

Международный союз электросвязи

МСЭ-R

Сектор радиосвязи МСЭ

Рекомендация МСЭ-R P.836-5
(09/2013)

**Водяные пары: плотность у поверхности
Земли и общее объемное содержание**

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.836-5*

**Водяные пары: плотность у поверхности Земли и
общее объемное содержание**

(Вопрос МСЭ-R 201/3)

(1992-1997-2001-2001-2009-2013)

Сфера применения

В настоящей Рекомендации представлены методы прогнозирования плотности водяных паров у поверхности Земли и общего объемного содержания водяных паров на трассах Земля-космос.

Ассамблея радиосвязи МСЭ,

учитывая,

a) что для расчета рефракционных эффектов и ослабления в атмосферных газах необходима информация о плотности водяных паров в атмосфере;

b) что такая информация имеется для всех точек земного шара и всех времен года,

рекомендует,

чтобы для расчета параметров распространения в глобальных масштабах требующего определения плотности водяных паров у поверхности Земли или их объемного содержания и знания их сезонных колебаний использовалась информация, изложенная в Приложениях 1 и 2, если местные источники информации не располагают более точными данными.

Приложение 1**1 Плотность водяных паров на уровне земли**

Водяные пары и кислород, содержащиеся в атмосфере, вызывают поглощение на миллиметровых волнах, особенно в области линий поглощения (см. Рекомендацию МСЭ-R P.676). Концентрация кислорода в атмосфере сравнительно постоянная, тогда как концентрация водяных паров меняется и в зависимости от географического района, и во времени.

Годовые значения плотности водяных паров на уровне земли, ρ в г/м^3 , превышаемые для 0,1; 0,2; 0,3; 0,5; 1; 2; 3; 5; 10; 20; 30; 50; 60; 70; 80; 90; 95 и 99% времени среднего года, являются неотъемлемой частью настоящей Рекомендации и доступны в форме цифровых карт, а также представлены в файле [R-REC-P.836-5-201309-I!!ZIP-E](#).

Месячные значения плотности водяных паров на уровне земли, ρ в г/м^3 , превышаемые для 1, 2, 3, 5, 10, 20, 30, 50, 60, 70, 80, 90, 95 и 99% времени среднего месяца, являются неотъемлемой частью настоящей Рекомендации и доступны в форме цифровых карт, а также представлены в файле [R-REC-P.836-5-201309-I!!ZIP-E](#).

* В апреле 2015 года 3-я Исследовательская комиссия по радиосвязи внесла редакционные изменения в настоящую Рекомендацию в соответствии с Резолюцией МСЭ-R 1.

Данные представлены для значений долготы от 0° до 360° и широты от $+90^\circ$ до -90° , разрешение по широте и долготе составляет $1,125^\circ$. Значение плотности водяных паров у поверхности Земли в любой рассматриваемой точке на поверхности Земли может быть выведено с помощью следующего метода интерполяции:

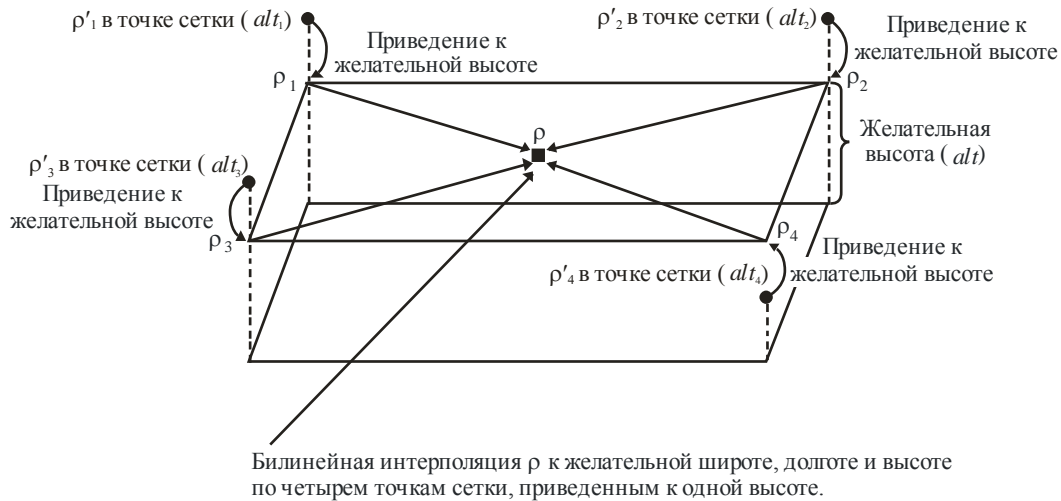
- a) определяются две вероятности, p_{above} и p_{below} , выше и ниже желательной вероятности, p , из множества: 0,1; 0,2; 0,3; 0,5; 1; 2; 3; 5; 10; 20; 30; 50; 60; 70; 80; 90; 95 и 99% для статистических данных за год; и из множества: 1, 2, 3, 5, 10, 20, 30, 50, 60, 70, 80, 90, 95 и 99% для статистических данных за месяц;
- b) для этих двух вероятностей, p_{above} и p_{below} , определяются значения плотности водяных паров у поверхности Земли, ρ'_1 , ρ'_2 , ρ'_3 и ρ'_4 в четырех ближайших точках сетки координат;
- c) с использованием файлов годовых и месячных данных приведенной высоты водяных паров, соответствующих вероятностям p_{above} и p_{below} , определяется приведенная высота водяных паров в четырех ближайших точках сетки, $vsch_1$, $vsch_2$, $vsch_3$ и $vsch_4$, для каждой вероятности, p_{above} и p_{below} ;
- d) с использованием Рекомендации МСЭ-Р Р.1511 определяются значения топографической высоты, alt_1 , alt_2 , alt_3 и alt_4 , четырех ближайших точек координатной сетки;
- e) для каждой из четырех ближайших точек сетки и для каждой вероятности определяются значения плотности водяных паров, ρ_1 , ρ_2 , ρ_3 и ρ_4 , на желательной высоте, alt , путем масштабирования значений плотности водяных паров, ρ'_1 , ρ'_2 , ρ'_3 и ρ'_4 , с помощью следующего отношения:

$$\rho_i = \rho'_i e^{-\frac{alt-alt_i}{vsch_i}} \quad \text{для } i = 1, 2, 3, 4; \quad (1)$$

- f) определяются значения плотности водяных паров, ρ_{above} и ρ_{below} , при вероятностях p_{above} и p_{below} и в желательной точке путем билинейной интерполяции четырех значений плотности водяных паров, ρ_1 , ρ_2 , ρ_3 и ρ_4 , в четырех точках сетки, как описано в Рекомендации МСЭ-Р Р.1144 (в справочных целях процедура определения ρ_{above} и ρ_{below} по ρ'_1 , ρ'_2 , ρ'_3 и ρ'_4 показана на рисунке 1);
- g) определяется плотность водяных паров, ρ , при желательной вероятности, p , путем интерполяции ρ_{above} и ρ_{below} в зависимости от p_{above} и p_{below} к p в линейном масштабе зависимости ρ от $\log p$.

Для справки в Рекомендации МСЭ-Р Р.453 приведены соотношения между плотностью водяных паров, давлением водяных паров и относительной влажностью.

РИСУНОК 1

Процедура интерполяции при вероятностях выше и ниже желательной вероятности

P.0836-01

Приложение 2**1 Общее содержание водяных паров**

В некоторых случаях для расчета увеличения длины трассы и определения ослабления за счет содержащихся в атмосфере водяных паров, причем во втором случае предполагается, что ослабление пропорционально общему содержанию водяных паров с удельным массовым коэффициентом поглощения, используется общее содержание водяных паров вдоль рассматриваемой трассы.

Общее содержание водяных паров, выраженное в $\text{кг}/\text{м}^2$ или, что эквивалентно, в мм осаждаемой воды, можно определить с помощью радиозондирования, навигационных спутниковых измерений и радиометрических измерений. Данные радиозондирования широко доступны, однако имеют ограничения в смысле разрешения по времени и применимы только для зенитных трасс. Общее содержание водяных паров можно определить по радиометрическим измерениям, проводимым на соответствующих частотах вдоль рассматриваемой трассы.

Годовые значения общего объемного содержания водяных паров, V ($\text{кг}/\text{м}^2$), превышаемые для 0,1; 0,2; 0,3; 0,5; 1; 2; 3; 5; 10; 20; 30; 50; 60; 70; 80; 90; 95 и 99% времени года, являются неотъемлемой частью настоящей Рекомендации и доступны в форме цифровых карт.

Месячные значения общего объемного содержания водяных паров, V ($\text{кг}/\text{м}^2$), превышаемые для 1, 2, 3, 5, 10, 20, 30, 50, 60, 70, 80, 90, 95 и 99% времени каждого среднего месяца, являются неотъемлемой частью настоящей Рекомендации и доступны в форме цифровых карт.

Данные представлены для значений долготы от 0° до 360° и широты от $+90^\circ$ до -90° , разрешение по широте и долготы составляет $1,125^\circ$. Общее содержание водяных паров в любой точке на поверхности Земли может быть выведено с помощью следующего метода интерполяции:

- определяются две вероятности, p_{above} и p_{below} , выше и ниже желательной вероятности, p , из множества: 0,1; 0,2; 0,3; 0,5; 1; 2; 3; 5; 10; 20; 30; 50; 60; 70; 80; 90; 95 и 99% для статистических данных за год; и из множества: 1, 2, 3, 5, 10, 20, 30, 50, 60, 70, 80, 90, 95 и 99% для статистических данных за месяц;

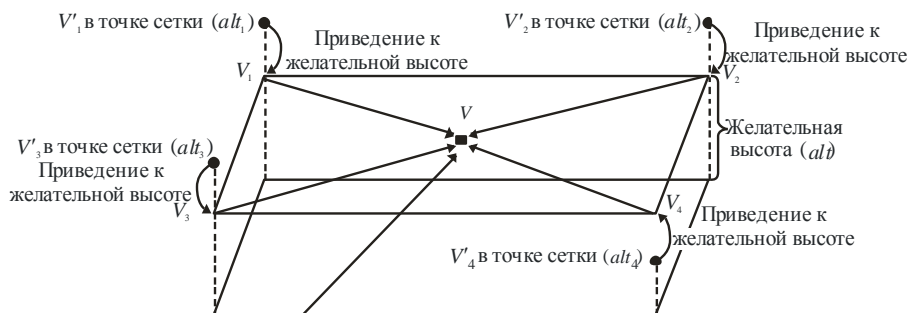
- b) для этих двух вероятностей, p_{above} и p_{below} , определяется общее объемное содержание водяных паров, V'_1, V'_2, V'_3 и V'_4 , в четырех ближайших точках сетки координат;
- c) с использованием файлов годовых и месячных данных приведенной высоты водяных паров, соответствующих вероятностям p_{above} и p_{below} , определяется приведенная высота водяных паров в четырех ближайших точках сетки, $vsch_1, vsch_2, vsch_3$ и $vsch_4$ для каждой вероятности, p_{above} и p_{below} ;
- d) с использованием Рекомендации МСЭ-R P.1511 определяются значения топографической высоты, alt_1, alt_2, alt_3 и alt_4 , четырех ближайших точек координатной сетки;
- e) для каждой из четырех ближайших точек сетки и для каждой вероятности определяются значения общего объемного содержания водяных паров, V_1, V_2, V_3 и V_4 , на желательной высоте, alt , путем масштабирования значений общего объемного содержания водяных паров, V'_1, V'_2, V'_3 и V'_4 , с помощью следующего отношения:

$$V_i = V'_i e^{\frac{alt - alt_i}{vsch_i}} \quad \text{для } i = 1, 2, 3, 4; \quad (2)$$

- f) определяются значения общего объемного содержания водяных паров, V_{above} и V_{below} , при вероятностях p_{above} и p_{below} и в желательной точке путем билинейной интерполяции четырех значений общего объемного содержания водяных паров, V_1, V_2, V_3 и V_4 , в четырех точках сетки, как описано в Рекомендации МСЭ-R P.1144 (в справочных целях процедура определения V_{above} и V_{below} по V'_1, V'_2, V'_3 и V'_4 показана на рисунке 2);
- g) определяется общее объемное содержание водяных паров, V , при желательной вероятности, p , путем интерполяции V_{above} и V_{below} в зависимости от p_{above} и p_{below} к p в линейном масштабе зависимости V от $\log p$.

РИСУНОК 2

Процедура интерполяции при вероятностях выше и ниже желательной вероятности



Билинейная интерполяция V к желательной широте, долготе и высоте по четырем точкам сетки, приведенным к одной высоте.