

МСЭ-R
Сектор радиосвязи МСЭ

Рекомендация МСЭ-R P.1816-4
(08/2019)

**Прогнозирование пространственно-
временного профиля для
широкополосных сухопутных
подвижных служб с использованием
диапазонов УВЧ и СВЧ**

Серия Р
Распространение радиоволн



Предисловие

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

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

Политика в области прав интеллектуальной собственности (ПИС)

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

Серии Рекомендаций МСЭ-R

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

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

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

Электронная публикация
Женева, 2020 г.

© ITU 2020

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.1816-4

Прогнозирование пространственно-временного профиля для широкополосных сухопутных подвижных служб с использованием диапазонов УВЧ и СВЧ

(Вопрос МСЭ-R 211/3)

(2007-2012-2013-2015-2019)

Сфера применения

Цель настоящей Рекомендации – предоставить руководство по прогнозированию пространственно-временного профиля для широкополосных сухопутных подвижных служб с использованием диапазона частот от 0,7 до 9 ГГц для расстояний 0,5–3 км для условий вне прямой видимости (NLoS) и 0,05–3 км для условий прямой видимости (LoS) как в условиях города, так и пригорода.

Ключевые слова

Характеристики многолучевого распространения, разброс задержек, количество лучей, амплитуда, разница в длине трасс (задержка) и угол прихода

Ассамблея радиосвязи МСЭ,

учитывая,

- a) что существует потребность в руководстве для инженеров по планированию широкополосных подвижных служб в диапазонах УВЧ и СВЧ;
- b) что знание пространственно-временного профиля может быть важно при оценке влияния многолучевого распространения;
- c) что моделирование пространственно-временного профиля можно наилучшим образом осуществить посредством учета условий распространения, таких как высота зданий, высота антенны, расстояние между базовой станцией и подвижной станцией и полоса пропускания приемника,

отмечая,

- a) что методы Рекомендации МСЭ-R P.1546 рекомендуется использовать для прогнозирования напряженности поля на трассах пункт-зона для радиовещательной, сухопутной подвижной, морской и некоторых фиксированных служб в диапазоне частот от 30 до 3000 МГц и для диапазона расстояний от 1 до 1000 км;
- b) что методы Рекомендации МСЭ-R P.1411 рекомендуется использовать при проведении оценки характеристик распространения для наружных систем малой дальности (до 1 км) в диапазоне частот между 300 МГц и 100 ГГц;
- c) что методы Рекомендации МСЭ-R P.1411 рекомендуется использовать при проведении оценки усредненной формы профиля задержки в случае работы на линиях прямой видимости (LoS) в условиях многоэтажной городской застройки для структуры микроячеек и пикоячеек;
- d) что методы Рекомендации МСЭ-R P.1407 рекомендуется использовать для точного определения терминологии многолучевости, а также для вычислений разброса задержек и разброса углов прихода посредством использования профиля задержек и профиля углов прихода, соответственно;
- e) что методы Рекомендации МСЭ-R M.1225 рекомендуется использовать для оценки эксплуатационных характеристик системы IMT-2000, которые испытывают воздействие из-за многолучевого распространения сигналов,

рекомендует,

1 чтобы при проведении оценки долгосрочных профилей групповой задержки и задержки мощности для широкополосных подвижных служб в городских и пригородных районах в диапазонах УВЧ и СВЧ использовалось содержание Приложения 1;

2 чтобы при проведении оценки долгосрочного углового профиля прихода мощности на базовой станции (БС) для широкополосных подвижных служб в городских и пригородных районах в диапазонах УВЧ и СВЧ использовалось содержание Приложения 2;

3 чтобы при проведении оценки долгосрочного углового профиля прихода мощности на подвижной станции (ПС) для широкополосных подвижных служб в городских и пригородных районах в диапазонах УВЧ и СВЧ использовалось содержание Приложения 3.

ПРИМЕЧАНИЕ. – Исследования совместного использования частот, проводимые МСЭ-R в рамках различных пунктов повестки дня ВКР-19, основывались на тексте настоящей Рекомендации, которая действовала на момент проведения этой деятельности или на момент времени, когда эта деятельность была завершена.

Приложение 1

1 Введение

Важное значение профиля задержки отмечается в Рекомендации МСЭ-R P.1407 следующим образом.

Характеристики многолучевого распространения – это основной фактор в вопросе управления качеством цифровой подвижной связи. С физической точки зрения, в характеристики многолучевого распространения входят количество лучей, амплитуда, разница в длине трасс (задержка) и угол прихода волны. Их можно описать передаточной функцией трассы распространения (амплитудно-частотные характеристики) и шириной полосы корреляции.

Как указывалось ранее, основополагающим параметром для оценки характеристик многолучевости является профиль задержки. После того как профиль будет смоделирован, его можно использовать для вывода параметров многолучевости, таких как разброс задержек и ширина полосы корреляции частоты.

На форму профиля оказывают влияние параметры распространения, связанные с условиями трассы прохождения волн. Профиль создается многократными волнами, имеющими различные амплитуды и разное время запаздывания. Известно, что волны со значительным запаздыванием имеют небольшую амплитуду вследствие распространения вдоль протяженной трассы. Усредненный профиль задержки (долгосрочный профиль задержки) может быть аппроксимирован в виде экспоненциальной функции или функции мощности, как показано в предшествующих работах.

Число и период приходящих волн в составе профиля задержки зависят от ширины полосы приема, поскольку разрешающая способность по времени ограничивается полосой пропускания приемника. Для того чтобы оценить профиль задержки, необходимо учитывать ограничение ширины полосы частот. Это ограничение тесно связано с методом, используемым для разделения принимаемой в многократных волнах мощности.

Для учета полосы пропускания или разрешающей способности по трассе, профиль задержек, состоящий из отдельных лучей, определяется как профиль задержки лучей.

В Рекомендации МСЭ-R P.1407 различные профили задержки и их методы обработки определяются, как показано на рисунке 1.

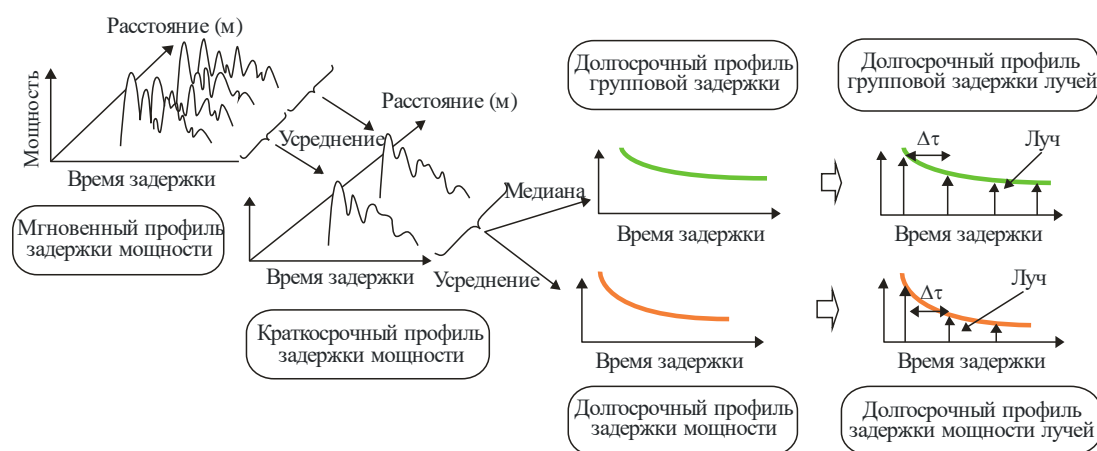
Мгновенный профиль задержки мощности – это одномоментная плотность мощности импульсного отклика в одной точке. Краткосрочные профили задержки мощности получаются путем пространственного усреднения мгновенных профилей задержки мощности на интервалах, равных нескольким десяткам длин волн для устранения изменений из-за быстрых замираний; долгосрочные

профили задержки мощности получают путем пространственного усреднения краткосрочных профилей задержки мощности приблизительно на том же расстоянии от базовой станции (БС), чтобы устранить изменения, вызванные затенением.

Что касается долгосрочного профиля задержки, то могут быть определены два разных профиля. Один – профиль групповой задержки – основан на медианном значении каждого профиля задержки; он иллюстрирует форму профиля в рассматриваемой зоне, как показано на рисунке 1. Второй – это профиль задержки мощности, основанный на среднем значении мощности каждого профиля задержки.

Кроме того, что касается долгосрочных групповых профилей и профилей мощности задержки, профили задержки луча, состоящие из отдельных лучей, также определяются, с тем чтобы получить изменение числа лучей с разрешением по лучу, которое зависит от ширины полосы частот.

РИСУНОК 1
Профили задержки



P.1816-01

2 Параметры

- τ : дополнительная задержка по времени (мкс);
- i : дополнительная задержка по времени, нормированная с учетом временного разрешения $1/B$ и $i = 0, 1, 2, \dots$ (здесь $i = 0$ означает первый прибывающий луч без дополнительной задержки по времени, а $i = k$ означает дополнительную задержку по времени k/B (мкс));
- $\langle H \rangle$: средняя высота здания (5–50 м: высота над уровнем земли подвижной станции) (м);
- h_b : высота антенны базовой станции (5–150 м: высота над уровнем земли подвижной станции) (м);
- d : расстояние от базовой станции (0,5–3 км для условий NLoS; 0,05–3 км для условий LoS) (км);
- W : ширина улицы (5–50 м) (м);
- B : частота следования чипов (0,5–50 Мчип/с) (Мчип/с) (занимаемая ширина полосы может быть преобразована из частоты следования чипов B и применения фильтра полосы групповых частот);
- f : несущая частота (0,7–9 ГГц) (ГГц);
- $\langle R \rangle$: средний коэффициент отражения энергии боковой стены здания (<1);
- γ_{dB} : постоянное значение (от –16 дБ до –12 дБ) (дБ);
- γ : $10^{\gamma_{dB}/10}$;

ΔL : разность уровней между пиковой мощностью луча и мощностью отсечки (дБ).

3 Долгосрочный профиль задержки для условий NLoS в городских и пригородных зонах

3.1 Профиль групповой задержки лучей, нормированный по мощности первого прибывающего луча

Профиль групповой задержки лучей $PDP_{NLoS,env}(i, d)$, деленный на временное разрешение $1/B$, нормированный по мощности первого прибывающего луча на расстоянии d , определяется следующим образом:

$$PDP_{NLoS,env}(i, d) = 10^{PDP_{dB}(i,d)/10}, \quad (1)$$

где:

$$PDP_{dB}(i, d) = a(i) \cdot PDP_{high}(i, d) \quad (\text{дБ}) \quad (2)$$

$$PDP_{high}(i, d) = -\{19,1 + 9,68 \log(h_b / \langle H \rangle)\} B^{\{-0,36 + 0,12 \log(h_b / \langle H \rangle)\}} d^{\{-0,38 + 0,21 \log(B)\}} \log(1+i) \quad (\text{дБ}) \quad (2-1)$$

$$a(i) = \left(0,4 + (1 - 0,4) \exp\left[-0,2 \left(\langle H \rangle / h_b\right)^4\right] + \left(\left(\langle H \rangle / h_b\right) \left(1 - \exp\left[-0,4 \left(\langle H \rangle / h_b\right)^2\right]\right)\right) (i/B) \quad (2-2)$$

Профиль групповой задержки $PDP_{NLoS,env}(\tau, d)$ с непрерывной дополнительной задержкой по времени, нормированный по мощности первого прибывающего луча на расстоянии d , определяется следующим образом:

$$PDP_{NLoS,env}(\tau, d) = PDP_{NLoS,env}(B\tau, d). \quad (3)$$

При выводе уравнения (3) используется отношение ($\tau = i/B \Rightarrow i = B\tau$).

3.2 Профиль задержки мощности, нормированный по мощности первого прибывающего луча

Профиль задержки мощности, $PDP_{NLoS,pow}(i, d)$, деленный на временное разрешение $1/B$, нормированный по мощности первого прибывающего луча на расстоянии d , определяется следующим образом:

$$PDP_{NLoS,pow}(i, d) = c(i) \cdot 10^{PDP_{dB}(i,d)/10}, \quad (4)$$

где:

$$c(i) = \begin{cases} 1 & (i = 0) \\ \min\left(0,63, \left\{0,59 e^{-0,0172B} + (0,0172 + 0,0004B) \langle H \rangle\right\} e^{\{(0,077 - 0,00096B) - (0,0014 - 0,000018B) \langle H \rangle\} i}\right) & (i \geq 0) \end{cases} \quad (5)$$

Здесь функция $\min(x, y)$ выбирает минимальное значение x и y .

Профиль задержки мощности $PDP_{NLoS,pow}(\tau, d)$ с непрерывной дополнительной задержкой по времени, нормированной по мощности первого прибывающего луча на расстоянии d , определяется следующим образом:

$$PDP_{NLoS,pow}(\tau, d) = PDP_{NLoS,pow}(B\tau, d). \quad (6)$$

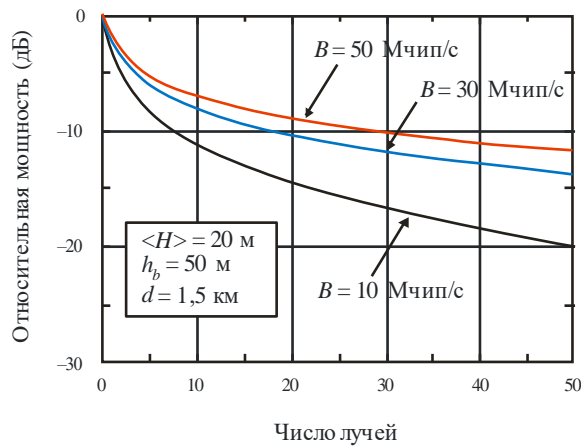
3.3 Примеры

3.3.1 Профиль групповой задержки, нормированный по мощности первого прибывающего луча

На рисунке 2 показан профиль групповой задержки луча $PDP_{NLoS,env}(i, d)$ при высоте h_b антенны базовой станции, расстоянии d от базовой станции и средней высоте здания $\langle H \rangle$, которые составляют 50 м, 1,5 км и 20 м, соответственно, где параметром является частота следования чипов B .

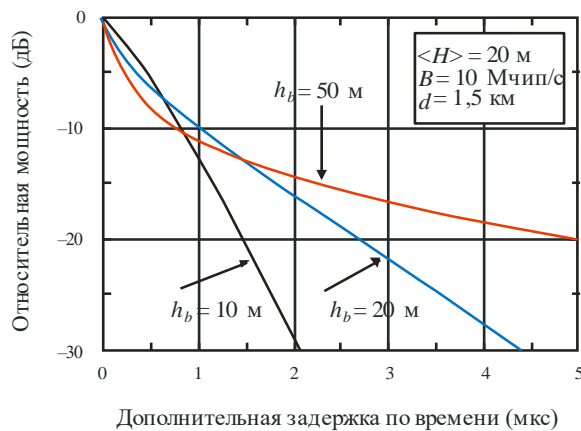
На рисунке 3 показан профиль групповой задержки $PDP_{NLoS,env}(\tau, d)$ при средней высоте здания $\langle H \rangle$, расстоянии d от базовой станции и частоте следования чипов B , которые составляют 20 м, 1,5 км и 10 Мчип/с, соответственно, где параметром является высота антенны базовой станции h_b .

РИСУНОК 2
Профиль групповой задержки лучей $PDP_{NLoS,env}(i, d)$
для условий NLoS



P.1816-02

РИСУНОК 3
Профиль групповой задержки $PDP_{NLoS,env}(\tau, d)$
для условий NLoS



P.1816-03

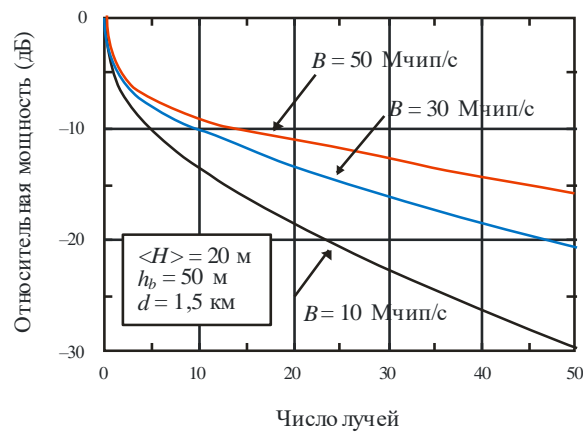
3.3.2 Профиль задержки мощности, нормированный по мощности первого прибывающего луча

Если высота h_b антенны базовой станции, расстояние d от базовой станции и средняя высота здания $\langle H \rangle$ составляют 50 м, 1,5 км и 20 м, соответственно, то профиль задержки мощности луча $PDP_{NLoS, pow}(i, d)$ показан на рисунке 4, где параметром является частота следования чипов B .

Если средняя высота здания $\langle H \rangle$, расстояние d от базовой станции и частота следования чипов B составляют 20 м, 1,5 км и 10 Мчип/с, соответственно, то профиль задержки мощности $PDP_{NLoS, pow}(\tau, d)$ показан на рисунке 5, где параметром является высота антенны базовой станции, h_b .

РИСУНОК 4

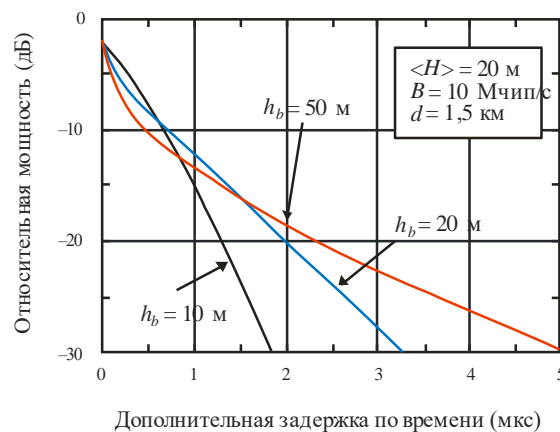
Профиль задержки мощности луча $PDP_{NLoS, pow}(i, d)$
для условий NLoS



P.1816-04

РИСУНОК 5

Профиль задержки мощности $PDP_{NLoS, pow}(\tau, d)$
для условий NLoS

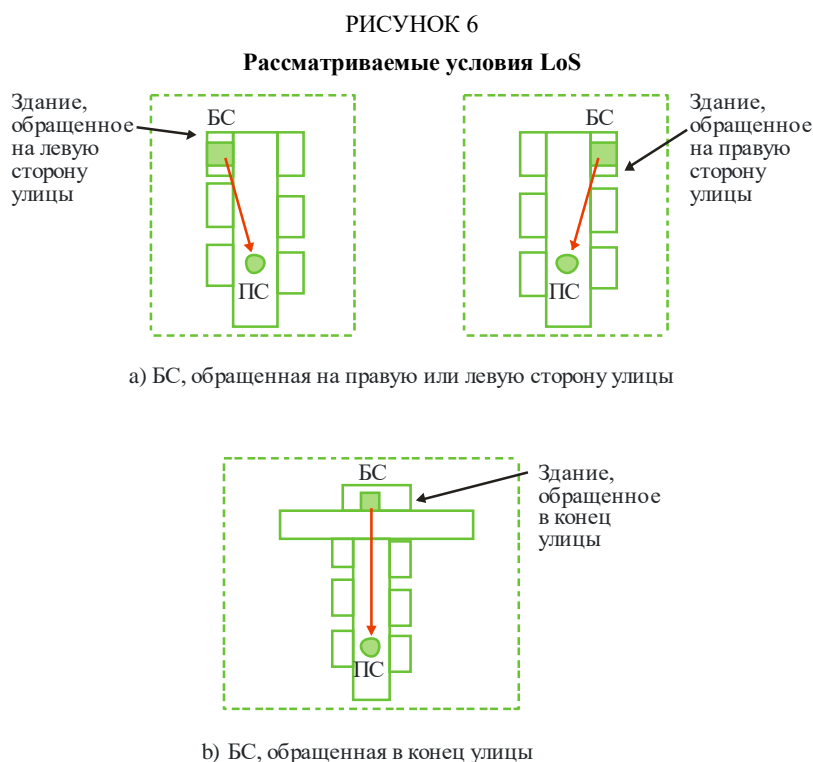


P.1816-05

4 Долгосрочный профиль задержки для условий LoS в городских и пригородных зонах

4.1 Рассматриваемые условия LoS

На рисунке 6 представлены рассматриваемые условия LoS. На рисунке 6а) БС расположена в верхней точке здания, обращенного на левую или правую сторону улицы, ПС находится в середине улицы, и БС может непосредственно наблюдать ПС. На рисунке 6б) БС расположена примерно в центральной части крыши здания, обращенного в конец улицы, а ПС находится в середине улицы.



P.1816-06

4.2 Профиль групповой задержки, нормированный по мощности первого прибывающего луча

Профиль групповой задержки $PDP_{LoS,env}(\tau, d)$, нормированный по мощности первого прибывающего луча на расстоянии d , определяется следующим образом:

а) БС, обращенная на правую или левую сторону улицы,

$$PDP_{LoS,env}(\tau, d) = \langle R \rangle \left(\frac{\sqrt{1+8(1000d)(300\tau)/W^2-1}}{2} \right) + \gamma \cdot PDP_{NLoS,env}(\tau, d); \quad (7-1)$$

б) БС, обращенная в конец улицы,

$$PDP_{LoS,env}(\tau, d) = \langle R \rangle \sqrt{2(1000d)(300\tau)/W^2} \cdot \left(2 - e^{-5.2(1000d)(300\tau)/W^2} \right) + \gamma \cdot PDP_{NLoS,env}(\tau, d) \quad (7-2)$$

$$\approx \langle R \rangle \left(\frac{\sqrt{1+8(1000d)(300\tau)/W^2-1}}{2} \right) + \gamma \cdot PDP_{NLoS,env}(\tau, d).$$

Здесь $PDP_{NLoS,env}(\tau, d)$ – профиль групповой задержки для условий NLoS, определяемый уравнением (3), нормирован по мощности первого прибывающего луча на расстоянии d . γ – постоянное значение, равное от -12 дБ до -16 дБ в зависимости от городской структуры. $\langle R \rangle$ – средний коэффициент отражения энергии боковой стены здания, имеет постоянное значение от 0,1 до 0,5.

Рекомендуется, чтобы для городских зон, где средняя высота зданий $\langle H \rangle$ превышает 20 м, значения γ и $\langle R \rangle$ составляли -15 дБ и 0,3 (-5 дБ), соответственно.

4.3 Профиль задержки мощности, нормированный по мощности первого прибывающего луча

Профиль задержки мощности, $PDP_{LoS,env}(\tau, d)$, нормированный по мощности первого прибывающего луча на расстоянии d , определяется следующим образом:

а) БС, обращенная на правую или левую сторону улицы,

$$PDP_{LoS,pow}(\tau, d) = \langle R \rangle \left(\frac{\sqrt{1+8(1000d)(300\tau)/W^2}-1}{2} \right) + \gamma \cdot PDP_{NLoS,pow}(\tau, d); \quad (8-1)$$

б) БС, обращенная в конец улицы,

$$\begin{aligned} PDP_{LoS,pow}(\tau, d) &= \langle R \rangle^{\sqrt{2(1000d)(300\tau)/W^2}} \cdot \left(2 - e^{-5 \cdot 2(1000d)(300\tau)/W^2} \right) + \gamma \cdot PDP_{NLoS,pow}(\tau, d) \\ &\approx \langle R \rangle \left(\frac{\sqrt{1+8(1000d)(300\tau)/W^2}-1}{2} \right) + \gamma \cdot PDP_{NLoS,pow}(\tau, d). \end{aligned} \quad (8-2)$$

Здесь $PDP_{NLoS,pow}(\tau, d)$ – профиль задержки мощности для условий NLoS, определяемый уравнением (6), нормирован по мощности первого прибывающего луча на расстоянии d . γ – постоянное значение, равное от -12 дБ до -16 дБ в зависимости от городской структуры. $\langle R \rangle$ – средний коэффициент отражения энергии боковой стены здания.

Рекомендуется, чтобы для городских зон, где средняя высота зданий $\langle H \rangle$ превышает 20 м, значения γ и $\langle R \rangle$ составляли -15 дБ и 0,3 (-5 дБ), соответственно.

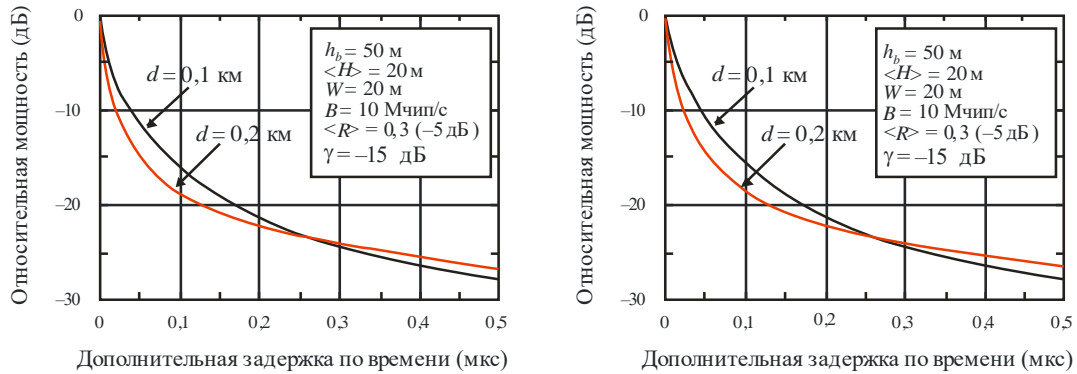
4.4 Примеры

4.4.1 Профиль групповой задержки, нормированный по мощности первого прибывающего луча

При высоте h_b антенны базовой станции h_b , средней высоте здания $\langle H \rangle$, частоте следования чипов B , γ и $\langle R \rangle$, которые составляют 50 м, 20 м, 10 Мчип/с, -15 дБ и 0,3 (-5 дБ), соответственно, профиль групповой задержки $PDP_{LoS,env}(\tau, d)$ соответствует показанному на рисунке 7, где параметром является расстояние d от базовой станции.

РИСУНОК 7

Профиль групповой задержки $PDP_{LoS,env}(\tau, d)$
для условий LoS



а) БС, обращенная на правую или левую сторону улицы

б) БС, обращенная в конец улицы

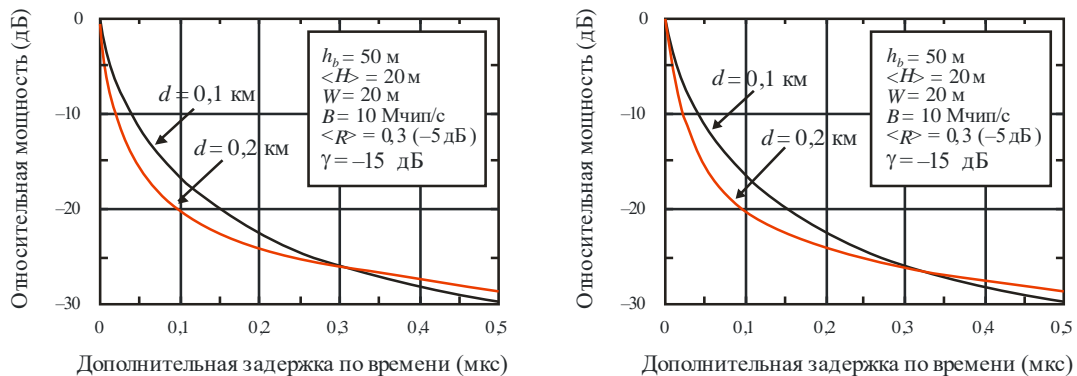
P.1816-07

4.4.2 Профиль задержки мощности, нормированный по мощности первого прибывающего луча

Если высота h_b антенны базовой станции, средняя высота здания $\langle H \rangle$, частота следования чипов B , γ и $\langle R \rangle$ составляют 50 м, 20 м, 10 Мчип/с, -15 дБ и $0,3$ (-5 дБ), соответственно, профиль задержки мощности $PDP_{LoS,pow}(\tau, d)$ соответствует показанному на рисунке 8, где параметром является расстояние d от базовой станции.

РИСУНОК 8

Профиль задержки мощности $PDP_{LoS,pow}(\tau, d)$
для условий LoS



а) БС, обращенная на правую или левую сторону улицы

б) БС, обращенная в конец улицы

P.1816-08

Приложение 2

1 Введение

Важное значение профиля углов прихода отмечается в Рекомендации МСЭ-R P.1407 следующим образом.

Характеристики многолучевого распространения – это основной фактор в вопросе управления качеством цифровой подвижной связи. С физической точки зрения, в характеристики многолучевого распространения входят количество лучей, амплитуда, разница в длине трасс (задержка) и угол прихода волны. Их можно описать передаточной функцией трассы распространения (амплитудно-частотные характеристики) и шириной полосы корреляции.

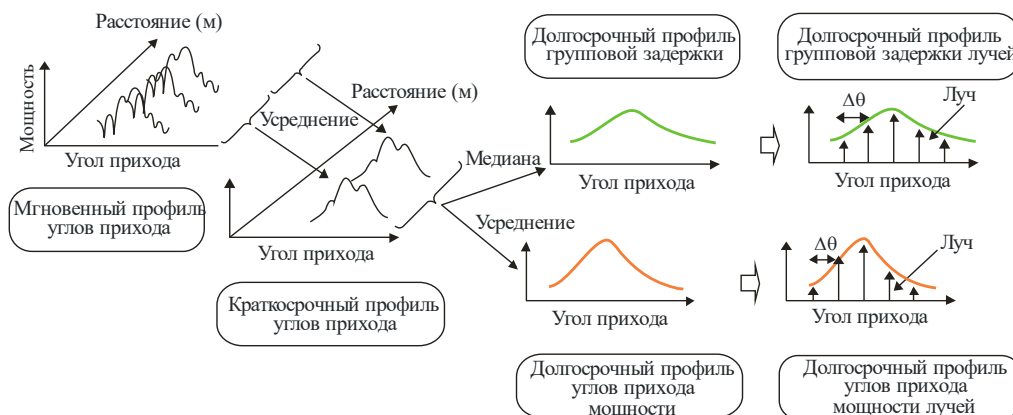
Как указывалось ранее, основополагающим параметром для оценки характеристик многолучевости является профиля углов прихода. После того как профиль будет смоделирован, его можно использовать для вывода параметров многолучевости, таких как разброс углов прихода и расстояние пространственной корреляции.

На форму профиля оказывают влияние параметры распространения, связанные с условиями на трассе прохождения волн. Профиль создается многократными волнами, имеющими различные амплитуды и разный угол прихода. Известно, что волны с большими углами прихода имеют малые амплитуды вследствие прохождения вдоль протяженной трассы. В предыдущих работах усредненный профиль углов прихода (долгосрочный профиль углов прихода) на базовой станции (БС) приближенно выражен в виде функций Гаусса или Лапласа (экспоненциальные с обеих сторон).

В Рекомендации МСЭ-R P.1407 определяются различные профили углов прихода и методы их обработки. Профиль углов прихода на БС определяется согласно рисунку 9 со ссылкой на Рекомендацию МСЭ-T P.1407. Мгновенные профили углов прихода мощности – это одномоментная плотность мощности импульсного отклика относительно угла прихода в одной точке. Краткосрочный профиль углов прихода мощности получается путем пространственного усреднения мгновенных профилей углов прихода мощности на интервалах, равных нескольким десяткам длин волн для устранения изменений из-за быстрых замираний; долгосрочный профиль углов прихода мощности получается путем пространственного усреднения краткосрочных профилей углов прихода мощности приблизительно на том же расстоянии от БС, чтобы устранить изменения, вызванные затенением.

РИСУНОК 9

Профили углов прихода на БС



2 Параметры

- h_b : высота антенны базовой станции (5–150 м: высота над уровнем земли подвижной станции) (м);
- $\langle H \rangle$: средняя высота здания (5–50 м: высота над уровнем земли подвижной станции) (м);
- d : расстояние от базовой станции (0,5–3 км для условий NLoS; 0,05–3 км для условий LoS) (км);
- W : ширина улицы (5–50 м) (м);
- B : частота следования чипов (0,5–50 Мчип/с) (Мчип/с) (занимаемая ширина полосы может быть преобразована из частоты следования чипов B и применения фильтра полосы групповых частот);
- f : несущая частота (0,7–9 ГГц) (ГГц);
- $\langle R \rangle$: средний коэффициент отражения энергии боковой стены здания (<1);
- γ_{dB} : постоянное значение (от –16 дБ до –12 дБ) (дБ);
- γ : $10^{\gamma_{dB}/10}$;
- ΔL : разность уровней между пиковой мощностью луча и мощностью отсечки (дБ).

3 Долгосрочный профиль азимутальных углов прихода на БС для условий NLoS в городских и пригородных зонах

3.1 Профиль углов прихода на БС, нормированный по мощности максимального луча

Профиль азимутальных углов прихода мощности на БС, $AOD_{NLoS,pow}(\Delta\theta, d)$, нормированный по мощности максимального луча на расстоянии d , определяется следующим образом:

$$AOD_{NLoS,pow}(\Delta\theta, d) = \left(1 + \frac{|\Delta\theta|}{a(d)}\right)^{-\beta(d)}, \quad (9)$$

где:

$$a(d) = -0,2d + 2,1 \left\{ \left(\frac{\langle H \rangle}{h_b} \right)^{0,23} \right\} \quad (10)$$

$$\beta(d) = (-0,015 \langle H \rangle + 0,63)d - 0,16 + 0,76 \log(h_b).$$

Максимальный азимутальный угол прихода на БС, a_M (градусы), представляется как:

$$a_M = -\zeta \cdot d + \eta, \quad (11)$$

ζ и η – это постоянные, которые представляются как функции высоты антенны базовой станции, h_b , и средней высоты здания, $\langle H \rangle$, и порогового уровня ΔL (дБ) следующим образом:

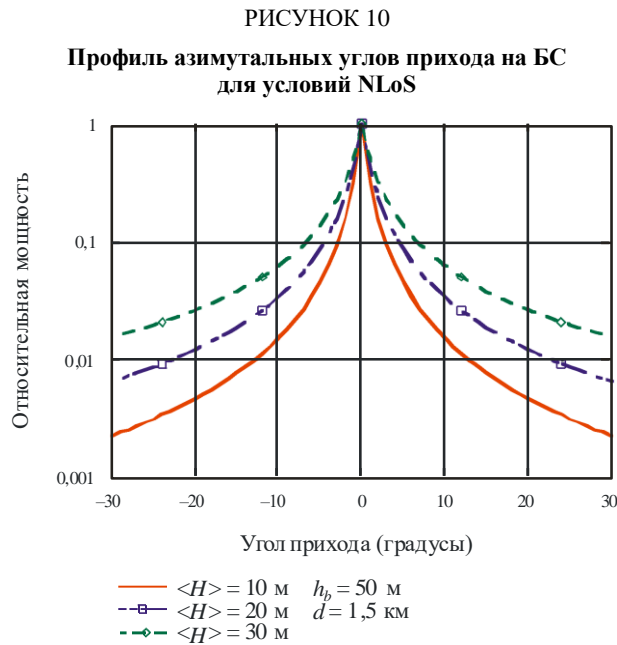
$$\zeta = \begin{cases} (-7,67 + 0,98\Delta L) \cdot \exp\left(\frac{\langle H \rangle}{h_b} \cdot (2,66 - 0,18\Delta L)\right) & (\Delta L \leq 15) \\ 7 & (\Delta L > 15) \end{cases} \quad (12)$$

$$\eta = (-35,8 + 41,1 \log(\Delta L)) \cdot \exp\left(\frac{\langle H \rangle}{h_b} \cdot (1,76 - 0,034\Delta L)\right)$$

По результатам эмпирических исследований для несущих частот между 0,7 ГГц и 9 ГГц применяется уравнение (9).

3.2 Пример

На рисунке 10 показан профиль азимутального угла прихода мощности на БС $AOD_{NLoS,pow}(\Delta\theta, d)$ для условий NLoS при высоте h_b антенны базовой станции и расстоянии d от базовой станции, которые составляют 50 м и 1,5 км, соответственно, где параметром является средняя высота здания $\langle H \rangle$.



P.1816-10

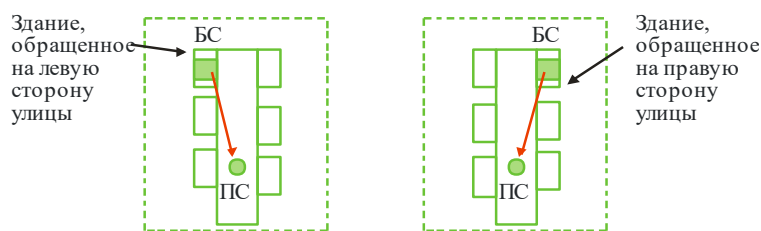
4 Долгосрочный профиль азимутальных углов прихода на БС для условий LoS в городских и пригородных зонах

4.1 Рассматриваемые условия LoS

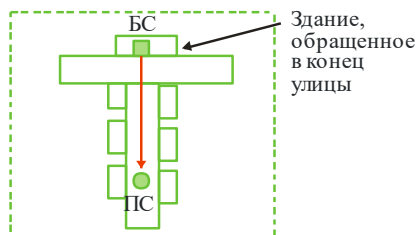
На рисунке 11 представлены рассматриваемые условия LoS. На рисунке 11а) БС расположена в верхней точке здания, обращенного на левую или правую сторону улицы, ПС находится в середине улицы, и имеется прямая видимость с БС на ПС. На рисунке 11б) БС расположена примерно в центральной части крыши здания, обращенного в конец улицы, а ПС находится в середине улицы.

РИСУНОК 11

Рассматриваемые условия LoS



а) БС, обращенная на правую или левую сторону улицы



б) БС, обращенная в конец улицы

P.1816-11

4.2 Профиль углов прихода на БС, нормированный по мощности максимального луча

Профиль азимутальных углов прихода на БС, $AOD_{LoS,pow}(\Delta\theta, d)$, нормированный по мощности максимального луча на расстоянии d , определяется следующим образом:

а) БС, обращенная на правую или левую сторону улицы,

i) БС, обращенная на правую сторону улицы, согласно рисунку 11а):

$$AOD_{LoS,pow}(\Delta\theta, d) = \begin{cases} \gamma \cdot AOD_{NLoS,pow}(\Delta\theta, d) & (\Delta\theta \geq 0) \\ \langle R \rangle^{1000d|\Delta\theta|\pi/180W} + \gamma \cdot AOD_{NLoS,pow}(\Delta\theta, d) & (\Delta\theta < 0); \end{cases} \quad (13-1)$$

ii) БС, обращенная на левую сторону улицы, согласно рисунку 11а):

$$AOD_{LoS,pow}(\Delta\theta, d) = \begin{cases} \langle R \rangle^{1000d|\Delta\theta|\pi/180W} + \gamma \cdot AOD_{NLoS,pow}(\Delta\theta, d) & (\Delta\theta \geq 0) \\ \gamma \cdot AOD_{NLoS,pow}(\Delta\theta, d) & (\Delta\theta < 0); \end{cases} \quad (13-2)$$

б) БС, обращенная в конец улицы,

$$AOD_{LoS,pow}(\Delta\theta, d) = \langle R \rangle^{1000d|\Delta\theta|\pi/(180W)} + \gamma \cdot AOD_{NLoS,pow}(\Delta\theta, d) . \quad (13-3)$$

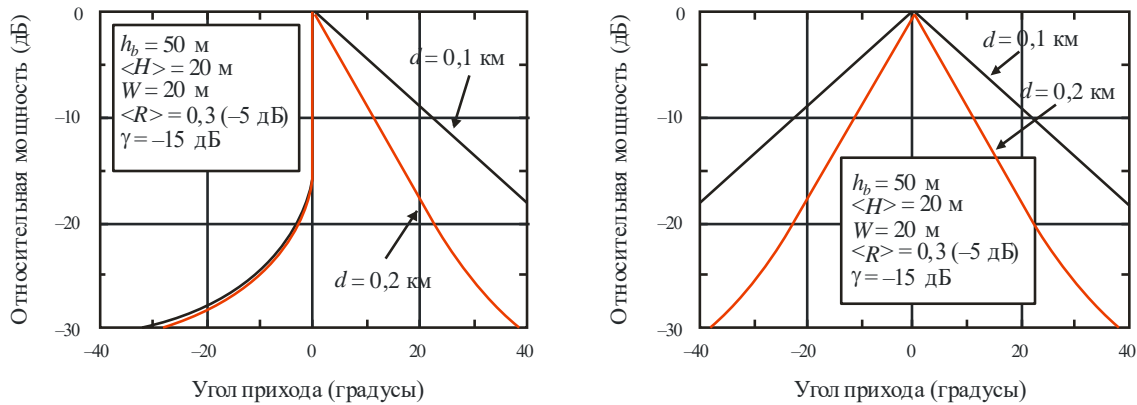
Здесь $AOD_{NLoS,pow}(\Delta\theta, d)$ – профиль азимутальных углов прихода на БС для условий NLoS, определяемый уравнением (9), нормирован по мощности максимального луча на расстоянии d . γ – постоянное значение, равное от -12 дБ до -16 дБ в зависимости от городской структуры. $\langle R \rangle$ – средний коэффициент отражения энергии боковой стены здания, имеет постоянное значение от 0,1 до 0,5. Следует заметить, что уравнение (13-1) и уравнение (13-2) абсолютно симметричны относительно угла прихода на БС.

Рекомендуется, чтобы для городских зон, где средняя высота зданий $\langle H \rangle$ превышает 20 м, значения γ и $\langle R \rangle$ составляли -15 дБ и 0,3 (-5 дБ), соответственно.

4.3 Примеры

Если высота h_b антенны базовой станции h_b , средняя высота здания $\langle H \rangle$ и ширина улицы W составляют 50 м, 30 м и 20 м, соответственно, а $\langle R \rangle$ и γ составляют 0,3 (-5 дБ) и -15 дБ, соответственно, то профили азимутальных углов прихода мощности на БС, $AOD_{LoS,pow}(\Delta\theta, d)$, в случае рисунка 11 для условий LoS соответствуют показанным на рисунке 12, где параметром является расстояние d от базовой станции.

РИСУНОК 12
Профиль азимутальных углов прихода на БС, $AOD_{LoS,pow}(\Delta\theta, d)$,
для условий LoS



а) БС, обращенная на правую или левую сторону улицы

б) БС, обращенная в конец улицы

P.1816-12

5 Долгосрочный профиль углов места прихода на БС для условий NLoS в городских и пригородных зонах

5.1 Параметры

d : расстояние от БС (0,2–3 км для условий NLoS), (км).

Другие параметры аналогичны параметрам в п. 2.

5.2 Профиль углов прихода на БС, нормированный по мощности максимального луча

Профиль углов места прихода мощности на БС, $AOD_{NLoS,pow}^v(\Delta\theta_v, d)$, нормированный по мощности максимального луча на расстоянии d , определяется следующим образом:

$$AOD_{NLoS,pow}^v(\Delta\theta_v, d) = \text{Exp}[-|\Delta\theta_v| / \sigma_v(d)] \tag{14}$$

$$\sigma_v(d) = \frac{(h_b - \langle H \rangle) \cdot k_x}{(h_b - \langle H \rangle)^2 + (1000d)^2} \cdot \left(\frac{180}{\pi}\right) \quad (h_b \gg \langle H \rangle) \tag{15-1}$$

$$k_x = \begin{cases} 320 \cdot \left(\frac{h_b}{\langle H \rangle}\right)^{-1.14} & (\Delta\theta_v < 0) \\ 59 \cdot \left(\frac{h_b}{\langle H \rangle}\right)^{-0.56} \cdot \left\{ 1 + 5.5 \cdot \text{Exp}\left[-\left(\left(\frac{h_b}{\langle H \rangle}\right) - 1\right)^{1.4}\right] \right\} & (\Delta\theta_v \geq 0) \end{cases} \tag{15-2}$$

С другой стороны, для точной оценки данных измерения профиля угла места прихода должна учитываться вертикальная направленность антенны $G^V(\Delta\theta_V)$, характерная для антенны БС.

Профиль угла места прихода мощности, в котором учтена вертикальная направленность антенны $G^V(\Delta\theta_V)$, характерная для антенны БС $AOD_{NLoS,pow}^{V,ant}(\Delta\theta_V, d)$, определяется следующим образом:

$$AOD_{NLoS,pow}^{V,ant}(\Delta\theta_V, d) = \int_{-\pi}^{\pi} G^V(\Theta) \cdot AOD_{NLoS,pow}^V(\Delta\theta_V - \Theta, d) d\Theta \quad (16)$$

$AOD_{NLoS,pow}^{V,ant}(\Delta\theta_V, d)$ также аппроксимативно описывается функцией Лапласа следующим образом:

$$AOD_{NLoS,pow}^{V,ant}(\Delta\theta_V, d) = \text{Exp}[-|\Delta\theta_V| / \sigma_V^{ant}(d)], \quad (17)$$

где:

$$\sigma_V^{ant}(d) = \sqrt{\sigma_V^2(d) + \sigma_{vant}^2 / 2} \quad (18)$$

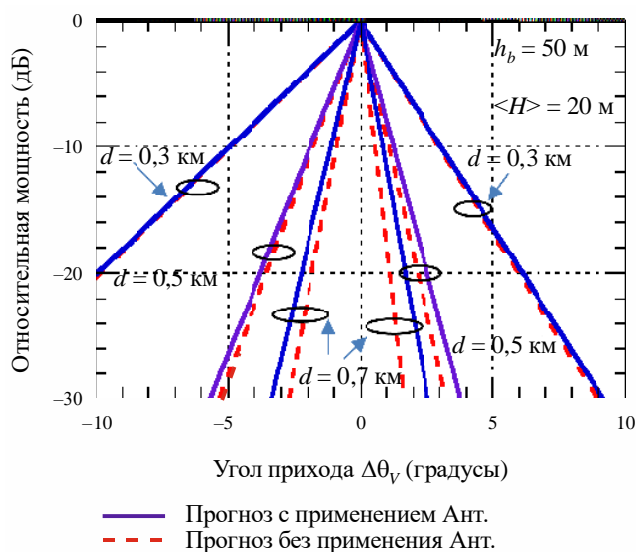
Здесь σ_{vant} – стандартная девиация вертикальной направленности антенны $G^V(\Delta\theta_V)$.

5.3 Пример

На рисунке 13 показаны профили угла места прихода мощности на БС для условий NLoS $AOD_{NLoS,pow}^V(\Delta\theta_V, d)$ и $AOD_{NLoS,pow}^{V,ant}(\Delta\theta_V, d)$ при высоте антенны БС h_b , равной 50 м, средней высоте здания $\langle H \rangle$, равной 20 м, и σ_{vant} антенны, равной 0,5 град., где параметром является расстояние от базовой станции d .

РИСУНОК 13

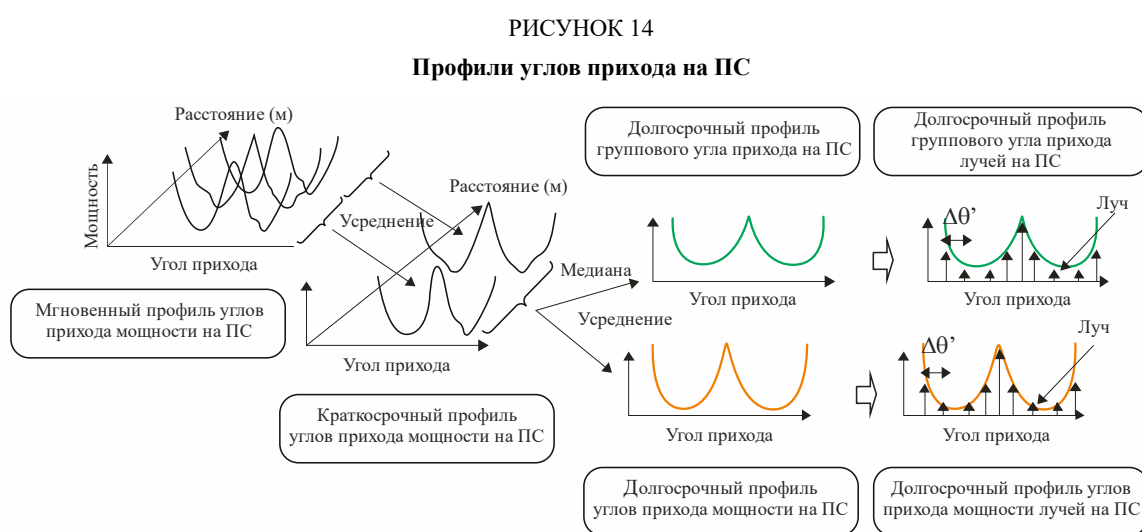
Пример прогнозируемых профилей угла места прихода $AOD_{NLoS,pow}^V(\Delta\theta_V, d)$ и $AOD_{NLoS,pow}^{V,ant}(\Delta\theta_V, d)$ для условий NLoS



Приложение 3

1 Введение

Профиль углов прихода на подвижной станции (ПС) определяется согласно рисунку 14 со ссылкой на Рекомендацию МСЭ-R P.1407. Мгновенные профили углов прихода мощности – это одномоментная плотность мощности импульсного отклика относительно угла прихода в одной точке. Краткосрочный профиль углов прихода мощности получается путем пространственного усреднения мгновенных профилей углов прихода мощности на интервалах, равных нескольким десяткам длин волн для устранения изменений из-за быстрых замираний; долгосрочный профиль углов прихода мощности получается путем пространственного усреднения краткосрочных профилей углов прихода мощности приблизительно на том же расстоянии от базовой станции (БС), чтобы устранить изменения, вызванные затенением.



P.1816-14

2 Параметры

- h_b : высота антенны базовой станции (5–150 м: высота над уровнем земли подвижной станции) (м);
- $\langle H \rangle$: средняя высота здания (5–50 м: высота над уровнем земли подвижной станции) (м);
- d : расстояние от базовой станции (0,5–3 км) (км);
- W : ширина улицы (5–50 м) (м);
- B : частота следования чипов (0,5–50 Мчип/с) (Мчип/с) (занимаемая ширина полосы может быть преобразована из частоты следования чипов B и применения фильтра полосы групповых частот);
- f : несущая частота (0,7–9 ГГц) (ГГц);
- Θ : угол относительно дороги (0–90 градусов: острый угол между направлением ПС и направлением дороги) (градусы);
- h_s : средняя высота зданий вдоль дороги (4–30 м) (м);
- φ' : угол прихода (от –180 до 180 градусов: угол прихода, когда угол относительно дороги установлен равным 0 градусам) (градусы);
- $\langle R \rangle$: средний коэффициент отражения энергии боковой стены здания (<1);

γ_{dB} : постоянное значение (от -16 дБ до -12 дБ) (дБ);

$$\gamma: 10^{\gamma_{dB}/10}.$$

3 Долгосрочный профиль углов прихода на ПС для условий NLoS в городских и пригородных зонах

3.1 Профиль углов прихода на ПС

Профиль углов прихода мощности на ПС, $AOA_{NLoS,pow}(\varphi')$, определяется следующим образом:

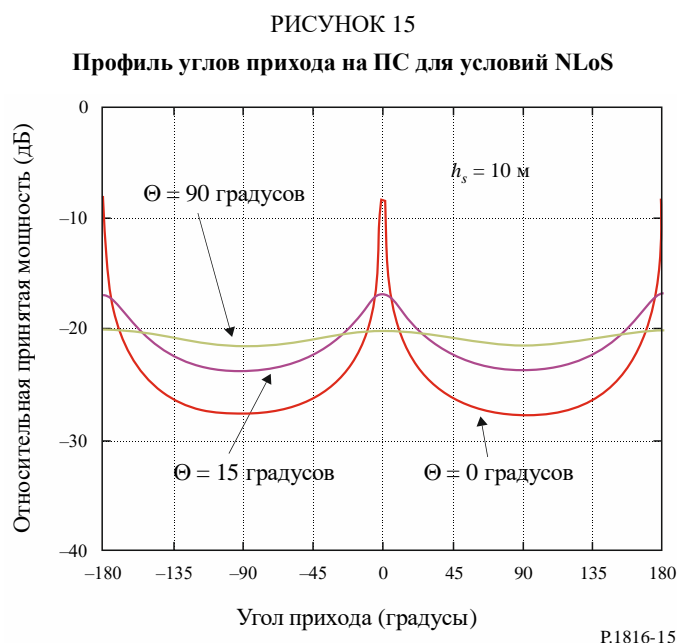
$$AOA_{NLoS,pow}(\varphi') = \frac{1}{\sqrt{\cos\left(\varphi' \cdot \frac{\pi}{180}\right)^2 + \sin\left(\varphi' \cdot \frac{\pi}{180}\right)^2 / \eta^2}}, \quad (19)$$

где:

$$\eta = \text{Min}\left(1, \left[2,6 / h_s^{0,5} \cdot \{1 - \exp(-0,03 \cdot \Theta)\} + 0,05\right]^{1,5}\right). \quad (20)$$

3.2 Пример

На рисунке 15 показан профиль углов прихода мощности на ПС, $AOA_{NLoS,pow}(\varphi')$, при средней высоте h_s зданий вдоль дороги, составляющей 10 м, где параметром является угол относительно дороги Θ .



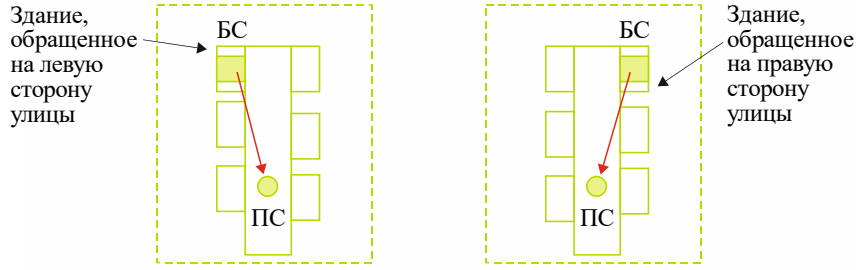
4 Долгосрочный профиль углов прихода на ПС для условий LoS в городских и пригородных зонах

4.1 Рассматриваемые условия LoS

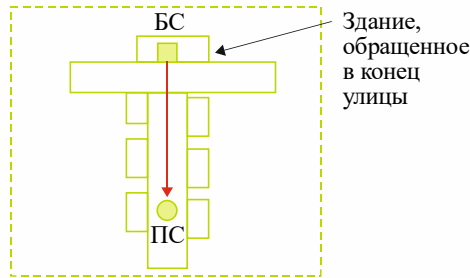
На рисунке 16 представлены рассматриваемые условия LoS. На рисунке 16а) БС расположена в верхней точке здания, обращенного на левую или правую сторону улицы, ПС находится в середине улицы, и имеется прямая видимость с БС на ПС. На рисунке 16б) БС расположена примерно в центральной части крыши здания, обращенного в конец улицы, а ПС находится в середине улицы.

РИСУНОК 16

Рассматриваемые условия LoS



а) БС, обращенная на правую или левую сторону улицы



б) БС, обращенная в конец улицы

P.1816-16

4.2 Профиль углов прихода на ПС

Профиль углов прихода мощности на ПС, $AOA_{LoS,pow}(\varphi', d)$, определяется следующим образом:

- а) БС, обращенная на правую или левую сторону улицы
 i) БС, обращенная на правую сторону улицы, согласно рисунку 16а)

$$AOA_{LoS,pow}(\varphi', d) = \begin{cases} \langle R \rangle^{1000d|\varphi'|\pi/(180W)} + \gamma \cdot AOA_{NLoS,pow}(\varphi') & (\varphi' \geq 0) \\ \langle R \rangle^{(1000d|\varphi'|\pi/(180W))^{-1}} + \gamma \cdot AOA_{NLoS,pow}(\varphi') & (\varphi' < 0) \end{cases} \quad (21-1)$$

- ii) БС, обращенная на левую сторону улицы, согласно рисунку 16а)

$$AOA_{LoS,pow}(\varphi', d) = \begin{cases} \langle R \rangle^{(1000d|\varphi'|\pi/(180W))^{-1}} + \gamma \cdot AOA_{NLoS,pow}(\varphi') & (\varphi' \geq 0) \\ \langle R \rangle^{1000d|\varphi'|\pi/(180W)} + \gamma \cdot AOA_{NLoS,pow}(\varphi') & (\varphi' < 0) \end{cases} \quad (21-2)$$

- б) БС, обращенная в конец улицы

$$AOA_{LoS,pow}(\varphi', d) = \langle R \rangle^{1000d|\varphi'|\pi/(180W)} + \gamma \cdot AOA_{NLoS,pow}(\varphi') \quad (21-3)$$

Здесь $AOA_{NLoS,pow}(\varphi', d)$ – профиль углов прихода на ПС для условий NLoS, определяемый уравнением (19). γ – постоянное значение, равное от -12 дБ до -16 дБ в зависимости от городской структуры. $\langle R \rangle$ – средний коэффициент отражения энергии боковой стены здания, имеет постоянное значение от 0,1 до 0,5. Следует заметить, что уравнение (21-1) и уравнение (21-2) абсолютно симметричны относительно угла прихода на ПС.

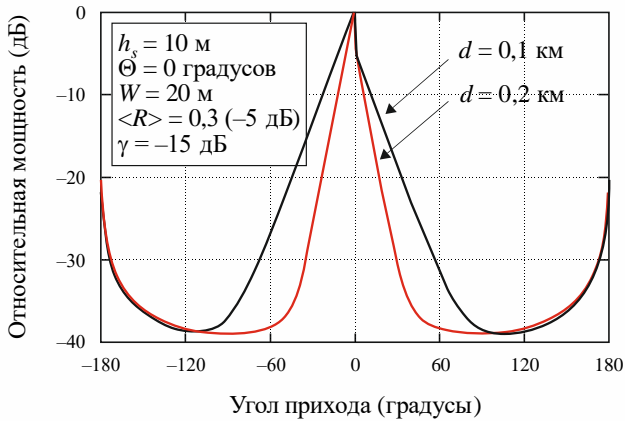
Рекомендуется, чтобы для городских зон, где средняя высота зданий $\langle H \rangle$ превышает 20 м, значения γ и $\langle R \rangle$ составляли -15 дБ и 0,3 (-5 дБ), соответственно.

4.3 Примеры

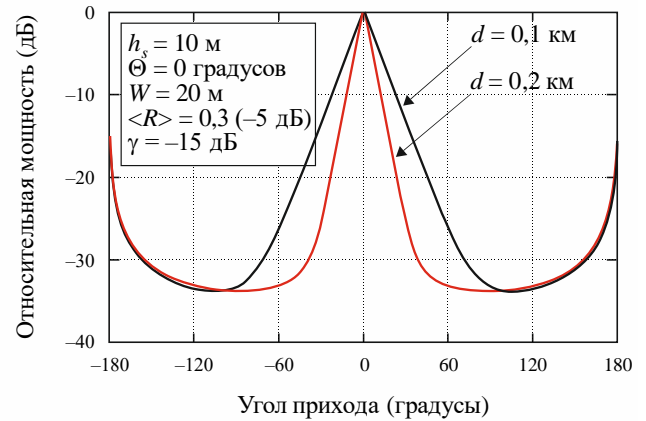
Если средняя высота зданий вдоль дороги, h_s , угол относительно дороги, Θ , и ширина улицы, W , составляют 10 м, 0 градусов и 20 м, соответственно, а $\langle R \rangle$ и γ составляют 0,3 (-5 дБ) и -15 дБ, соответственно, то профили угла прихода мощности на ПС, $AOA_{LoS, pow}(\varphi', d)$, в случае рисунка 16 для условий LoS соответствуют показанным на рисунке 17, где параметром является расстояние d от базовой станции средняя высота здания $\langle H \rangle$.

РИСУНОК 17

Профиль углов прихода на ПС для условий LoS



а) БС, обращенная на правую или левую сторону улицы



б) БС, обращенная в конец улицы