировок спутников, в которых видимыми являются несколько спутников (то есть происходит переключение на наименее поврежденную трассу). Для систем ГСО вероятности возникновения каждого состояния для каждой спутниковой линии связи, то есть P_{GOODn} и P_{BADn} ($n = 1, 2, \dots, N$; N – количество видимых спутников), зависят от угла места θ_n каждого спутника. Вероятности возникновения того или иного состояния после разнесения на основе выбора состояния, $P_{GOOD:div}$ и $P_{BAD:div}$, определяются следующим образом:

$$P_{GOOD:div} = 1 - \prod_{n=1}^N [1 - P_{GOODn}(\theta_n)] \quad (34a)$$

$$P_{BAD:div} = 1 - P_{GOOD:div} \quad (34b)$$

В случае систем НГСО, таких как ОЗО и СОО, вероятности возникновения различных состояний для каждой спутниковой линии связи изменяются во времени в зависимости от изменяемых во времени значений угла места спутников. Среднее значение вероятности возникновения того или иного состояния $\langle P_{GOOD:div} \rangle$ и $\langle P_{BAD:div} \rangle$ после разнесения рабочих спутников в период времени от t_1 до t_2 определяются следующим образом:

$$\langle P_{i:div} \rangle = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} P_{i:div}(t) dt \quad (i = GOOD, BAD). \quad (35)$$

9.2 Случай наличия корреляции

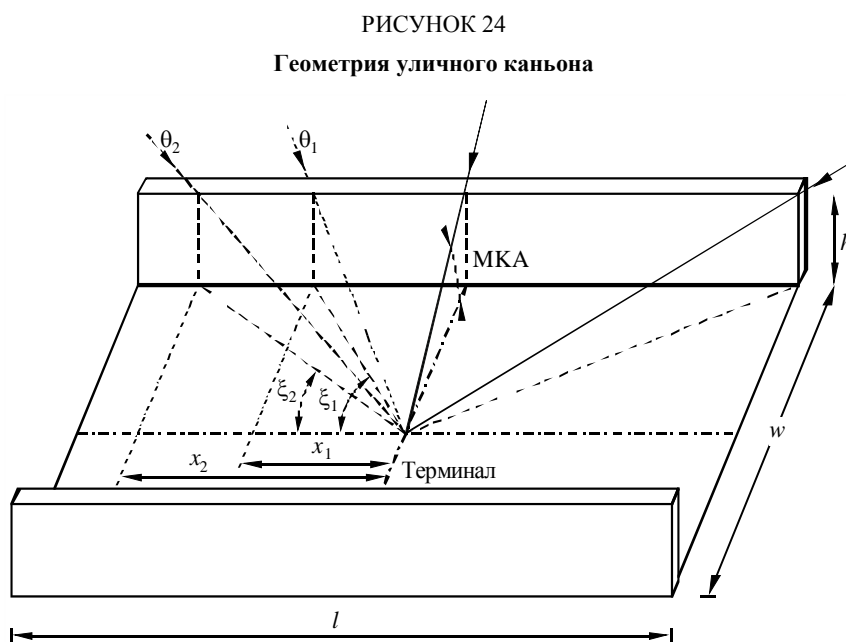
Во многих случаях события затенения, затрагивающие две линии связи с данным угловым разносом, представляют определенную степень корреляции, которую необходимо оценить количественно для обеспечения более точных оценок общей готовности, ожидаемой в отношении системы с несколькими спутниками. Для этой цели используется коэффициент кросс-корреляции затенения. Этот параметр может принимать значения в диапазоне ± 1 начиная от положительного значения, близкого к +1, для малого углового разноса, до даже отрицательных значений для больших величин углового разноса.

9.2.1 Количественная оценка коэффициента кросс-корреляции затенения в городских зонах

Ниже описывается простая трехсегментная модель количественной оценки коэффициента корреляции между событиями затенения в городских зонах. Используется традиционная геометрия городской зоны – уличный каньон. Задача заключается в количественном определении коэффициента кросс-корреляции $\rho(\gamma)$, при этом γ является угловым разносом между двумя отдельными линиями связи спутник – подвижный терминал в уличных каньонах, которые описаны с помощью их МКА.

Данная геометрия представлена на рисунке 24, где:

- θ_1, θ_2 : угол места спутника;
- w : средняя ширина улицы;
- h : средняя высота зданий;
- l : длина рассматриваемой улицы.



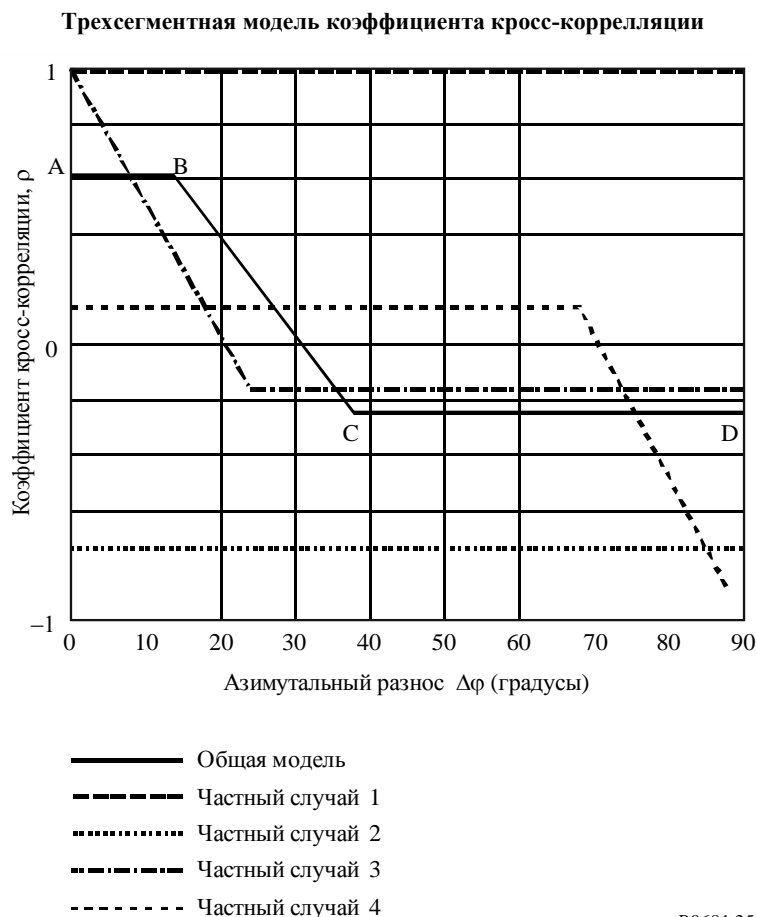
P.0681-24

Угловой разнос между двумя линиями связи γ может быть выражен в более традиционных угловых терминах: углы места двух спутников θ_i и θ_j и разнос по азимуту между ними $\Delta\varphi$, то есть коэффициент кросс-корреляции затенения, может быть выражен как $\rho(\theta_i, \theta_j, \Delta\varphi)$.

На рисунке 25 схематически представлены типовые результаты, полученные с помощью данной модели, на которой показан общий режим в виде трехсегментной диаграммы, обозначенной точками A, B, C и D . В дополнение к этой общей диаграмме представлено несколько частных случаев, в которых объединены две или более из этих четырех точек.

На рисунке 24 показано, что в целом обычно существует главный лепесток положительных уменьшающихся значений кросс-корреляции для малого азимутального разноса (как правило, $\Delta\varphi < 30^\circ$), в то время как для больших значений $\Delta\varphi$ этот коэффициент стремится принять постоянное отрицательное значение. Данный лепесток представляет высший максимум, когда два спутника находятся на одинаковых углах места. При увеличении разницы между углами места ($\theta_i \gg \theta_j$) лепесток будет показывать значительно более низкий максимум.

РИСУНОК 25



P0681-25

Также были определены частные случаи данной трехсегментной модели: частный случай 1 возникает, когда оба спутника находятся выше МКА для любого азимутального разнеса. В этом случае коэффициент корреляции принимает постоянное положительное значение $+1$ для любого $\Delta\varphi$. Это нерелевантный случай, поскольку в данной ситуации не требуется разнесение спутников. Частный случай 2 возникает, когда один спутник всегда находится выше МКА, а другой – всегда ниже МКА (за исключением обоих концов каньона). В этом случае коэффициент корреляции принимает постоянное отрицательное значение. Частный случай 3 возникает, когда два спутника находятся на том же угле места. В этой ситуации лепесток корреляции начинает уменьшаться относительно своего максимального значения, равного $+1$ (то есть спутники расположены под одним и тем же углом). Этот частный случай применим к системам, базирующимся на спутниках ГСО, имеющих широкий разнос по азимуту, но весьма сходные углы места. Наконец, частный случай 4 возникает, когда спутники имеют очень разные углы места ($\theta_i \gg \theta_j$). В этом случае лепесток корреляции расширяется на очень широкий диапазон значений азимутального разнеса, но показывает малые положительные корреляционные значения.

Следует отметить, учитывая геометрию данного сценария (уличный каньон) и допущение о том, что пользователь находится в середине улицы, что корреляционные значения являются симметричными для всех четырех квадрантов $\Delta\varphi$; поэтому на рисунке 25 показан только один квадрант.

Что касается рисунка 24, то в данной модели использовались следующие входные параметры: углы места спутников θ_1 и θ_2 (град.), средняя высота здания h (м), средняя ширина улицы w (м) и длина рассматриваемой улицы l (м). Для этого последнего параметра рекомендуется выбирать большое значение, то есть $l \geq 200$ м. Далее предполагается, что $\theta_2 \geq \theta_1$. Разрешение азимутального разнеса в этой модели $\Delta\varphi$ составляет 1° и действительно для всех полос частот, хотя оно становится более точным для полос частот выше 10 ГГц.

Для расчета значений коэффициента кросс-корреляции и азимутального разнеса, соответствующих точкам модели A , B , C и D , необходимо выполнить следующие шаги.

Шаг 1. Расчет дополнительных значений x_1 , x_2 , M_1 и M_2 и углов ξ_1 и ξ_2 (см. рисунок 24):

$$x_1 = \sqrt{\left(\frac{h}{\tan\theta_1}\right)^2 - \left(\frac{w}{2}\right)^2} \quad \text{и} \quad x_2 = \sqrt{\left(\frac{h}{\tan\theta_1}\right)^2 - \left(\frac{w}{2}\right)^2}. \quad (36)$$

- Если $(x_1, x_2)^2 < 0$, перейти к шагу 6. Эта ситуация возникает, когда спутник 1 и/или 2 всегда находится в условиях прямой видимости для любого азимутального разнеса.
- Если $x_1, x_2 > l/2$, установить $x_1, x_2 = l/2$. Эта ситуация возникает, если спутник 1 и/или 2 является видимым только на обоих концах улицы:

$$\xi_1 = \text{round}\left(\arctan\frac{w/2}{x_1}\right) \quad \text{и} \quad \xi_2 = \text{round}\left(\arctan\frac{w/2}{x_2}\right); \quad (37)$$

$$M_1 = \frac{\xi_1 + 0,5}{90} \quad \text{и} \quad M_2 = \frac{\xi_2 + 0,5}{90}, \quad (38)$$

где "round" означает округление до ближайшей целой величины (град.).

Шаг 2. Расчет дополнительных данных, связанных с точками A и D модели.

Для точки A :

$$N_{11} = 4\xi_1 + 2; \quad N_{00} = 360 - 4\xi_2 - 2; \quad N_{01} = 4(\xi_2 - \xi_1); \quad N_{10} = 0. \quad (39)$$

Для точки D :

- если $\xi_1 + \xi_2 \leq 90$,

$$N_{11} = 0; \quad N_{00} = 360 - 4\xi_1 - 4\xi_2 - 4; \quad N_{01} = 4\xi_2 + 2; \quad N_{10} = 4\xi_1 + 2; \quad (40a)$$

- если $\xi_1 + \xi_2 > 90$,

$$N_{11} = 4\xi_1 + 4\xi_2 + 4 - 360; \quad N_{00} = 0; \quad N_{01} = 360 - 4\xi_1 - 2; \quad N_{10} = 360 - 4\xi_2 - 2. \quad (40b)$$

Шаг 3. Расчет коэффициента кросс-корреляции в точках A и D :

$$\rho_{A,D} = \frac{1}{359} \frac{N_{11}(1-M_1)(1-M_2) + N_{00}(0-M_1)(0-M_2) + N_{10}(1-M_1)(0-M_2) + N_{01}(0-M_1)(1-M_2)}{\sigma(\theta_1)\sigma(\theta_2)}; \quad (41)$$

$$\sigma^2(\theta_1) = \frac{(4\xi_1 + 2)(1-M_1)^2 + (360 - 4\xi_1 - 2)(0-M_1)^2}{359}; \quad (42a)$$

$$\sigma^2(\theta_2) = \frac{(4\xi_2 + 2)(1-M_2)^2 + (360 - 4\xi_2 - 2)(0-M_2)^2}{359}. \quad (42b)$$

Шаг 4. В точке B коэффициент корреляции такой же, как и в точке A , а разнос по азимуту $\Delta\varphi$ определяется следующим образом:

$$\text{Азимут}_{\text{Точка } B} = \xi_2 - \xi_1 \quad (\text{градусы}). \quad (43)$$

Шаг 5. В точке *C* коэффициент корреляции такой же, как и в точке *D*, а разнос по азимуту $\Delta\varphi$ определяется следующим образом:

$$- \quad \text{если } \xi_1 + \xi_2 \leq 90, \quad \text{Азимут}_{\text{Точка } C} = \xi_1 - \xi_2 \quad (\text{градусы}); \quad (44a)$$

$$- \quad \text{если } \xi_1 + \xi_2 > 90, \quad \text{Азимут}_{\text{Точка } C} = 180 - \xi_1 - \xi_2 \quad (\text{градусы}). \quad (44b)$$

Шаг 6. Это случай, когда для одного или обоих углов места всегда существуют условия прямой видимости. В этом случае коэффициент корреляции рассчитывается несколько иным образом по сравнению с шагом 3:

- если оба спутника всегда являются видимыми, коэффициент кросс-корреляции постоянный и равен +1 для любого $\Delta\varphi$;
- если один из спутников всегда является видимым, коэффициент кросс-корреляции также постоянный и имеет следующий вид:

$$\rho = \left(\frac{N_{11}}{180} - 1 \right), \quad (45)$$

где $N_{11} = 4\xi_1 + 2$, а ξ_1 рассчитывается так же, как на шаге 1.

9.2.2 Расчет готовности

После того как коэффициент кросс-корреляции определен, возможно вычислить, насколько улучшается показатель готовности в результате применения разнесения спутников. В данном пункте представлены выражения для расчета готовности системы при разнесении двух спутников. Учитывая малые, как правило, запасы (или диапазоны регулирования мощности), используемые в сухопутных подвижных спутниковых системах, необходимо рассматривать только воздействие затенения. Это обоснованная рабочая гипотеза, поскольку значения готовности будут соответствовать линиям связи в условиях прямой видимости, в каких случаях изменения, обуславливаемые многолучевостью, имеют райсовское распределение и, следовательно, весьма малы. В случае условий затенения (сильного или слабого) линии связи будут находиться в нерабочем состоянии, даже если многолучевость значительно усиливает сигнал.

Для двух линий с разносом по углу, значениями вероятности неготовности p_1 и p_2 и коэффициентом кросс-корреляции затенения ρ общая вероятность неготовности после применения разнесения спутников будет определяться следующим образом:

$$p_0 = \rho \sqrt{p_1(1-p_1)} \sqrt{p_2(1-p_2)} + p_1 p_2 \quad (46)$$

а вероятность готовности будет составлять $1 - p_0$. Действительные значения ρ в уравнении (46) ограничиваются значениями, обуславливающими неотрицательные значения для p_0 . Вероятности p_1 и p_2 для городских зон могут быть рассчитаны с помощью модели, описанной в пункте 4.2.

Общий расчет для данного временного интервала или для полного периода группировки требует расчета взвешенных средних значений по всем позициям (азимуты и углы места) двух спутников относительно терминала пользователя.

9.3 Моделирование воздействия разнесения спутников с использованием функций МКФ

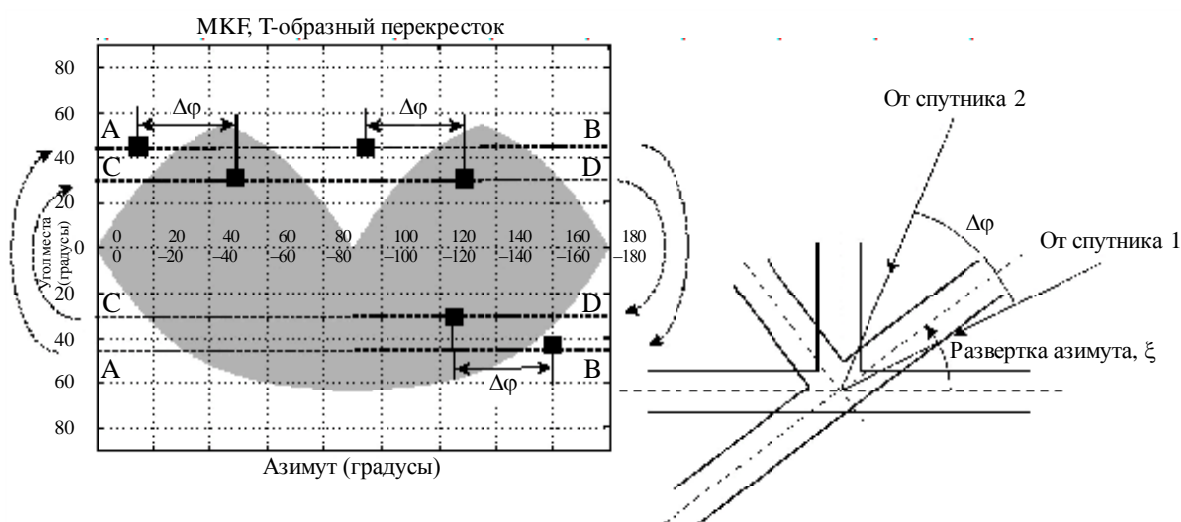
В расчетах значений готовности систем с несколькими спутниками могут использоваться функции МКФ, определение которых содержится в пункте 4.4. В геометрии самого экранирования уже содержится возможная частичная корреляция влияния перекрытия между разными линиями связи. Рисунок 26 является иллюстрацией расчета готовности системы, в состав которой входят два спутника ГСО. Линии А–В и С–D показывают ход развертки, которому необходимо следовать при расчете суммарной готовности. Линия А–В показывает развертку азимута 360° при угле места θ_1 ,

соответствующем спутнику 1, а линия С–D показывает развертку азимута 360° при угле места θ_2 , соответствующем спутнику 2. Для учета возможной кросс-корреляции перекрытия развертка 360° должна выполняться с сохранением разнесения по азимуту $\Delta\varphi$ между двумя спутниками.

Функции МКФ улицы также могут быть расширены для систем с несколькими спутниками ГСО и в случае группировки спутников НГСО. В последнем случае исследования будут включать повторяющиеся расчеты разверток 360° направления ориентирования улицы для достаточно большого количества мгновенных состояний группировки спутников. Мгновенное состояние в данном контексте означает фактические позиции (азимуты и углы места) различных спутников выше минимального рабочего угла места θ_{\min} . При определении соответствующих интервала шага ΔT и периода наблюдения T_{obs} готовность может быть рассчитана как среднее, взвешенное по времени и ориентированию улицы, значение полученных результатов для каждого мгновенного состояния. Достоверные результаты обеспечиваются значениями $\Delta T = 1$ мин и T_{obs} , равным периоду группировки.

РИСУНОК 26

Расчет общей готовности системы для группировки, состоящей из двух спутников ГСО, относительно Т-образного перекрестка



P0681-26

Приложение 2

1 Введение

Ниже приводятся входные параметры для статистической и генеративной узкополосной моделей, описанных в пункте 6 Приложения 1 для различных диапазонов частот и условий. Имеющиеся наборы параметров представлены в таблицах 7–10.

Параметры представляются в формате таблицы 7.

ТАБЛИЦА 7

Формат данных для входных параметров

Частота/окружающие условия/угол места (градусы)		
Информация	Дополнительные сведения о зоне или об устройстве, используемом для определения характеристик канала	
	GOOD	BAD
Параметр		
$(\mu, \sigma)_{G, B}$	μ_G, σ_G	μ_B, σ_B
$dur_{\min G, B}$	$dur_{\min G}$	$dur_{\min B}$
$(\mu_{M_A^{GB}}, \sigma_{M_A^{GB}})$	$\mu_{M_A^G}, \sigma_{M_A^G}$	$\mu_{M_A^B}, \sigma_{M_A^B}$
$MP_{G, B}$	h_{1G}, h_{2G}	h_{1B}, h_{2B}
$\Sigma_{AG, B}$	g_{1G}, g_{2G}	g_{1B}, g_{2B}
$L_{\text{corr}G, B}^*$	$L_{\text{corr}G}$	$L_{\text{corr}B}$
$f_1 \Delta M_A + f_2$	f_1, f_2	
$[p_{B, \min}; p_{B, \max}]$	Диапазон вероятности для учета распределения M_{AB}	

Замечание. G означает состояние GOOD, а B означает состояние BAD.

* Только для генеративного моделирования.

ТАБЛИЦА 8

Параметры модели для частот в диапазоне 1,5–3 ГГц

Окружающие условия	Угол места (градусы)				
	20	30	45	60	70
Город	20	30	45	60	70
Пригород	20	30	45	60	70
Деревня	20	30	45	60	70
Сельская лесистая местность	20	30	45	60	70
Жилая зона	20	30	–	60	70

ТАБЛИЦА 9

Параметры модели для частот в диапазоне 3–5 ГГц

Окружающие условия	Угол места (градусы)				
	20	30	45	60	70
Город	20	30	45	60	70
Пригород	20	30	45	60	70
Деревня	20	30	45	60	70
Сельская лесистая местность	20	30	45	60	70
Жилая зона	20	30	–	60	70

ТАБЛИЦА 10

Параметры модели для частот в диапазоне 10–20 ГГц

Окружающие условия	Угол места (градусы)
Пригород	34
Сельская местность	34

2 Частоты в диапазоне 1,5–3 ГГц

2.1 Городские условия

2,2 ГГц/город/20°		
Информация	Усиление антенны < 5 дБи/измерения проводились с вертолета в типичном городе среднего размера во Франции и вблизи него	
Параметр	GOOD	BAD
$\mu_{G,B}, \sigma_{G,B}$	2,0042 1,2049	3,689 0,9796
$dur_{\min G,B}$	3,9889	10,3114
$\mu_{M_{A^{GB}}}, \sigma_{M_{A^{GB}}}$	-3,3681 3,3226	-18,1771 3,2672
$h_{1G,B}, h_{2G,B}$	0,1739 -11,5966	1,1411 4,0581
$g_{1G,B}, g_{2G,B}$	0,0036 1,3230	-0,2502 -1,2528
$L_{\text{corr}G,B}$	0,9680	0,9680
$f_1 \Delta M_A + f_2$	0,0870 2,8469	
$[p_{B,\min}; p_{B,\max}]$	[0,1; 0,9]	

2,2 ГГц/город/30°		
Информация	Усиление антенны < 5 дБи/измерения были выполнены с использованием вертолета в типичном городе среднего размера во Франции и вблизи него	
Параметр	GOOD	BAD
$\mu_{G,B}, \sigma_{G,B}$	2,7332 1,1030	2,7582 1,2210
$dur_{\min G,B}$	7,3174	5,7276
$\mu_{M_{A^{GB}}}, \sigma_{M_{A^{GB}}}$	-2,3773 2,1222	-17,4276 3,9532
$h_{1G,B}, h_{2G,B}$	0,0941 -13,1679	0,9175 -0,8009
$g_{1G,B}, g_{2G,B}$	-0,2811 0,9323	-0,1484 0,5910
$L_{\text{corr}G,B}$	1,4731	1,4731
$f_1 \Delta M_A + f_2$	0,1378 3,3733	
$[p_{B,\min}; p_{B,\max}]$	[0,1; 0,9]	

2,2 ГГц/город/45°		
Информация	Усиление антенны < 5 дБи/измерения проводились с вертолета в типичном городе среднего размера во Франции и вблизи него	
Параметр	GOOD	BAD
$\mu_{G,B}, \sigma_{G,B}$	3,0639 1,6980	2,9108 1,2602
$dur_{\min G,B}$	10,0	6,0
$\mu_{M_{A,GB}}, \sigma_{M_{A,GB}}$	-1,8225 1,1317	-15,4844 3,3245
$h_{1G,B}, h_{2G,B}$	-0,0481 -14,7450	0,9434 -1,7555
$g_{1G,B}, g_{2G,B}$	-0,4643 0,3334	-0,0798 2,8101
$L_{\text{corr}G,B}$	1,7910	1,7910
$f_1 \Delta M_A + f_2$	0,0744 2,1423	
$[p_{B,\min}; p_{B,\max}]$	[0,1; 0,9]	

2,2 ГГц/город/60°		
Информация	Усиление антенны < 5 дБи/измерения проводились с вертолета в типичном городе среднего размера во Франции и вблизи него	
Параметр	GOOD	BAD
$\mu_{G,B}, \sigma_{G,B}$	2,8135 1,5962	2,0211 0,6568
$dur_{\min G,B}$	10,0	1,9126
$\mu_{M_{A,GB}}, \sigma_{M_{A,GB}}$	-1,5872 1,2446	-14,1435 3,2706
$h_{1G,B}, h_{2G,B}$	-0,5168 -17,4060	0,6975 -7,5383
$g_{1G,B}, g_{2G,B}$	-0,1953 0,5353	0,0422 3,2030
$L_{\text{corr}G,B}$	1,7977	1,7977
$f_1 \Delta M_A + f_2$	-0,1285 5,4991	
$[p_{B,\min}; p_{B,\max}]$	[0,1; 0,9]	

2,2 ГГц/город/70°		
Информация	Усиление антенны < 5 дБи/измерения проводились с вертолета в типичном городе среднего размера во Франции и вблизи него	
Параметр	GOOD	BAD
$\mu_{G,B}, \sigma_{G,B}$	4,2919 2,4703	2,1012 1,0341
$dur_{\min G,B}$	118,3312	4,8569
$\mu_{M_{A,GB}}, \sigma_{M_{A,GB}}$	-1,8434 0,5370	-12,9383 1,7588
$h_{1G,B}, h_{2G,B}$	-4,7301 -26,5687	2,5318 16,8468
$g_{1G,B}, g_{2G,B}$	0,5192 1,9583	0,3768 8,4377
$L_{\text{corr}G,B}$	2,0963	2,0963
$f_1 \Delta M_A + f_2$	-0,0826 2,8824	
$[p_{B,\min}; p_{B,\max}]$	[0,1; 0,9]	

2.2 Пригородная зона

2,2 ГГц/пригород/20°		
Информация	Усиление антенны < 5 дБи/измерения проводились с вертолета в типичном городе среднего размера во Франции и вблизи него	
Параметр	GOOD	BAD
$\mu_{G,B}, \sigma_{G,B}$	2,2201 1,2767	2,2657 1,3812
$dur_{\min G,B}$	2,2914	2,5585
$\mu_{M_A^{GB}}, \sigma_{M_A^{GB}}$	-2,7191 1,3840	-13,8808 2,5830
$h_{1G,B}, h_{2G,B}$	-0,3037 -13,0719	1,0136 0,5158
$g_{1G,B}, g_{2G,B}$	-0,1254 0,7894	-0,1441 0,7757
$L_{\text{corr}G,B}$	0,9290	0,9290
$f_1 \Delta M_A + f_2$	0,2904 1,0324	
$[p_{B,\min}; p_{B,\max}]$	[0,1; 0,9]	

2,2 ГГц/пригород/30°		
Информация	Усиление антенны < 5 дБи/измерения проводились с вертолета в типичном городе среднего размера во Франции и вблизи него	
Параметр	GOOD	BAD
$\mu_{G,B}, \sigma_{G,B}$	3,0138 1,4161	2,4521 0,7637
$dur_{\min G,B}$	8,3214	5,9087
$\mu_{M_A^{GB}}, \sigma_{M_A^{GB}}$	-0,7018 1,2107	-11,9823 3,4728
$h_{1G,B}, h_{2G,B}$	-0,6543 -14,6457	0,6200 -7,5485
$g_{1G,B}, g_{2G,B}$	-0,1333 0,8992	-0,1644 0,2762
$L_{\text{corr}G,B}$	1,7135	1,7135
$f_1 \Delta M_A + f_2$	0,1091 3,3000	
$[p_{B,\min}; p_{B,\max}]$	[0,1; 0,9]	

2,2 ГГц/пригород/45°		
Информация	Усиление антенны < 5 дБи/измерения проводились с вертолета в типичном городе среднего размера во Франции и вблизи него	
Параметр	GOOD	BAD
$\mu_{G,B}, \sigma_{G,B}$	4,5857 1,3918	2,2414 0,7884
$dur_{\min G,B}$	126,8375	4,3132
$\mu_{M_A^{GB}}, \sigma_{M_A^{GB}}$	-1,1496 1,0369	-10,3806 2,3543
$h_{1G,B}, h_{2G,B}$	0,2148 -17,8462	0,0344 -14,2087
$g_{1G,B}, g_{2G,B}$	0,0729 1,0303	0,0662 3,5043
$L_{\text{corr}G,B}$	3,2293	3,2293
$f_1 \Delta M_A + f_2$	0,5766 0,7163	
$[p_{B,\min}; p_{B,\max}]$	[0,1; 0,9]	

2,2 ГГц/пригород/60°		
Информация	Усиление антенны < 5 дБи/измерения проводились с вертолета в типичном городе среднего размера во Франции и вблизи него	
Параметр	GOOD	BAD
$\mu_{G,B}, \sigma_{G,B}$	3,4124 1,4331	1,9922 0,7132
$dur_{\min G,B}$	19,5431	3,1213
$\mu_{M_{A}GB}, \sigma_{M_{A}GB}$	-0,7811 0,7979	-12,1436 3,1798
$h_{1G,B}, h_{2G,B}$	-2,1102 -19,7954	0,4372 -8,3651
$g_{1G,B}, g_{2G,B}$	-0,2284 0,2796	-0,2903 -0,6001
$L_{\text{corr}G,B}$	2,0215	2,0215
$f_1\Delta M_A + f_2$	-0,4097 8,7440	
$[p_{B,\min}; p_{B,\max}]$	[0,1; 0,9]	

2,2 ГГц/пригород/70°		
Информация	Усиление антенны < 5 дБи/измерения проводились с вертолета в типичном городе среднего размера во Франции и вблизи него	
Параметр	GOOD	BAD
$\mu_{G,B}, \sigma_{G,B}$	4,2919 2,4703	2,1012 1,0341
$dur_{\min G,B}$	118,3312	4,8569
$\mu_{M_{A}GB}, \sigma_{M_{A}GB}$	-1,8434 0,5370	-12,9383 1,7588
$h_{1G,B}, h_{2G,B}$	-4,7301 -26,5687	2,5318 16,8468
$g_{1G,B}, g_{2G,B}$	0,5192 1,9583	0,3768 8,4377
$L_{\text{corr}G,B}$	2,0963	2,0963
$f_1\Delta M_A + f_2$	-0,0826 2,8824	
$[p_{B,\min}; p_{B,\max}]$	[0,1; 0,9]	

2.3 Деревенская местность

2,2 ГГц/деревня/20°		
Информация	Усиление антенны < 5 дБи/измерения проводились с вертолета в типичном городе среднего размера во Франции и вблизи него	
Параметр	GOOD	BAD
$\mu_{G,B}, \sigma_{G,B}$	2,7663 1,1211	2,2328 1,3788
$dur_{\min G,B}$	6,5373	2,8174
$\mu_{M_{A}GB}, \sigma_{M_{A}GB}$	-2,5017 2,3059	-15,2300 5,0919
$h_{1G,B}, h_{2G,B}$	0,0238 -11,4824	0,9971 0,8970
$g_{1G,B}, g_{2G,B}$	-0,2735 1,3898	-0,0568 1,9253
$L_{\text{corr}G,B}$	0,8574	0,8574
$f_1\Delta M_A + f_2$	0,0644 2,6740	
$[p_{B,\min}; p_{B,\max}]$	[0,1; 0,9]	

2,2 ГГц/деревня/30°		
Информация	Усиление антенны < 5 дБи/измерения проводились с вертолета в типичном городе среднего размера во Франции и вблизи него	
Параметр	GOOD	BAD
$\mu_{G,B}, \sigma_{G,B}$	2,4246 1,3025	1,8980 1,0505
$dur_{\min G,B}$	5,4326	2,4696
$\mu_{M_{A,GB}}, \sigma_{M_{A,GB}}$	-2,2284 1,4984	-15,1583 4,0987
$h_{1G,B}, h_{2G,B}$	-0,3431 -14,0798	0,9614 0,3719
$g_{1G,B}, g_{2G,B}$	-0,2215 1,0077	-0,0961 1,3123
$L_{\text{corr}G,B}$	0,8264	0,8264
$f_1\Delta M_A + f_2$	-0,0576 3,3977	
$[p_{B,\min}; p_{B,\max}]$	[0,1; 0,9]	

2,2 ГГц/деревня/45°		
Информация	Усиление антенны < 5 дБи/измерения проводились с вертолета в типичном городе среднего размера во Франции и вблизи него	
Параметр	GOOD	BAD
$\mu_{G,B}, \sigma_{G,B}$	2,8402 1,4563	1,8509 0,8736
$dur_{\min G,B}$	10,4906	2,6515
$\mu_{M_{A,GB}}, \sigma_{M_{A,GB}}$	-1,2871 0,6346	-12,6718 3,1722
$h_{1G,B}, h_{2G,B}$	-0,0222 -16,7316	0,8329 -3,9947
$g_{1G,B}, g_{2G,B}$	-0,3905 0,4880	-0,0980 1,3381
$L_{\text{corr}G,B}$	1,4256	1,4256
$f_1\Delta M_A + f_2$	-0,0493 5,3952	
$[p_{B,\min}; p_{B,\max}]$	[0,1; 0,9]	

2,2 ГГц/деревня/60°		
Информация	Усиление антенны < 5 дБи/измерения проводились с вертолета в типичном городе среднего размера во Франции и вблизи него	
Параметр	GOOD	BAD
$\mu_{G,B}, \sigma_{G,B}$	3,7630 1,2854	1,7192 1,1420
$dur_{\min G,B}$	17,6726	2,5981
$\mu_{M_{A,GB}}, \sigma_{M_{A,GB}}$	-0,5364 0,6115	-9,5399 2,0732
$h_{1G,B}, h_{2G,B}$	-0,1418 -17,8032	-0,4454 -16,8201
$g_{1G,B}, g_{2G,B}$	-0,2120 0,7819	0,0609 2,5925
$L_{\text{corr}G,B}$	0,8830	0,8830
$f_1\Delta M_A + f_2$	-0,8818 10,1610	
$[p_{B,\min}; p_{B,\max}]$	[0,1; 0,9]	

2,2 ГГц/деревня/70°		
Информация	Усиление антенны < 5 дБи/измерения проводились с вертолета в типичном городе среднего размера во Франции и вблизи него	
Параметр	GOOD	BAD
$\mu_{G,B}, \sigma_{G,B}$	4,0717 1,2475	1,5673 0,5948
$dur_{\min G,B}$	30,8829	2,1609
$\mu_{M_{A,GB}}, \sigma_{M_{A,GB}}$	-0,3340 0,6279	-8,3686 2,5603
$h_{1G,B}, h_{2G,B}$	-1,6253 -19,7558	0,1788 -9,5153
$g_{1G,B}, g_{2G,B}$	-0,4438 0,6355	-0,0779 1,1209
$L_{\text{corr}G,B}$	1,5633	1,5633
$f_1\Delta M_A + f_2$	-0,3483 5,1244	
$[p_{B,\min}; p_{B,\max}]$	[0,1; 0,9]	

2.4 Сельская лесистая местность

2,2 ГГц/сельская лесистая местность/20°		
Информация	Усиление антенны < 5 дБи/измерения проводились с вертолета в типичном городе среднего размера во Франции и вблизи него	
Параметр	GOOD	BAD
$\mu_{G,B}, \sigma_{G,B}$	2,1597 1,3766	1,9587 1,5465
$dur_{\min G,B}$	2,0744	1,3934
$\mu_{M_{A,GB}}, \sigma_{M_{A,GB}}$	-0,8065 1,5635	-10,6615 2,6170
$h_{1G,B}, h_{2G,B}$	-0,9170 -12,1228	0,8440 -1,4804
$g_{1G,B}, g_{2G,B}$	-0,0348 0,9571	-0,1069 1,6141
$L_{\text{corr}G,B}$	0,8845	0,8845
$f_1\Delta M_A + f_2$	0,0550 2,6383	
$[p_{B,\min}; p_{B,\max}]$	[0,1; 0,9]	

2,2 ГГц/сельская лесистая местность/30°		
Информация	Усиление антенны < 5 дБи/измерения проводились с вертолета в типичном городе среднего размера во Франции и вблизи него	
Параметр	GOOD	BAD
$\mu_{G,B}, \sigma_{G,B}$	2,5579 1,2444	2,3791 1,1778
$dur_{\min G,B}$	3,5947	2,2800
$\mu_{M_{A,GB}}, \sigma_{M_{A,GB}}$	-1,3214 1,6645	-10,4240 2,4446
$h_{1G,B}, h_{2G,B}$	-1,0445 -14,3176	0,6278 -4,8146
$g_{1G,B}, g_{2G,B}$	-0,1656 0,7180	-0,0451 2,2327
$L_{\text{corr}G,B}$	1,0942	1,0942
$f_1\Delta M_A + f_2$	0,0256 3,8527	
$[p_{B,\min}; p_{B,\max}]$	[0,1; 0,9]	

2,2 ГГц/сельская лесистая местность/45°		
Информация	Усиление антенны < 5 дБи/измерения проводились с вертолета в типичном городе среднего размера во Франции и вблизи него	
Параметр	GOOD	BAD
$\mu_{G,B}, \sigma_{G,B}$	3,1803 1,3427	2,5382 1,1291
$dur_{\min G,B}$	6,7673	3,3683
$\mu_{M_A^{GB}}, \sigma_{M_A^{GB}}$	-0,9902 1,0348	-10,2891 2,3090
$h_{1G,B}, h_{2G,B}$	-0,4235 -16,8380	0,3386 -9,7118
$g_{1G,B}, g_{2G,B}$	-0,1095 0,6893	-0,0460 2,1310
$L_{\text{corr}G,B}$	2,3956	2,3956
$f_1 \Delta M_A + f_2$	0,2803 4,0004	
$[p_{B,\min}; p_{B,\max}]$	[0,1; 0,9]	

2,2 ГГц/сельская лесистая местность/60°		
Информация	Усиление антенны < 5 дБи/измерения проводились с вертолета в типичном городе среднего размера во Франции и вблизи него	
Параметр	GOOD	BAD
$\mu_{G,B}, \sigma_{G,B}$	2,9322 1,3234	2,1955 1,1115
$dur_{\min G,B}$	5,7209	1,6512
$\mu_{M_A^{GB}}, \sigma_{M_A^{GB}}$	-0,6153 1,1723	-9,9595 2,2188
$h_{1G,B}, h_{2G,B}$	-1,4024 -16,9664	0,2666 -9,0046
$g_{1G,B}, g_{2G,B}$	-0,2516 0,5353	-0,0907 1,4730
$L_{\text{corr}G,B}$	1,7586	1,7586
$f_1 \Delta M_A + f_2$	0,1099 4,2183	
$[p_{B,\min}; p_{B,\max}]$	[0,1; 0,9]	

2,2 ГГц/сельская лесистая местность/70°		
Информация	Усиление антенны < 5 дБи/измерения проводились с вертолета в типичном городе среднего размера во Франции и вблизи него	
Параметр	GOOD	BAD
$\mu_{G,B}, \sigma_{G,B}$	3,8768 1,4738	1,8445 0,8874
$dur_{\min G,B}$	16,0855	2,9629
$\mu_{M_A^{GB}}, \sigma_{M_A^{GB}}$	-0,7818 0,7044	-6,7769 2,1339
$h_{1G,B}, h_{2G,B}$	-2,9566 -20,0326	-0,3723 -14,9638
$g_{1G,B}, g_{2G,B}$	-0,2874 0,4050	-0,1822 0,1163
$L_{\text{corr}G,B}$	1,6546	1,6546
$f_1 \Delta M_A + f_2$	-0,3914 6,6931	
$[p_{B,\min}; p_{B,\max}]$	[0,1; 0,9]	

2.5 Жилая зона

2,2 ГГц/жилая зона/20°		
Информация	Усиление антенны < 5 дБи/измерения проводились с вертолета в типичном городе среднего размера во Франции и вблизи него	
Параметр	GOOD	BAD
$\mu_{G,B}, \sigma_{G,B}$	2,5818 1,7310	1,7136 1,1421
$dur_{\min G,B}$	9,2291	1,6385
$\mu_{M_{A^{GB}}}, \sigma_{M_{A^{GB}}}$	-0,8449 1,3050	-10,8315 2,2642
$h_{1G,B}, h_{2G,B}$	-0,3977 -12,3714	0,8589 -2,4054
$g_{1G,B}, g_{2G,B}$	0,0984 1,3138	-0,1804 0,8553
$L_{\text{corr}G,B}$	1,1578	1,1578
$f_1 \Delta M_A + f_2$	0,0994 2,4200	
$[p_{B,\min}; p_{B,\max}]$	[0,1; 0,9]	

2,2 ГГц/жилая зона/30°		
Информация	Усиление антенны < 5 дБи/измерения проводились с вертолета в типичном городе среднего размера во Франции и вблизи него	
Параметр	GOOD	BAD
$\mu_{G,B}, \sigma_{G,B}$	3,2810 1,4200	1,8414 0,9697
$dur_{\min G,B}$	14,4825	2,7681
$\mu_{M_{A^{GB}}}, \sigma_{M_{A^{GB}}}$	-1,3799 1,0010	-11,1669 2,4724
$h_{1G,B}, h_{2G,B}$	-0,8893 -16,4615	-0,1030 -13,7102
$g_{1G,B}, g_{2G,B}$	-0,2432 0,6519	-0,1025 1,7671
$L_{\text{corr}G,B}$	1,9053	1,9053
$f_1 \Delta M_A + f_2$	0,0196 3,9374	
$[p_{B,\min}; p_{B,\max}]$	[0,1; 0,9]	

2,2 ГГц/жилая зона/60°		
Информация	Усиление антенны < 5 дБи/измерения проводились с вертолета в типичном городе среднего размера во Франции и вблизи него	
Параметр	GOOD	BAD
$\mu_{G,B}, \sigma_{G,B}$	3,255 1,287	3,277 1,260
$dur_{\min G,B}$	6,47	7,81
$\mu_{M_{A^{GB}}}, \sigma_{M_{A^{GB}}}$	0 0,30	-2,32 2,06
$h_{1G,B}, h_{2G,B}$	-2,024 -19,454	-1,496 -22,894
$g_{1G,B}, g_{2G,B}$	0,273 0,403	-0,361 -0,119
$L_{\text{corr}G,B}$	3,84	3,84
$f_1 \Delta M_A + f_2$	-1,591 12,274	
$[p_{B,\min}; p_{B,\max}]$	[0,1; 0,9]	

2,2 ГГц/жилая зона/70°		
Информация	Усиление антенны < 5 дБи/измерения проводились с вертолета в типичном городе среднего размера во Франции и вблизи него	
Параметр	GOOD	BAD
$\mu_{G,B}, \sigma_{G,B}$	4,3291 0,7249	3,4534 0,9763
$dur_{\min G,B}$	27,3637	8,9481
$\mu_{M_{A^{GB}}}, \sigma_{M_{A^{GB}}}$	-0,1625 0,3249	-1,6084 0,5817
$h_{1G,B}, h_{2G,B}$	0,6321 -21,5594	-0,3976 -22,7905
$g_{1G,B}, g_{2G,B}$	0,1764 0,4135	-0,0796 0,1939
$L_{\text{corr}G,B}$	1,6854	1,6854
$f_1 \Delta M_A + f_2$	3,0127 6,2345	
$[p_{B,\min}; p_{B,\max}]$	[0,1; 0,9]	

3 Частоты в диапазоне 3–5 ГГц

3.1 Городские условия

3,8 ГГц/город/20°		
Информация	Усиление антенны < 5 дБи/измерения проводились с вертолета в типичном городе среднего размера во Франции и вблизи него	
Параметр	GOOD	BAD
$\mu_{G,B}, \sigma_{G,B}$	2,5467 1,0431	3,6890 0,9796
$dur_{\min G,B}$	5,2610	10,3114
$\mu_{M_{A^{GB}}}, \sigma_{M_{A^{GB}}}$	-2,7844 2,6841	-19,4022 3,2428
$h_{1G,B}, h_{2G,B}$	0,1757 -12,9417	0,9638 -0,9382
$g_{1G,B}, g_{2G,B}$	-0,2044 1,5866	0,0537 4,5670
$L_{\text{corr}G,B}$	1,4243	1,4243
$f_1 \Delta M_A + f_2$	0,1073 1,9199	
$[p_{B,\min}; p_{B,\max}]$	[0,1; 0,9]	

3,8 ГГц/город/30°		
Информация	Усиление антенны < 5 дБи/измерения проводились с вертолета в типичном городе среднего размера во Франции и вблизи него	
Параметр	GOOD	BAD
$\mu_{G,B}, \sigma_{G,B}$	2,0158 1,2348	2,2627 1,4901
$dur_{\min G,B}$	4,5491	2,0749
$\mu_{M_{A,GB}}, \sigma_{M_{A,GB}}$	-3,7749 2,2381	-17,9098 2,9828
$h_{1G,B}, h_{2G,B}$	-0,1564 -15,1531	0,8250 -2,5833
$g_{1G,B}, g_{2G,B}$	-0,0343 1,0602	-0,0741 2,1406
$L_{\text{corr}G,B}$	0,8999	0,8999
$f_1 \Delta M_A + f_2$	0,2707 -0,0287	
$[p_{B,\min}; p_{B,\max}]$	[0,1; 0,9]	

3,8 ГГц/город/45°		
Информация	Усиление антенны < 5 дБи/измерения проводились с вертолета в типичном городе среднего размера во Франции и вблизи него	
Параметр	GOOD	BAD
$\mu_{G,B}, \sigma_{G,B}$	2,3005 1,6960	2,6314 1,1210
$dur_{\min G,B}$	10,0	6,0
$\mu_{M_{A,GB}}, \sigma_{M_{A,GB}}$	-1,4466 1,1472	-15,3926 3,2527
$h_{1G,B}, h_{2G,B}$	0,1550 -13,6861	0,9509 -1,2462
$g_{1G,B}, g_{2G,B}$	0,1666 1,2558	0,0363 4,4356
$L_{\text{corr}G,B}$	1,6424	1,6424
$f_1 \Delta M_A + f_2$	0,2517 -0,3512	
$[p_{B,\min}; p_{B,\max}]$	[0,1; 0,9]	

3,8 ГГц/город/60°		
Информация	Усиление антенны < 5 дБи/измерения проводились с вертолета в типичном городе среднего размера во Франции и вблизи него	
Параметр	GOOD	BAD
$\mu_{G,B}, \sigma_{G,B}$	2,4546 1,9595	1,8892 0,8982
$dur_{\min G,B}$	10,0	1,9126
$\mu_{M_{A,GB}}, \sigma_{M_{A,GB}}$	-1,6655 0,8244	-14,4922 3,4941
$h_{1G,B}, h_{2G,B}$	-0,4887 -17,2505	0,4501 -9,6935
$g_{1G,B}, g_{2G,B}$	-0,3373 0,3285	0,1202 4,8329
$L_{\text{corr}G,B}$	2,3036	2,3036
$f_1 \Delta M_A + f_2$	0,0025 1,4949	
$[p_{B,\min}; p_{B,\max}]$	[0,1; 0,9]	

3,8 ГГц/город/70°		
Информация	Усиление антенны < 5 дБи/измерения проводились с вертолета в типичном городе среднего размера во Франции и вблизи него	
Параметр	GOOD	BAD
$\mu_{G,B}, \sigma_{G,B}$	2,8354 2,4631	1,5170 1,1057
$dur_{\min G,B}$	67,5721	3,6673
$\mu_{M_A^{GB}}, \sigma_{M_A^{GB}}$	-1,0455 0,2934	-14,2294 5,4444
$h_{1G,B}, h_{2G,B}$	-3,0973 -20,7862	0,0908 -15,8022
$g_{1G,B}, g_{2G,B}$	0,0808 0,8952	0,0065 3,1520
$L_{\text{corr}G,B}$	2,2062	2,2062
$f_1 \Delta M_A + f_2$	0,0755 2,1426	
$[p_{B,\min}; p_{B,\max}]$	[0,1; 0,9]	

3.2 Пригородная зона

3,8 ГГц/пригород/20°		
Информация	Усиление антенны < 5 дБи/измерения проводились с вертолета в типичном городе среднего размера во Франции и вблизи него	
Параметр	GOOD	BAD
$\mu_{G,B}, \sigma_{G,B}$	2,8194 1,6507	2,5873 1,3919
$dur_{\min G,B}$	11,1083	4,4393
$\mu_{M_A^{GB}}, \sigma_{M_A^{GB}}$	-4,8136 1,9133	-17,0970 2,9350
$h_{1G,B}, h_{2G,B}$	-0,4500 -17,9227	0,8991 -2,4082
$g_{1G,B}, g_{2G,B}$	-0,1763 0,8244	0,0582 4,0347
$L_{\text{corr}G,B}$	1,2571	1,2571
$f_1 \Delta M_A + f_2$	0,0727 2,8177	
$[p_{B,\min}; p_{B,\max}]$	[0,1; 0,9]	

3,8 ГГц/пригород/30°		
Информация	Усиление антенны < 5 дБи/измерения проводились с вертолета в типичном городе среднего размера во Франции и вблизи него	
Параметр	GOOD	BAD
$\mu_{G,B}, \sigma_{G,B}$	2,9226 1,3840	2,7375 0,6890
$dur_{\min G,B}$	6,7899	7,7356
$\mu_{M_A^{GB}}, \sigma_{M_A^{GB}}$	-1,9611 1,8460	-15,3022 2,9379
$h_{1G,B}, h_{2G,B}$	0,2329 -15,0063	0,5146 -8,9987
$g_{1G,B}, g_{2G,B}$	0,0334 1,3323	0,0880 4,4692
$L_{\text{corr}G,B}$	1,6156	1,6156
$f_1 \Delta M_A + f_2$	0,1281 2,3949	
$[p_{B,\min}; p_{B,\max}]$	[0,1; 0,9]	

3,8 ГГц/пригород/45°		
Информация	Усиление антенны < 5 дБи/измерения проводились с вертолета в типичном городе среднего размера во Франции и вблизи него	
Параметр	GOOD	BAD
$\mu_{G,B}, \sigma_{G,B}$	4,3019 0,8530	2,3715 1,3435
$dur_{\min G,B}$	36,1277	9,5511
$\mu_{M_A^{GB}}, \sigma_{M_A^{GB}}$	-1,2730 0,9286	-5,6373 2,9302
$h_{1G,B}, h_{2G,B}$	0,2050 -17,5670	-0,7188 -21,0513
$g_{1G,B}, g_{2G,B}$	0,0074 0,7490	-0,2896 -0,3951
$L_{\text{corr}G,B}$	1,1191	1,1191
$f_1 \Delta M_A + f_2$	-0,9586 10,8084	
$[p_{B,\min}; p_{B,\max}]$	[0,1; 0,9]	

3,8 ГГц/пригород/60°		
Информация	Усиление антенны < 5 дБи/измерения проводились с вертолета в типичном городе среднего размера во Франции и вблизи него	
Параметр	GOOD	BAD
$\mu_{G,B}, \sigma_{G,B}$	2,8958 1,7061	1,9128 0,6869
$dur_{\min G,B}$	13,9133	2,9398
$\mu_{M_A^{GB}}, \sigma_{M_A^{GB}}$	-1,1987 1,0492	-13,1811 2,6228
$h_{1G,B}, h_{2G,B}$	-1,6501 -18,9375	0,6911 -6,0721
$g_{1G,B}, g_{2G,B}$	-0,1369 0,4477	0,0598 3,7220
$L_{\text{corr}G,B}$	3,0619	3,0619
$f_1 \Delta M_A + f_2$	-0,0419 5,8920	
$[p_{B,\min}; p_{B,\max}]$	[0,1; 0,9]	

3,8 ГГц/пригород/70°		
Информация	Усиление антенны < 5 дБи/измерения проводились с вертолета в типичном городе среднего размера во Франции и вблизи него	
Параметр	GOOD	BAD
$\mu_{G,B}, \sigma_{G,B}$	4,1684 1,0766	1,4778 0,7033
$dur_{\min G,B}$	42,0185	1,8473
$\mu_{M_A^{GB}}, \sigma_{M_A^{GB}}$	0,1600 0,5082	-10,2225 1,8417
$h_{1G,B}, h_{2G,B}$	-3,4369 -18,1632	0,3934 -9,6284
$g_{1G,B}, g_{2G,B}$	-1,1144 0,9703	-0,1331 0,7223
$L_{\text{corr}G,B}$	2,5817	2,5817
$f_1 \Delta M_A + f_2$	-0,1129 4,0555	
$[p_{B,\min}; p_{B,\max}]$	[0,1; 0,9]	

3.3 Деревенская местность

3,8 ГГц/деревня/20°		
Информация	Усиление антенны < 5 дБи/измерения проводились с вертолета в типичном городе среднего размера во Франции и вблизи него	
Параметр	GOOD	BAD
$\mu_{G,B}, \sigma_{G,B}$	2,0262 1,2355	1,9451 1,4293
$dur_{\min G,B}$	2,2401	1,9624
$\mu_{M_A^{GB}}, \sigma_{M_A^{GB}}$	-3,1324 1,8929	-16,5697 4,0368
$h_{1G,B}, h_{2G,B}$	-0,4368 -15,1009	1,0921 1,6440
$g_{1G,B}, g_{2G,B}$	-0,0423 1,2532	-0,0325 2,4452
$L_{\text{corr}G,B}$	0,8380	0,8380
$f_1\Delta M_A + f_2$	0,0590 1,5623	
$[p_{B,\min}; p_{B,\max}]$	[0,1; 0,9]	

3,8 ГГц/деревня/30°		
Информация	Усиление антенны < 5 дБи/измерения проводились с вертолета в типичном городе среднего размера во Франции и вблизи него	
Параметр	GOOD	BAD
$\mu_{G,B}, \sigma_{G,B}$	2,4504 1,1061	1,7813 1,2802
$dur_{\min G,B}$	2,3941	2,1484
$\mu_{M_A^{GB}}, \sigma_{M_A^{GB}}$	-1,8384 1,7960	-15,4143 4,5579
$h_{1G,B}, h_{2G,B}$	-0,5582 -14,4416	0,8549 -2,2415
$g_{1G,B}, g_{2G,B}$	-0,4545 0,8188	-0,0761 1,6768
$L_{\text{corr}G,B}$	0,9268	0,9268
$f_1\Delta M_A + f_2$	-0,0330 2,7056	
$[p_{B,\min}; p_{B,\max}]$	[0,1; 0,9]	

3,8 ГГц/деревня/45°		
Информация	Усиление антенны < 5 дБи/измерения проводились с вертолета в типичном городе среднего размера во Франции и вблизи него	
Параметр	GOOD	BAD
$\mu_{G,B}, \sigma_{G,B}$	2,2910 1,4229	1,2738 1,1539
$dur_{\min G,B}$	2,8605	0,7797
$\mu_{M_A^{GB}}, \sigma_{M_A^{GB}}$	-0,0018 1,1193	-12,1063 2,9814
$h_{1G,B}, h_{2G,B}$	-1,2023 -14,0732	0,6537 -4,5948
$g_{1G,B}, g_{2G,B}$	-0,1033 0,9299	-0,0815 1,6693
$L_{\text{corr}G,B}$	0,9288	0,9288
$f_1\Delta M_A + f_2$	0,0002 1,9694	
$[p_{B,\min}; p_{B,\max}]$	[0,1; 0,9]	

3,8 ГГц/деревня/60°		
Информация	Усиление антенны < 5 дБи/измерения проводились с вертолета в типичном городе среднего размера во Франции и вблизи него	
Параметр	GOOD	BAD
$\mu_{G,B}, \sigma_{G,B}$	3,0956 1,3725	1,0920 1,2080
$dur_{\min G,B}$	8,1516	0,7934
$\mu_{M_A^{GB}}, \sigma_{M_A^{GB}}$	-0,5220 1,0950	-12,1817 3,3604
$h_{1G,B}, h_{2G,B}$	0,0831 -16,8546	1,1006 0,5381
$g_{1G,B}, g_{2G,B}$	0,0411 1,1482	-0,0098 2,4287
$L_{\text{corr}G,B}$	1,2251	1,2251
$f_1 \Delta M_A + f_2$	-0,0530 2,7165	
$[p_{B,\min}; p_{B,\max}]$	[0,1; 0,9]	

3,8 ГГц/деревня/70°		
Информация	Усиление антенны < 5 дБи/измерения проводились с вертолета в типичном городе среднего размера во Франции и вблизи него	
Параметр	GOOD	BAD
$\mu_{G,B}, \sigma_{G,B}$	3,9982 1,3320	1,4165 0,4685
$dur_{\min G,B}$	28,3220	2,5168
$\mu_{M_A^{GB}}, \sigma_{M_A^{GB}}$	-1,3403 0,7793	-11,9560 1,5654
$h_{1G,B}, h_{2G,B}$	-0,4861 -19,5316	0,5663 -6,8615
$g_{1G,B}, g_{2G,B}$	-0,2356 0,7178	-0,2903 -1,2715
$L_{\text{corr}G,B}$	1,4378	1,4378
$f_1 \Delta M_A + f_2$	-0,0983 3,9005	
$[p_{B,\min}; p_{B,\max}]$	[0,1; 0,9]	

3.4 Сельская лесистая местность

3,8 ГГц/сельская лесистая местность/20°		
Информация	Усиление антенны < 5 дБи/измерения проводились с вертолета в типичном городе среднего размера во Франции и вблизи него	
Параметр	GOOD	BAD
$\mu_{G,B}, \sigma_{G,B}$	2,0294 1,4280	2,0290 1,5493
$dur_{\min G,B}$	1,7836	1,5269
$\mu_{M_A^{GB}}, \sigma_{M_A^{GB}}$	-3,2536 1,6159	-14,3363 2,7753
$h_{1G,B}, h_{2G,B}$	-0,5718 -16,1382	0,8186 -2,9963
$g_{1G,B}, g_{2G,B}$	-0,0805 0,9430	-0,0822 1,7660
$L_{\text{corr}G,B}$	1,0863	1,0863
$f_1 \Delta M_A + f_2$	0,1263 1,4478	
$[p_{B,\min}; p_{B,\max}]$	[0,1; 0,9]	

3,8 ГГц/сельская лесистая местность/30°		
Информация	Усиление антенны < 5 дБи/измерения проводились с вертолета в типичном городе среднего размера во Франции и вблизи него	
Параметр	GOOD	BAD
$\mu_{G,B}, \sigma_{G,B}$	2,1218 1,4895	2,2051 1,5741
$dur_{\min G,B}$	2,4539	2,1289
$\mu_{M_{A}GB}, \sigma_{M_{A}GB}$	-1,5431 1,8811	-12,8884 3,0097
$h_{1G,B}, h_{2G,B}$	-0,7288 -14,1626	0,6635 -4,6034
$g_{1G,B}, g_{2G,B}$	-0,1241 0,9482	-0,0634 2,3898
$L_{\text{corr}G,B}$	1,3253	1,3253
$f_1\Delta M_A + f_2$	0,0849 1,6324	
$[p_{B,\min}; p_{B,\max}]$	[0,1; 0,9]	

3,8 ГГц/сельская лесистая местность/45°		
Информация	Усиление антенны < 5 дБи/измерения проводились с вертолета в типичном городе среднего размера во Франции и вблизи него	
Параметр	GOOD	BAD
$\mu_{G,B}, \sigma_{G,B}$	3,1803 1,3427	2,4017 1,1315
$dur_{\min G,B}$	6,7673	3,5668
$\mu_{M_{A}GB}, \sigma_{M_{A}GB}$	0,0428 1,6768	-11,3173 2,7467
$h_{1G,B}, h_{2G,B}$	-0,9948 -14,4265	0,2929 -9,7910
$g_{1G,B}, g_{2G,B}$	-0,1377 1,0077	-0,0387 2,6194
$L_{\text{corr}G,B}$	2,0419	2,0419
$f_1\Delta M_A + f_2$	0,1894 2,1378	
$[p_{B,\min}; p_{B,\max}]$	[0,1; 0,9]	

3,8 ГГц/сельская лесистая местность/60°		
Информация	Усиление антенны < 5 дБи/измерения проводились с вертолета в типичном городе среднего размера во Франции и вблизи него	
Параметр	GOOD	BAD
$\mu_{G,B}, \sigma_{G,B}$	2,4961 1,4379	2,2113 1,1254
$dur_{\min G,B}$	3,7229	1,9001
$\mu_{M_{A}GB}, \sigma_{M_{A}GB}$	-1,0828 1,0022	-12,3044 2,3641
$h_{1G,B}, h_{2G,B}$	-1,2973 -16,6791	0,5456 -6,4660
$g_{1G,B}, g_{2G,B}$	-0,1187 0,6254	-0,0443 2,3029
$L_{\text{corr}G,B}$	1,9038	1,9038
$f_1\Delta M_A + f_2$	0,1624 1,8417	
$[p_{B,\min}; p_{B,\max}]$	[0,1; 0,9]	

3,8 ГГц/сельская лесистая местность/70°		
Информация	Усиление антенны < 5 дБи/измерения проводились с вертолета в типичном городе среднего размера во Франции и вблизи него	
Параметр	GOOD	BAD
$\mu_{G,B}, \sigma_{G,B}$	2,8382 1,3804	2,1470 1,0038
$dur_{\min G,B}$	6,8051	1,9195
$\mu_{M_{A}GB}, \sigma_{M_{A}GB}$	-0,8923 0,9455	-11,5722 2,3437
$h_{1G,B}, h_{2G,B}$	-1,3425 -17,5636	0,3459 -9,5399
$g_{1G,B}, g_{2G,B}$	-0,1210 0,6444	-0,0275 2,6238
$L_{\text{corr}G,B}$	2,1466	2,1466
$f_1\Delta M_A + f_2$	0,0593 2,8854	
$[p_{B,\min}; p_{B,\max}]$	[0,1; 0,9]	

3.5 Жилая зона

3,8 ГГц/жилая зона/20°		
Информация	Усиление антенны < 5 дБи/измерения проводились с вертолета в типичном городе среднего размера во Франции и вблизи него	
Параметр	GOOD	BAD
$\mu_{G,B}, \sigma_{G,B}$	2,9050 1,7236	2,1969 0,9865
$dur_{\min G,B}$	10,7373	2,2901
$\mu_{M_{A}GB}, \sigma_{M_{A}GB}$	-1,4426 1,2989	-14,4036 3,0396
$h_{1G,B}, h_{2G,B}$	0,4875 -13,5981	0,5813 -6,9790
$g_{1G,B}, g_{2G,B}$	0,1343 1,8247	-0,0911 2,1475
$L_{\text{corr}G,B}$	1,2788	1,2788
$f_1\Delta M_A + f_2$	0,2334 0,7612	
$[p_{B,\min}; p_{B,\max}]$	[0,1; 0,9]	

3,8 ГГц/жилая зона/30°		
Информация	Усиление антенны < 5 дБи/измерения проводились с вертолета в типичном городе среднего размера во Франции и вблизи него	
Параметр	GOOD	BAD
$\mu_{G,B}, \sigma_{G,B}$	2,7334 1,6971	1,8403 0,9268
$dur_{\min G,B}$	10,2996	1,8073
$\mu_{M_{A}GB}, \sigma_{M_{A}GB}$	-0,9996 1,0752	-12,9855 2,8149
$h_{1G,B}, h_{2G,B}$	0,3407 -14,8465	0,3553 -9,9284
$g_{1G,B}, g_{2G,B}$	-0,0413 1,2006	0,0501 3,8667
$L_{\text{corr}G,B}$	1,7072	1,7072
$f_1\Delta M_A + f_2$	0,0443 2,2591	
$[p_{B,\min}; p_{B,\max}]$	[0,1; 0,9]	

3,8 ГГц/жилая зона/60°		
Информация	Усиление антенны < 5 дБи/измерения проводились с вертолета в типичном городе среднего размера во Франции и вблизи него	
Параметр	GOOD	BAD
$\mu_{G,B}, \sigma_{G,B}$	3,4044 1,3980	2,5534 1,7143
$dur_{\min G,B}$	10,4862	4,7289
$\mu_{M_A GB}, \sigma_{M_A GB}$	0,4640 0,7060	-2,3787 0,8123
$h_{1G,B}, h_{2G,B}$	0,3710 -19,6032	-2,3834 -24,6987
$g_{1G,B}, g_{2G,B}$	0,0332 0,5053	0,0172 0,7237
$L_{\text{corr}G,B}$	1,8017	1,8017
$f_1 \Delta M_A + f_2$	3,1149 3,5721	
$[p_{B,\min}; p_{B,\max}]$	[0,1; 0,9]	

3,8 ГГц/жилая зона/70°		
Информация	Усиление антенны < 5 дБи/измерения проводились с вертолета в типичном городе среднего размера во Франции и вблизи него	
Параметр	GOOD	BAD
$\mu_{G,B}, \sigma_{G,B}$	2,9223 1,0267	2,5188 1,3166
$dur_{\min G,B}$	7,3764	7,2801
$\mu_{M_A GB}, \sigma_{M_A GB}$	-0,1628 0,5104	-2,3703 1,5998
$h_{1G,B}, h_{2G,B}$	0,1590 -20,4767	-1,0228 -22,4769
$g_{1G,B}, g_{2G,B}$	0,1137 0,4579	-0,0986 0,2879
$L_{\text{corr}G,B}$	1,3531	1,3531
$f_1 \Delta M_A + f_2$	-0,0538 5,1204	
$[p_{B,\min}; p_{B,\max}]$	[0,1; 0,9]	

4 Частоты в диапазоне 10–20 ГГц

4.1 Условия сельской местности

11,7 ГГц/сельская местность/34°		
Информация	Усиление антенны = 19 дБи/измерения проводились со спутника в типичном крупном городе Германии	
Параметр	GOOD	BAD
$\mu_{G,B}, \sigma_{G,B}$	1,7663 1,9350	-0,4722 1,7232
$dur_{\min G,B}$	0,9	0,8
$\mu_{M_A GB}, \sigma_{M_A GB}$	0,05 0	-16 10,4
$h_{1G,B}, h_{2G,B}$	0 -40,25	0,87 -14,26
$g_{1G,B}, g_{2G,B}$	0 0,39	-0,21 0
$L_{\text{corr}G,B}$	0,5	0,5
$f_1 \Delta M_A + f_2$	0,088 1,21	
$[p_{B,\min}; p_{B,\max}]$	[0,1; 0,9]	

4.2 Пригородная зона

11,7 ГГц/пригород/34°		
Информация	Усиление антенны = 19 дБи/измерения проводились со спутника в типичном крупном городе Германии	
Параметр	GOOD	BAD
$\mu_{G,B}, \sigma_{G,B}$	1,0125 1,6944	-0,8026 1,288
$dur_{\min G,B}$	1,5	1,1
$\mu_{M_{A^{GB}}}, \sigma_{M_{A^{GB}}}$	-0,02 0	-5,4 7,3
$h_{1G,B}, h_{2G,B}$	0 -38,17	0,69 -15,97
$g_{1G,B}, g_{2G,B}$	0 0,39	-0,21 0
$L_{\text{corr}G,B}$	0,5	0,5
$f_1 \Delta M_A + f_2$	0,036 0,80	
$[p_{B,\min}; p_{B,\max}]$	[0,1; 0,6]	