

Анализ моделей для оценки потерь распространения сигналов при расчетах электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств

Б. М. Антипин¹, Е. М. Виноградов²

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича

¹boris_antipin@mail.ru, ²vinog1936@mail.ru

Аннотация. Рассматриваются модифицированная модель Хата и модель из рекомендации ITU-R P. 1546 для оценки потерь распространения излучений в городских условиях плотной застройки. Радиоэлектронные средства относятся к сухопутной подвижной службе в диапазоне 150–450 МГц, работающие на расстояниях до 300 м. Представлены результаты расчетов затухания для обеих моделей. Дан краткий обзор некоторых других моделей оценки потерь распространения излучений.

Ключевые слова: распространение излучения; оценка потерь в различных средах; модели для оценки потерь

I. ВВЕДЕНИЕ

Задача оценки потерь при распространении радиоизлучений в различных условиях окружения регулярно возникает при решении задач электромагнитной совместимости радиоэлектронных (ЭМС) средств (РЭС). При этом выбор модели для оценки потерь может оказать существенное влияние на корректность полученных результатов оценки ЭМС. При выборе модели необходимо ориентироваться на диапазон частот, для которого она применима, характер местности (пригородная зона, городская застройка, свободное распространение), а также другие характеристики модели. Далее рассматриваются модели, позволяющие оценить потери при распространении излучений РЭС сухопутной подвижной службы диапазона 150–450 МГц в условиях плотной городской застройки на расстояниях до 300 м.

II. ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ МОДЕЛЕЙ РАСПРОСТРАНЕНИЯ СИГНАЛОВ

В настоящее время существует достаточно методик для оценки потерь распространения излучений, которые сформулированы в документах и отчетах международных организаций. Рассмотрим некоторые из них.

Модель распространения сигналов в свободном пространстве. Она является чисто теоретической, не имеет ограничений по дальности и частоте, излучатель и антенна приемника должны находиться в пределах прямой видимости. На практике модель используют, когда влиянием окружения на распространения радиоволн

можно пренебречь, т. е. первая зона Френеля свободна от препятствий.

Модифицированная модель Хата [1]. Диапазон частот модели: 30 МГц – 3 ГГц. Диапазон дальностей от 40 м и теоретически может использоваться до 100 км, так как учитывает кривизну Земли. На практике рекомендуется использовать модель до 40 км, которая предназначена для обслуживания мобильных и других служб, работающих в условиях отсутствия прямой видимости. Модель рассматривает потери при распространении электромагнитных волн в городе, пригородах и сельской местности. Высоты антенн до 200 м. При ограничениях на высоту подвеса антенн до 3 м. Модель также может использоваться для малых дальностей, когда имеют место условия прямой видимости или условия очень близкие к прямой видимости.

Модель Эгли [2]. Диапазон частот, в котором может быть использована модель, составляет 40–1000 МГц. Является сильно упрощенной моделью, предназначенной для оценки средних потерь в сельской местности. Предполагает гладкую холмистую поверхность со средней высотой неровностей примерно 15 м.

Рекомендация МСЭ-R P.1546-6 [3]. Диапазон частот модели: 30 МГц – 4 ГГц. Диапазон дальностей, в пределах которого представлены графики рекомендации, составляет от 1 км до 1000 км. В то же время, начиная с 4-го релиза, в рекомендации приводится процедура, позволяющая оценить потери на трассах длиной менее 1 км. Помимо информации о поверхности, над которой происходит распространение радиоволн, графики характеризуются еще двумя параметрами: процентом времени, в течение которого значение напряженности может превышать значение, полученное из графика, и процентом мест в пределах зоны обслуживания, где напряженность поля, полученная из графиков будет также превышена. Для графиков процент мест взят равным 50 %, но посредством расчетов, предложенных в рекомендации, он может быть определен в интервале от 1 до 99 %.

Рекомендация позволяет выполнять оценку основных потерь при распространении радиоволн в условиях

города, пригорода и сельской местности. В рекомендации нет прямого указания, к какому окружению относятся приведенные в рекомендации графики. Это определяется при оценке коэффициента коррекции приемной антенны, когда определяют высоту, на которой происходит рассеяние электромагнитных волн объектами, окружающими приемную антенну (высоту клаттера). Именно высота клаттера определяет, имеем ли дело с городом, пригородом или сельской местностью.

Рекомендация МСЭ-R P.452-16 [4]. Диапазон частот модели: 0,1 ГГц – 50 ГГц. Дальность до 10000 км. Предназначена для оценки помех, возникающих между станциями, находящимися на поверхности Земли, а также между этими станциями и космическими системами. Оценка потерь проводится для условий ясного неба и за счет рассеяния на гидрометеорах. Рекомендация учитывает такие возможные явления, как дифракция и тропосферное рассеяние, и использует ряд математических моделей, связанных с оценкой этих явлений. Окружения в виде города, пригорода, сельской местности не рассматривается.

Рекомендация МСЭ-R P.528-4 [5]. Диапазон частот модели: 125 МГц – 15,5 ГГц. Дальность до 1800 км. Предназначена для оценки потерь на линиях земля – воздух, земля – спутник, воздух – воздух, воздух – спутник, спутник – спутник.

Рекомендация МСЭ-R P.1411-10 [6]. Диапазон частот модели: 300 МГц – 100 ГГц. Дальность менее 3 км. Рассматривается городская зона высотной застройки, городская зона многоэтажной застройки, городская зона малоэтажной застройки/пригородная зона, сельская местность. Распространение в уличных каньонах.

Рекомендация МСЭ-R P.1812 [7]. Дополняет рекомендацию МСЭ-R P.1546. Диапазон частот модели 30 МГц – 3 ГГц. Длина трасс от 0,25 км до 3000 км. Оба терминала находятся на высоте не более 3 км. Прогнозирует среднее значение сигнала, превышаемое при многолучевом распространении в течение заданного процента времени, лежащего в пределах от 1 % до 50 % и для данного процента мест размещения в пределах от 1 % до 99 %. Требуется информация о профиле трассы. Учитывает распространение в пределах прямой видимости, дифракцию, тропосферное рассеяние, аномальное распространение (пространственный волновод и отражение/рефракцию в тропосфере), потери при прохождении электромагнитной волны внутрь здания. Для разных видов окружения – плотный город, город, пригород, сельская местность – используется понятие высоты клаттера (высоты, на которой происходит рассеяние электромагнитных волн на объектах, окружающих приемник) аналогично рекомендации P.1546-6.

Дифракционная модель Уолфиша–Икегами [8]. Диапазон частот модели 800 МГц – 2000 МГц. Длина трасс от 20 м до 5000 м. Высота подвеса антенн базовой станции от 4 до 50 м, мобильной от 1 до 3 м. Предназначена для оценки потерь в городе и пригородах. Модель требует топографических о структуре города и параметров

объектов, окружающих антенну передатчика, как-то: средней высоты зданий, средней ширине улиц, среднее расстояние между зданиями по краям улицы и ряда других параметров.

III. ОЦЕНКА ПОТЕРЬ РАСПРОСТРАНЕНИЯ СИГНАЛОВ С ПОМОЩЬЮ РЕКОМЕНДАЦИИ МСЭ-R P.1546-6

Для расчета потерь с помощью данной рекомендации используются кривые распространения, которые представляют значения напряженности поля для эффективной излучаемой мощности 1 кВт на номинальных частотах 100, 600 и 2000 МГц. Для получения значения напряженности поля для любой заданной частоты следует использовать интерполяцию или экстраполяцию значений, полученных для этих номинальных частот.

Кривые для сухопутных трасс построены на основе данных, полученных главным образом в условиях умеренного климата, характерного для Европы и Северной Америки.

Для получения результатов оценки затухания с помощью данной рекомендации необходимо выполнить пошаговую процедуру, которая конкретизирована в Приложении 6 данной Рекомендации.

В табл. I приводятся рассчитанные значения потерь (затухание) при распространении излучений в городских условиях с плотной застройкой для частот 150–440 МГц.

ТАБЛИЦА I ЗАТУХАНИЯ СИГНАЛОВ В УСЛОВИЯХ ПЛОТНОЙ ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКИ, ДБ

d, км	135 МГц	150 МГц	174 МГц	330 МГц	440 МГц
0,05	50,77	51,68	53,01	58,64	61,18
0,06	53,52	54,44	55,8	61,47	64,03
0,07	55,87	56,8	58,17	63,89	66,49
0,08	57,92	58,86	60,25	66,01	68,63
0,09	59,76	60,7	62,11	67,91	70,54
0,1	61,41	62,35	63,77	69,6	72,25
0,12	64,28	65,23	66,67	72,57	75,25
0,15	67,8	68,76	70,43	76,19	78,91
0,2	72,35	73,33	74,83	80,89	83,67
0,3	78,77	79,77	81,33	87,54	90,38

IV. ОЦЕНКА ПОТЕРЬ РАСПРОСТРАНЕНИЯ СИГНАЛОВ С ПОМОЩЬЮ МОДИФИЦИРОВАННОЙ МОДЕЛИ ХАТА

Модифицированная модель Хата позволяет провести аналитический расчет средних потерь сигналов в различных условиях распространения сигналов. Предлагаемые формулы для расчета учитывают, прежде всего, протяженность трассы, а также высоты подвеса приемной и передающей антенн. Имеется также возможность учета флуктуаций мощности сигналов при распространении применительно к логнормальному закону распределения.

В табл. II приводятся рассчитанные значения потерь (затухание) при распространении излучений в городских условиях с плотной застройкой для частот 150–440 МГц.

ТАБЛИЦА II ЗАТУХАНИЯ СИГНАЛОВ В УСЛОВИЯХ ПЛОТНОЙ ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКИ, ДБ

d, км	135 МГц	150 МГц	174 МГц	330 МГц	440 МГц
0,05	53,82	54,71	56,07	61,93	64,57
0,06	59,04	59,92	61,33	67,44	70,19
0,07	63,45	64,32	65,79	72,1	74,94
0,08	67,28	68,14	69,64	76,14	79,06
0,09	70,66	71,5	73,04	79,7	82,69
0,1	73,67	74,51	76,09	82,88	85,94
0,12	76,46	77,3	78,87	85,67	88,73
0,15	79,88	80,71	82,89	89,09	92,14
0,2	84,28	85,11	86,69	93,49	96,54
0,3	90,48	91,32	92,89	99,69	102,75

V. СРАВНЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Полученные результаты позволяют сравнить модель из Рекомендации МСЭ-R P.1546 и модифицированную модель Хата применительно к используемым в расчетах расстояниям и частотам. Видно, что потери распространения сигналов на всех частотах при заданных расстояниях, полученные в результате расчетов для первой модели оказались меньше, чем для второй.

Это также наглядно представлено для частоты 440 МГц на рис. 1. В табл. III представлены результаты сравнения потерь распространения, полученные с использованием обеих моделей.

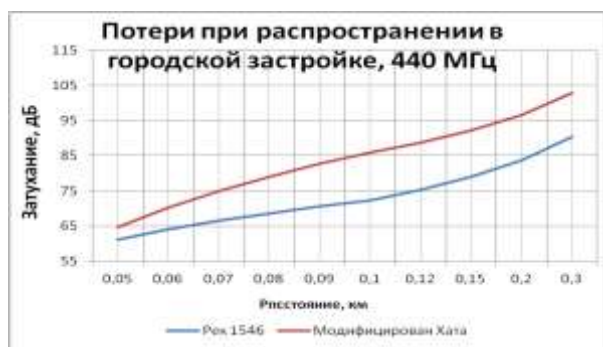


Рис. 1. Сравнение затухания сигналов для обеих моделей

ТАБЛИЦА III СРАВНЕНИЕ ПОТЕРЬ ПРИ РАСПРОСТРАНЕНИИ СИГНАЛОВ, ДБ

d, км	135 МГц	150 МГц	174 МГц	330 МГц	440 МГц
0,05	3,05	3,03	3,06	3,29	3,39
0,06	5,52	5,48	5,53	5,97	6,16
0,07	7,58	7,52	7,62	8,21	8,45
0,08	9,36	9,28	9,39	10,13	10,43
0,09	10,9	10,8	10,93	11,79	12,15
0,1	12,26	12,16	12,32	13,28	13,69
0,12	12,18	12,07	12,2	13,1	13,48
0,15	12,08	11,95	12,46	12,9	13,23
0,2	11,93	11,78	11,86	12,6	12,87
0,3	11,71	11,55	11,56	12,15	12,37

Следует напомнить, что потери распространения сигналов в обеих моделях представляю собой средние (медианные) базовые потери.

VI. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполнены расчеты для оценки потерь при распространении излучений РЭС сухопутной подвижной службы диапазона 150–450 МГц с использованием моделей [1, 3].

Проведено сравнение полученных оценок для обеих моделей.

Данные результаты могут быть полезны при расчетах электромагнитной совместимости РЭС в условиях, которые сформулированы в данной работе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] ECC Report 252 SEAMCAT Handbook. Edition 2. Approved 29 April 2016.
- [2] Egli J.J. Radio Propagation Above 40 MC Over Irregular Terrain.//Proc. of the IRE. October, 1957. P.1383–1391.
- [3] Рек. МСЭ-R P.1546-6. Метод прогнозирования для трасс связи «пункта с зоной» для наземных служб в диапазоне частот от 30 МГц до 4000 МГц.
- [4] Рек. МСЭ-R P.452-16. Процедура прогнозирования для оценки помех между станциями, находящимися на поверхности Земли, на частотах выше приблизительно 0,1 ГГц.
- [5] Рек. МСЭ-R P.528-4. Метод прогнозирования распространения радиоволн для воздушной подвижной и радионавигационной служб, работающих в диапазонах ОВЧ, УВЧ и СВЧ.
- [6] Рек. МСЭ-R P.1411-10. Данные о распространении радиоволн и методы прогнозирования для планирования наружных систем радиосвязи малого радиуса действия и локальных радиосетей в диапазоне частот от 300 МГц до 100 ГГц.
- [7] Рек. МСЭ-R P.1812-5 Метод прогнозирования распространения сигнала на конкретной трассе для наземных служб «из пункта в зону» в диапазоне УВЧ и ОВЧ.
- [8] Häggman Sven-Gustav. Review of mobile channel modeling. – Helsinki University of Technology, 2001.