

МСЭ-R

Сектор радиосвязи МСЭ

Рекомендация МСЭ-R Р.2041
(09/2013)

Прогнозирование затухания на трассе на линиях между воздушной платформой и космосом и между воздушной платформой и поверхностью Земли

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	Подвижная спутниковая служба, спутниковая служба радиоопределения, любительская спутниковая 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, 2014 г.

© ITU 2014

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.2041

Прогнозирование затухания на трассе на линиях между воздушной платформой и космосом и между воздушной платформой и поверхностью Земли

(Вопрос МСЭ-R 203/3)

(2013)

Сфера применения

В настоящей Рекомендации приведены методики прогнозирования различных эффектов, связанных с распространением радиоволн, которые необходимы при планировании воздушных систем, работающих в направлениях воздух-космос или воздух-земля.

Ассамблея радиосвязи МСЭ,

учитывая,

- a) что при разработке воздушных систем необходимо точно знать характеристики системы с учетом распространения радиоволн между воздушной платформой и спутником и между воздушной платформой и поверхностью Земли;
- b) что воздушная платформа может быть расположена на любой высоте между поверхностью Земли и верхней частью стратосферы;
- c) что эти системы могут работать за пределами прямой видимости;
- d) что используемые полосы частот могут находиться в диапазоне от 30 МГц до 50 ГГц или выше,

отмечая,

- a) что сектор МСЭ-R создал и протестировал методы прогнозирования долгосрочных усредненных ухудшений распространения сигналов, связанных с атмосферными эффектами (например, потерями на затухание в газообразной среде, в дожде, в облаках в связи с неоднородностью атмосферы), между оконечным устройством, расположенным на поверхности Земли, и космосом;
- b) что указанные методы прогнозирования распространения сигналов Земля-космос, разработанные МСЭ-R, могут применяться для прогнозирования рабочих характеристик воздушных линий связи между воздушной платформой и космосом и между воздушной платформой и поверхностью Земли,

рекомендует

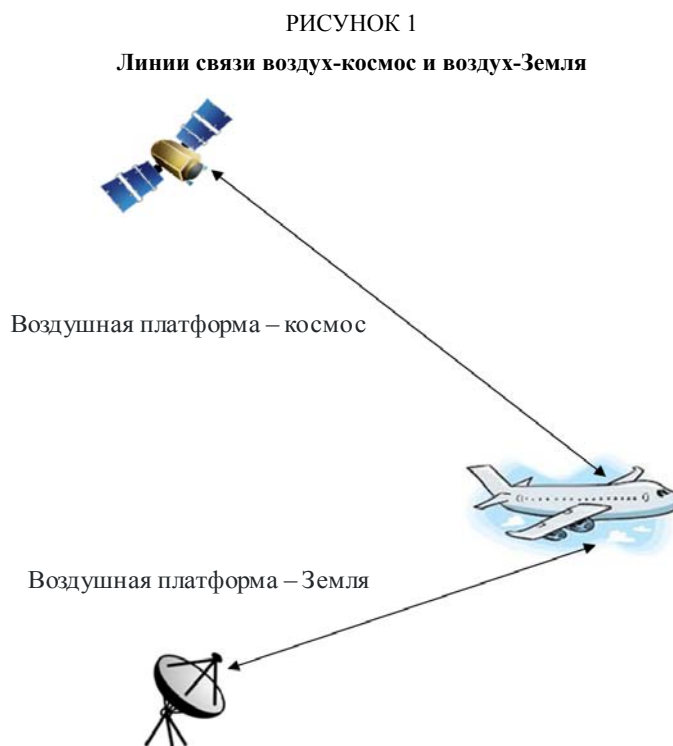
применять представленные ниже методы прогнозирования для предварительного расчета долгосрочного усредненного ухудшения распространения сигналов (например, затухания и замирания благодаря неоднородности атмосферы), связанных с атмосферными явлениями, между воздушной платформой и спутником, а также между воздушной платформой и поверхностью Земли.

1 Связь с другими Рекомендациями МСЭ-R

В других Рекомендациях серии Р рассматриваются вопросы распространения сигналов с воздушных платформ: Рекомендация МСЭ-R P.528 "Кривые распространения радиоволн для воздушной подвижной и радионавигационной служб, работающих в диапазонах ОВЧ, УВЧ и СВЧ"; и Рекомендация МСЭ-R P.682 "Данные о распространении радиоволн, необходимые для проектирования воздушных подвижных систем связи Земля-космос".

- В Рекомендации МСЭ-R P.528 приведен предварительный прогноз основных видов потерь при передаче сигнала между двумя антеннами для частот от 125 МГц до 15,5 ГГц на различных высотах и расстояниях. Хотя данная модель предназначена в основном для изучения эффектов многолучевости, дифракции и тропосферного рассеяния, она также включает простые модели затухания в газообразной среде и дожде, применимые в стандартных условиях умеренно континентальных зон. Вследствие этого модель не применяется для более высоких частот и других климатических условий, в которых преобладает затухание в газообразной среде, дожде и облаках.
- В Рекомендации МСЭ-R P.682 рассматриваются тропосферные явления, ионосферные явления, замирания, связанные с отражениями от поверхности и рассеянием между воздушной платформой и космосом для частот порядка 1,5 ГГц.

Линии связи воздух-космос и воздух-Земля изображены на рис. 1.



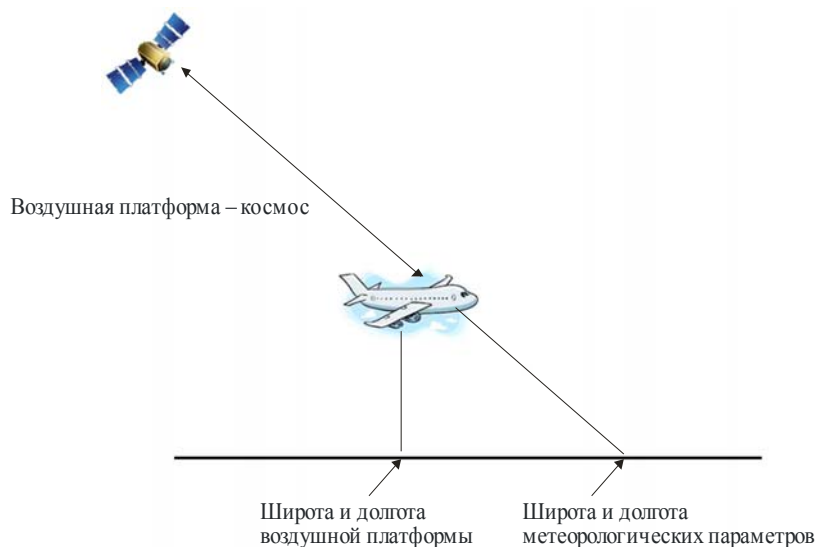
P.2041-01

Описанные ниже методы прогнозирования считаются, в принципе, корректными, однако они не проходили тестирование и не были подтверждены результатами измерений.

2 Замечания по применению цифровых метеорологических карт

Существуют различные карты метеорологических параметров, являющихся функциями широты и долготы на поверхности Земли. Для трассы, связывающей воздушную платформу и космос, следует определять различные метеорологические параметры в точке пересечения трассы, связывающей космос и воздушную платформу, с Землей без учета широты и долготы воздушной платформы. Эта отличительная особенность, показанная на рис. 2, является важной, поскольку некоторые метеорологические параметры определяются на поверхности Земли (например, температура поверхности и влажностная составляющая индекса рефракции радиоволн).

РИСУНОК 2

Широта и долгота метеорологических параметров

P.2041-02

3 Замечания по согласованности условных обозначений

В Рекомендациях МСЭ-R P.836 и МСЭ-R P.618 для обозначения вероятности превышения используется переменная p , а в Рекомендации МСЭ-R P.676 для обозначения вероятности превышения используется переменная P . Далее в тексте документа будет использоваться переменная p .

4 Область применения методов прогнозирования

Описываемые методы прогнозирования могут применяться для линий связи между воздушной платформой и космосом и между воздушной платформой и поверхностью Земли, притом что:

- частота ≤ 55 ГГц;
- угол места (φ) из локальной горизонтальной плоскости $\geq 5^\circ$.

В зависимости от частоты и угла места может потребоваться учет многолучевого замирания (см. Рекомендацию МСЭ-R P.528), а в зависимости от местоположения, времени суток и солнечной активности может потребоваться учет ионосферного мерцания на частотах ниже примерно 6 ГГц (см. Рекомендацию МСЭ-R P.531).

5 Затухание между воздушной платформой и космосом**5.1 Метод прогнозирования суммарного затухания**

Если воздушная платформа расположена ниже слоя осадков.

Так же как и в Рекомендации МСЭ-R P.618, суммарное затухание между воздушной платформой и космосом, $A_T^{AS}(p)$, рассчитывается следующим образом:

$$A_T^{AS}(p) = A_G^{AS}(p) + \sqrt{\left(A_R^{AS}(p) + A_C^{AS}(p)\right)^2 + \left(A_S^{AS}(p)\right)^2}, \quad (1)$$

где:

- $A_R^{AS}(p)$: затухание в дожде для фиксированного значения вероятности (дБ);
 $A_C^{AS}(p)$: затухание в облаках для фиксированного значения вероятности (дБ);
 $A_G^{AS}(p)$: затухание в газообразной среде, вызываемое водяными парами и кислородом, для фиксированного значения вероятности (дБ);
 $A_S^{AS}(p)$: замирание, связанное с тропосферным мерцанием для фиксированного значения вероятности (дБ);

и

$$A_C^{AS}(p) = A_C^{AS}(1\%) \quad \text{при } p < 1,0\%; \quad (2a)$$

$$A_G^{AS}(p) = A_G^{AS}(1\%) \quad \text{при } p < 1,0\%. \quad (2b)$$

Если воздушная платформа расположена выше слоя осадков.

Суммарное затухание между воздушной платформой и космосом, $A_T^{AS}(p)$, рассчитывается следующим образом:

$$A_T^{AS}(p) = A_G^{AS}(p) + A_C^{AS}(p), \quad (3)$$

где:

- $A_C^{AS}(p)$: затухание в облаках для фиксированного значения вероятности (дБ);
 $A_G^{AS}(p)$: затухание в газообразной среде, вызываемое водяными парами и кислородом, для фиксированного значения вероятности (дБ);

и

$$p \geq 0,1\%.$$

Для трасс Земля-космос затухание в газообразной среде, в облаках, в дожде и замирание от мерцаний рассчитывается при помощи соответствующих разнообразных цифровых метеорологических карт, как правило, имеющих масштабную сетку $1,125^\circ \times 1,125^\circ$. В следующих пунктах описывается настройка методов прогнозирования, которые применяются для трасс Земля-космос, конкретно – для трасс между воздушной платформой и космосом.

5.2 Затухание в газообразной среде

Предварительный расчет затухания в газообразной среде для трассы Земля-космос приведен в Рекомендации МСЭ-R P.676:

$$A_G(p) = \frac{A_o + A_w(p)}{\sin \phi}. \quad (4)$$

Для трассы между воздушной платформой и космосом соответствующее затухание в газообразной среде составляет

$$A_G^{AS}(p) = \frac{A_o^{AS} + A_w^{AS}(p)}{\sin \phi}. \quad (5)$$

Предварительный расчет A_o^{AS} производится следующим образом:

$$A_o^{AS} = A_o e^{-\text{высота}/h_o}, \quad (6)$$

где под термином "высота" следует понимать высоту над поверхностью Земли, а значение h_o взято из Рекомендации МСЭ-R P.676 с использованием требуемой частоты и r_p на поверхности Земли.

Предварительный расчет $A_w^{AS}(p)$ взят из Рекомендации МСЭ-R P.676, при этом значение $V_t(p)$ взято из Приложения 2 Рекомендации МСЭ-R P.836, а alt – высота воздушной платформы над средним уровнем моря, определенная в Приложении 2, п. 1 е) Рекомендации МСЭ-R P.836.

5.3 Затухание в облаках

Прогнозирование затухания в облаках с воздушной платформы является непростой задачей, поскольку облака различного типа находятся на разной высоте и имеют разную протяженность по вертикали. Однако при использовании традиционного метода предполагается, что нижняя граница облаков находится на высоте слоя осадков, определенной в Рекомендации МСЭ-R P.839, а верхняя граница – на высоте 6 км. Согласно Рекомендации МСЭ-R P.840 расчет затухания в облаках производится следующим образом: для высот ниже слоя осадков используется 100% от общего объема столба воды, содержащейся в облаках, для высот над верхней границей облаков – 0% от общего объема столба воды, содержащейся в облаках, а для высот между нижней и верхней границей облаков применяется линейная интерполяция значения общего объема столба воды, содержащейся в облаках.

5.4 Затухание в дожде

Прогнозирование затухания в дожде осуществляется согласно Рекомендации МСЭ-R P.618 путем расчета протяженности наклонной трассы, L_s , на основе h_s – высоты наземной станции над средним уровнем моря. Для трассы между воздушной платформой и космосом вместо h_s подставляется высота воздушной платформы над средним уровнем моря с тем условием, что если h_s больше или равно h_R , то затухание в дожде равно 0 дБ.

5.5 Замирание, связанное с тропосферным мерцанием

Прогнозирование замирания, связанного с тропосферным мерцанием, осуществляется согласно Рекомендации МСЭ-R P.618. Если воздушная платформа находится ниже слоя осадков, определенного в Рекомендации МСЭ-R P.839, тропосферное мерцание вычисляется исходя из предположения, что воздушная платформа находится на поверхности Земли. Если воздушная платформа находится выше слоя осадков, определенного в Рекомендации МСЭ-R P.839, тропосферное мерцание не учитывается.

6 Затухание между воздушной платформой и поверхностью Земли

6.1 Метод прогнозирования суммарного затухания

Так же как и в Рекомендации МСЭ-R P.618, суммарное затухание между воздушной платформой и поверхностью Земли, $A_T^{AE}(p)$, рассчитывается следующим образом:

$$A_T^{AE}(p) = A_G^{AE}(p) + \sqrt{\left(A_R^{AE}(p) + A_C^{AE}(p)\right)^2 + \left(A_S^{AE}(p)\right)^2}, \quad (7)$$

где:

- $A_R^{AE}(p)$: затухание в дожде для фиксированного значения вероятности (дБ);
- $A_C^{AE}(p)$: затухание в облаках для фиксированного значения вероятности (дБ);
- $A_G^{AE}(p)$: затухание в газообразной среде, вызываемое водяными парами и кислородом, для фиксированного значения вероятности (дБ);
- $A_S^{AE}(p)$: замирание, связанное с тропосферным мерцанием, для фиксированного значения вероятности (дБ);

и

$$A_C^{AE}(p) = A_C^{AE}(1\%) \quad \text{при } p < 1,0\%; \quad (8a)$$

$$A_G^{AE}(p) = A_G^{AE}(1\%) \quad \text{при } p < 1,0\%. \quad (8b)$$

6.2 Затухание в газообразной среде

Предварительный расчет $A_G^{AE}(p)$ производится следующим образом:

$$A_G^{AE}(p) = A_G(p) - A_G^{AS}(p), \quad (9)$$

где:

$A_G(p)$: затухание в газообразной среде между поверхностью Земли и космосом вдоль одной и той же трассы;

$A_G^{AS}(p)$: вычисляется при помощи уравнения (5).

6.3 Затухание в облаках

Прогнозирование затухания в облаках от воздушной платформы до поверхности Земли является непростой задачей, поскольку облака различного типа находятся на разной высоте и имеют разную протяженность по вертикали. Однако в традиционном методе затухание в облаках, предварительное значение которого рассчитывается согласно Рекомендации МСЭ-R P.840, учитывается для всех значений высоты.

6.4 Затухание в дожде

Предварительный расчет $A_R^{AE}(p)$ производится следующим образом:

$$A_R^{AE}(p) = A_R(p) - A_R^{AS}(p), \quad (10)$$

где $A_R(p)$ – затухание в дожде между поверхностью Земли и космосом.

6.5 Замирание, связанное с тропосферным мерцанием

Прогнозирование замирания, связанного с тропосферным мерцанием, осуществляется согласно Рекомендации МСЭ-R P.618. Тропосферное мерцание учитывается для всех значений высоты.

7 Возможность применения в конкретных воздушных программах

Методы прогнозирования, описанные в настоящей Рекомендации, соответствуют долгосрочной усредненной готовности на заданной высоте и при заданном угле места. Данные методы прогнозирования могут также использоваться для предварительного расчета "наихудшего случая" или усредненной готовности линии для любого применимого параметра высоты и угла места. Продолжительность ухудшения (например, затухание в дожде) будет зависеть от динамических свойств воздушной платформы.
