

РЕКОМЕНДАЦИЯ МСЭ-R P.1815

Дифференциальное ослабление в дожде

(Вопрос МСЭ-R 208/3)

(2007)

Сфера применения

Представляется новая Рекомендация, в которой прогнозируются статистические данные об объединенном дифференциальном ослаблении в дожде на трассах между спутником и двумя местоположениями на поверхности Земли.

Ассамблея радиосвязи МСЭ,

учитывая,

- a) что необходимо иметь соответствующие методы прогнозирования дифференциального ослабления в дожде на спутниковых трассах, то есть от одного спутника до нескольких местоположений на поверхности Земли, для целей проведения анализа на предмет совместного использования частот;
- b) что имеются оценки пространственной корреляции скорости выпадения дождя;
- c) что разработаны методы прогнозирования дифференциального ослабления в дожде на трассах космос-Земля,

рекомендует,

1 чтобы для прогнозирования дифференциального ослабления в дожде на спутниковых трассах, то есть от одного спутника до нескольких местоположений на поверхности Земли, использовались методы, описание которых приведено в Приложении 1.

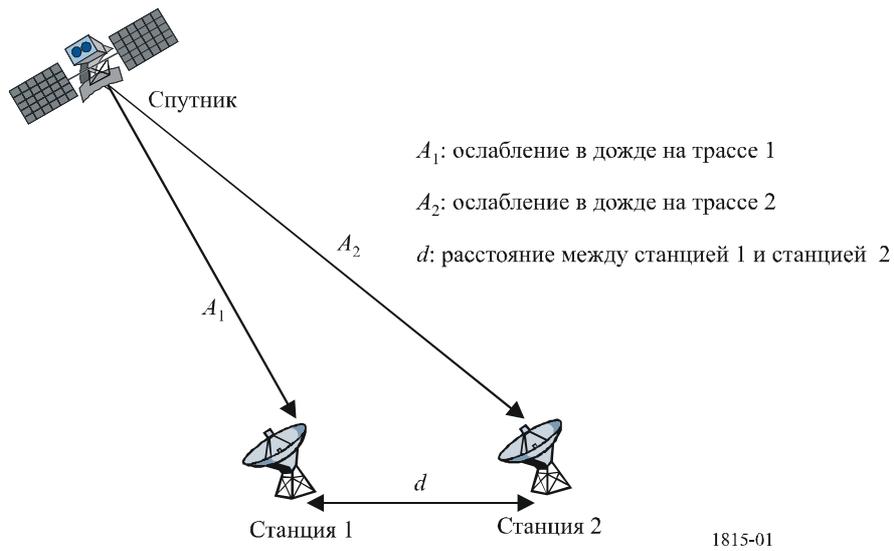
Приложение 1**Описание метода дифференциального ослабления в дожде****1 Введение**

Метод, описанный в данном Приложении, содержит прогноз статистики объединенного дифференциального ослабления в дожде на трассах между спутником и двумя местоположениями на поверхности Земли и применяется на частотах вплоть до 55 ГГц для углов места выше примерно 10° и величинах разноса между станциями от 0 до по меньшей мере 250 км.

В данном методе рассматриваются статистические и временные характеристики размера дождевого очага, интенсивности дождя и перемещения дождевых очагов, связанные с дифференциальным ослаблением в дожде.

РИСУНОК 1

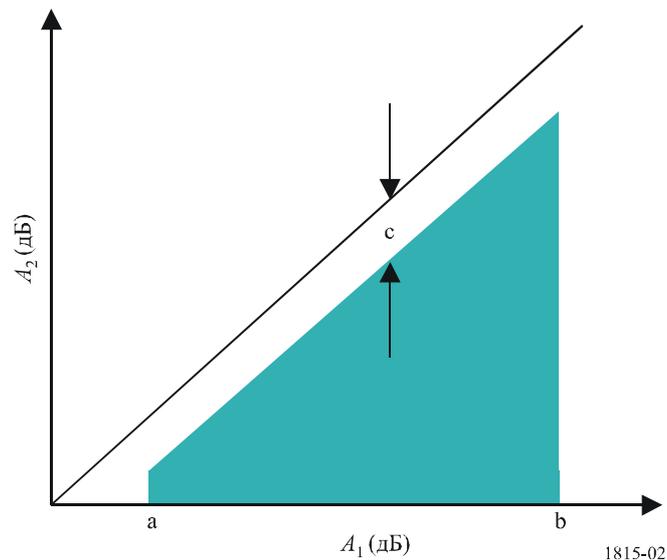
Геометрия дифференциального ослабления



Геометрия дифференциального ослабления показана на рис. 1, где A_1 и A_2 – значения ослабления в дожде на трассе 1 и трассе 2, соответственно. Требуется получить статистические данные об объединенной вероятности того, что ослабление на первой трассе, A_1 , составляет значения между a и b , а ослабление на второй трассе, A_2 , меньше или равно $A_1 - c$; т. е. $\Pr\{a < A_1 \leq b, A_2 \leq A_1 - c\}$. Эта объединенная вероятность показана графически на рис. 2 в виде интегрированной вероятности в пределах затененной области.

РИСУНОК 2

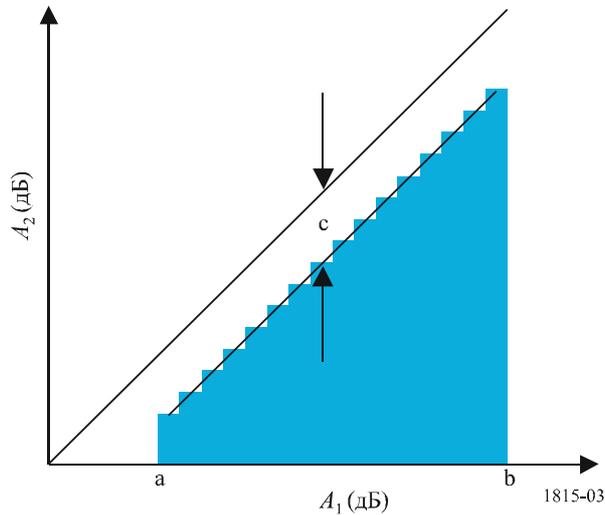
Требуемое распределение объединенной вероятности



Объединенная вероятность в пределах затененной области на рис. 2 может быть хорошо аппроксимирована в виде суммы интегрированных вероятностей в пределах узких вертикальных прямоугольных областей, как показано на рис. 3.

РИСУНОК 3

Аппроксимация до требуемого распределения объединенной вероятности



Объединенную вероятность в пределах затененной области на рис. 3 можно затем вычислить как разность между объединенной вероятностью в пределах затененной области на рис. 4 и объединенной вероятностью в пределах затененной области на рис. 5.

РИСУНОК 4

$$\Pr(A_1 \geq a) - \Pr(A_1 \geq b)$$

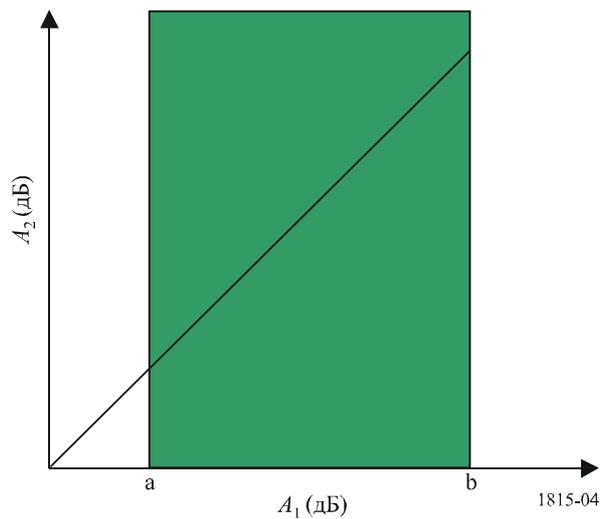
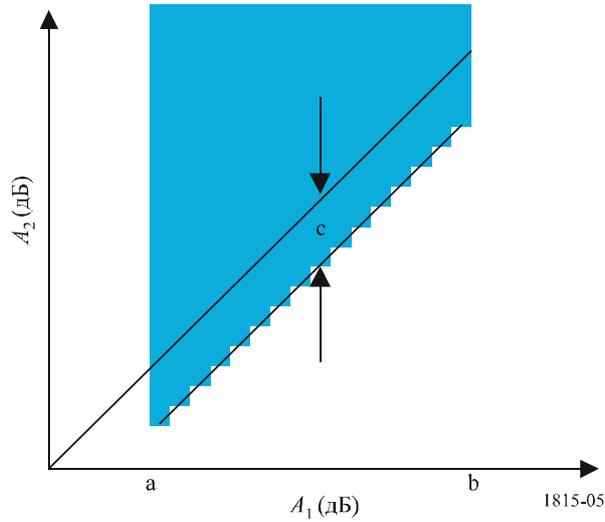


РИСУНОК 5

$$\sum_{i=1}^n \left\{ \Pr \left(A_1 \geq a + (i-1)\delta - \frac{\delta}{2}, A_2 \geq a + (i-1)\delta - c \right) - \Pr \left(A_1 \geq a + (i-1)\delta + \frac{\delta}{2}, A_2 \geq a + (i-1)\delta - c \right) \right\}$$



По данным на рис. 4 и 5 объединенная вероятность $\Pr\{a < A_1 \leq b, A_2 \leq A_1 - c\}$ может быть хорошо аппроксимирована в виде:

$$\begin{aligned} & \Pr\{a < A_1 \leq b, A_2 \leq A_1 - c\} \\ &= \Pr(A_1 \geq a) - \Pr(A_1 \geq b) \\ & - \sum_{i=1}^n \left\{ \Pr \left(A_1 \geq a + (i-1)\delta - \frac{\delta}{2}, A_2 \geq a + (i-1)\delta - c \right) - \Pr \left(A_1 \geq a + (i-1)\delta + \frac{\delta}{2}, A_2 \geq a + (i-1)\delta - c \right) \right\}, \end{aligned}$$

где:

$$\delta = \frac{b-a}{n},$$

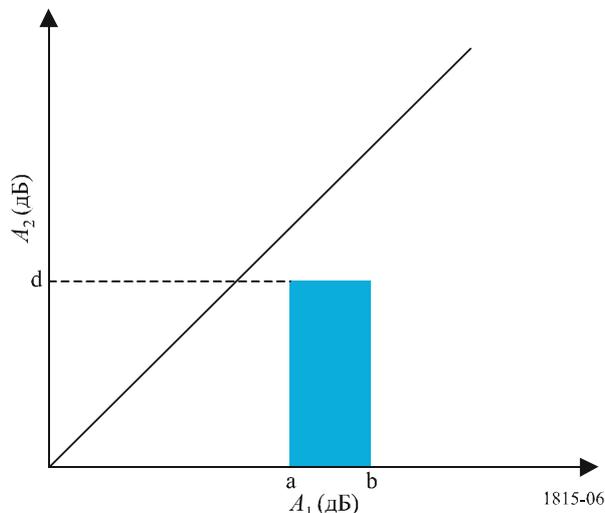
а количество ступеней, n , выбирается так, чтобы приближение было достаточно точным. Достаточно высокую точность обеспечивает, как правило, размер шага, δ , равный 0,01 дБ.

Этот метод может также использоваться для расчета других требуемых видов объединенной вероятности. Например, объединенная вероятность $\Pr\{a < A_1 \leq b, A_2 \leq d\}$, показанная на затененной области рис. 6, равна:

$$\Pr\{a < A_1 \leq b, A_2 \leq d\} = \Pr(A_1 \geq a) - \Pr(A_1 \geq b) - [\Pr(A_1 \geq a, A_2 \geq d) - \Pr(A_1 \geq b, A_2 \geq d)].$$

РИСУНОК 6

$$\Pr\{a < A_1 \leq b, A_2 \leq d\}$$



2 Годовая статистика дифференциального ослабления

Если требуется получить годовую статистику дифференциального ослабления, то вероятность $\Pr\{A_1 \geq a, A_2 \geq b\}$ можно вычислить с использованием метода прогнозирования, описанного в Приложении 2, на основе подгонки уровней ослабления в дожде для одной станции в зависимости от годовых вероятностей появления событий, $\Pr\{A_1 \geq a\}$ и $\Pr\{A_2 \geq b\}$, к логнормальным распределениям вероятности. Ослабление в дожде в зависимости от годовых вероятностей появления событий можно прогнозировать с использованием метода, описанного в п. 2.2.1.1 Рекомендации МСЭ-R P.618.

Годовую статистику дифференциального ослабления можно получить при использовании следующей процедуры:

Шаг 1: Получить данные годового ослабления в дожде в зависимости от вероятности появления событий, используя метод прогнозирования ослабления в дожде, описанный в п. 2.2.1.1 Рекомендации МСЭ-R P.618.

Шаг 2: Применить метод прогнозирования дифференциального ослабления в дожде, описанный в разделе 1, где соответствующие вероятности $\Pr(A_1 \geq a_1, A_2 \geq a_2)$ вычисляются с использованием метода, описанного в Приложении 2.

3 Статистика дифференциального ослабления для наихудшего месяца

Если требуется статистика дифференциального ослабления для наихудшего месяца, то с целью преобразования годовой статистики ослабления в дожде для одной станции в статистику ослабления в дожде для одной станции для наихудшего месяца можно использовать Рекомендацию МСЭ-R P.841.

Статистику дифференциального ослабления для наихудшего месяца можно получить при использовании следующей процедуры:

Шаг 1: Получить данные годового ослабления в дожде в зависимости от вероятности появления событий, используя метод прогнозирования ослабления в дожде, описанный в п. 2.2.1.1 Рекомендации МСЭ-R P.618.

Шаг 2: Преобразовать годовую статистику ослабления в дожде в статистику ослабления в дожде для наихудшего месяца, используя метод МСЭ-R преобразования в статистику для наихудшего месяца, описанный в Рекомендации МСЭ-R P.841.

Шаг 3: Применить метод прогнозирования дифференциального ослабления в дожде, описанный в разделе 1, где соответствующие вероятности $\Pr(A_1 \geq a_1, A_2 \geq a_2)$ вычисляются с использованием метода, описанного в Приложении 2.

Приложение 2

Описание метода прогнозирования дифференциального ослабления в дожде

1 Анализ

Метод прогнозирования дифференциального ослабления в дожде предполагает логнормальное распределение интенсивности дождя и ослабления в дожде.

Этот метод прогнозирует значения $\Pr(A_1 \geq a_1, A_2 \geq a_2)$, объединенной вероятности (%) того, что ослабление на трассе до первой станции будет больше чем a_1 , а ослабление на трассе до второй станции будет больше чем a_2 . $\Pr(A_1 \geq a_1, A_2 \geq a_2)$ является произведением двух вероятностей:

- 1) P_r , объединенная вероятность того, что дождь идет на обеих станциях, и
- 2) P_a , условная объединенная вероятность того, что уровни ослабления превышают a_1 и a_2 , соответственно, при условии, что дождь идет на обеих станциях; т. е.:

$$\Pr(A_1 \geq a_1, A_2 \geq a_2) = 100 \times P_r \times P_a \quad \% \quad (1)$$

Эти вероятности равны:

$$P_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{1-\rho_r^2}} \int_{R_1}^{\infty} \int_{R_2}^{\infty} \exp\left[-\left(\frac{r_1^2 - 2\rho_r r_1 r_2 + r_2^2}{2(1-\rho_r^2)}\right)\right] dr_1 dr_2, \quad (2)$$

где:

$$\rho_r = 0,7 \exp(-d/60) + 0,3 \exp[-(d/700)^2] \quad (3)$$

и

$$P_a = \frac{1}{2\pi\sqrt{1-\rho_a^2}} \int_{\frac{\ln a_1 - m_{\ln A_1}}{\sigma_{\ln A_1}}}^{\infty} \int_{\frac{\ln a_2 - m_{\ln A_2}}{\sigma_{\ln A_2}}}^{\infty} \exp\left[-\left(\frac{a_1^2 - 2\rho_a a_1 a_2 + a_2^2}{2(1-\rho_a^2)}\right)\right] da_1 da_2, \quad (4)$$

где:

$$\rho_a = 0,94 \exp(-d/30) + 0,06 \exp[-(d/500)^2], \quad (5)$$

а P_a и P_r – дополнительные двумерные нормальные распределения.

Параметр d – это разнос между двумя станциями (км). Пороговые значения R_1 и R_2 являются решениями уравнения:

$$P_k^{rain} = 100 \times Q(R_k) = 100 \times \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{R_k}^{\infty} \exp\left(-\frac{r^2}{2}\right) dr, \quad (6)$$

т. е.:

$$R_k = Q^{-1}\left(\frac{P_k^{rain}}{100}\right), \quad (7)$$

где R_k – пороговый уровень для k -й станции, соответственно, P_k^{rain} – вероятность возникновения дождя (%), Q – дополнительное кумулятивное нормальное распределение, а Q^{-1} – обратное дополнительное кумулятивное нормальное распределение. Значение P_k^{rain} для конкретного местоположения можно получить исходя из шага 3 Приложения 1 к Рекомендации МСЭ-R P.837, используя либо местные данные, либо карты МСЭ-R скорости выпадения дождевых осадков.

Значения параметров $m_{\ln A_i}$, $m_{\ln A_2}$, $\sigma_{\ln A_2}$ и $\sigma_{\ln A_i}$ определяются на основе подгонки уровней ослабления в дожде для каждой отдельной станции, A_i , в зависимости от вероятности появления события, P_i , к логнормальному распределению:

$$P_i = P_k^{rain} Q \left(\frac{\ln A_i - m_{\ln A_i}}{\sigma_{\ln A_i}} \right). \quad (8)$$

Эти параметры можно получить для каждого отдельного местоположения, или же может быть использовано какое-то одно местоположение. Ослабление в дожде в зависимости от годовой вероятности появления события может быть спрогнозировано при использовании метода, описанного в п. 2.2.1.1.

Для каждой станции логнормальное приближение уровней ослабления в дожде в зависимости от годовой вероятности появления события может быть осуществлено следующим образом:

Шаг 1: Построить набор пар $[P_i, A_i]$, где P_i (% времени) – это вероятность превышения ослабления A_i (дБ).

Шаг 2: Преобразовать набор пар в $\left[Q^{-1} \left(P_i / P_k^{rain} \right), \ln A_i \right]$.

Шаг 3: Определить переменные $m_{\ln A_i}$ и $\sigma_{\ln A_i}$ путем подгонки методом наименьших квадратов в значения $\ln A_i = \sigma_{\ln A_i} Q^{-1} \left(P_i / P_k^{rain} \right) + m_{\ln A_i}$ для всех i .

(Подробное описание см. в Рекомендации МСЭ-R P.1057.)

Информацию о реализации этого метода прогнозирования в MATLAB и ссылку на аппроксимацию дополнительного двумерного нормального распределения можно получить в веб-сайте МСЭ-R, относящемся к 3-й Исследовательской комиссии по радиосвязи.