

РАСЧЕТ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ СТАНДАРТОВ DVB-T2 И LTE

*Жумабаева Ж.М., преподаватель, КГТУ имени И.Раззакова,
Кыргызская Республика, г. Бишкек*

В процессе решения задачи по обеспечению электромагнитной совместимости РЭС ключевым моментом является правильный выбор необходимого критерия. Обычно под критерием оценки ЭМС понимается комплексное правило, выполнение которого обеспечивает требуемое качество функционирования взаимодействующих РЭС в условиях воздействия непреднамеренных помех. Комплексность правила состоит в том, что оно устанавливает влияние энергетических, частотных и пространственных параметров радиоэлектронных средств друг на друга.

Обычно уравнение ЭМС составляют для "дуэльной" ситуации, когда оценка ЭМС производится для двух РЭС, одно из которых рассматривается в качестве приемника полезного сигнала, а второе РЭС является источником непреднамеренных радиопомех. В общем случае, возможно, учесть несколько источников непреднамеренных радиопомех.

Ключевые слова: Электромагнитная совместимость (ЭМС), Радиоэлектронные средства (РЭС), DVB-T2, LTE, сигнал, помеха, излучаемая мощность.

CALCULATION OF ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY OF DVB-T2 AND LTE STANDARDS

*Zhumabayeva Zh.M., Lecturer, KSTU named after I. Razzakov, Bishkek,
Kyrgyz Republic*

In the process of solving the problem of ensuring the electromagnetic compatibility of RES, the key point is the correct choice of the necessary criterion. Usually, the EMC evaluation criterion is understood as a complex rule, the implementation of which ensures the required quality of the functioning of the

interacting RES under the influence of unintentional interference. The complexity of the rule lies in the fact that it establishes the influence of the energy, frequency and spatial parameters of radio-electronic means on each other.

Usually, the EMC equation is made up for a "dueling" situation, when the EMC assessment is made for two RES, one of which is considered as a receiver of a useful signal, and the second RES is a source of unintentional radio interference. In general, it is possible to take into account several sources of unintentional radio interference.

Key words: Electromagnetic compatibility (EMC), Radio electronic devices (RES), DVB-T2, LTE, signal, interference, radiated power.

Требования ЭМС по обеспечению желаемого качества приема определяются значениями используемого защитного отношения сигнал/помеха и процентов времени и мест, в течение которого это защитное отношение должно обеспечиваться с учетом условий приема:

$$E_c - E_{\text{пом}} \geq A_3,$$

где A_3 , дБ – требуемое защитное отношение сигнала к помехе на границе зоны обслуживания, представляющее собой минимальное значение отношения полезного сигнала к мешающему сигналу на входе приемника;

E_{min} , дБ – минимальная напряженность поля сигнала на входе приемника, при которой обеспечивается требуемое качество изображения, при отсутствии помех от других станций;

E_c , дБ – напряженность поля сигнала и помехи в рассматриваемой точке.

По мере удаленности от пункта вещания значение напряженности поля E_c изменяется по случайному закону. Поэтому при расчетах используется усредненное по местоположению L и времени T значение напряженности поля $E_{(L,T)}$, т. е. $E_{(50,50)}$, которое обеспечивается в 50% мест и в 50% времени при условии соблюдения определенных стандартных условий,

действительных для выбранной модели распространения. E_c в любой точке зоны покрытия рассчитывают по формуле:

$$E_c = E_{(50,50)} + P_c,$$

где $E_{(50,50)}$ – напряженность поля для 50 % мест и 50 % времени, определяемая в расчетной точке для высоты приемной антенны 10 м и условиях приема на открытой местности при эффективной излучаемой мощности равной 1 кВт;

P_c – эффективная излучаемая мощность полезной станции, вычисляемая по формуле:

$$P_c = P_{\text{пер}} + G_{\text{пер}} - \eta_{\text{ф}} \text{ [дБ]},$$

где $P_{\text{пер}}$ – мощность передатчика, дБ;

$G_{\text{пер}}$ – коэффициент усиления передающей антенны относительно симметричного

полуволнового вибратора, дБд.

$\eta_{\text{ф}}$ – коэффициент потерь в фидере приемной антенны, дБ.

При расчетах на практике, необходимо определиться с основными техническими параметрами РЭС.

Характеристика	LTE	DVB-T2
Полоса частот, МГц	Передача 791-801 МГц Прием 832-842 МГц	Передача 42 ТВК (638-646) МГц
Мощность базовой станции, Вт	40 Вт	1000 Вт
Коэффициент усиления антенны базовой станции, дБ	20 дБ	8 дБ
Ширина полосы канала, МГц	10 МГц	8 МГц
Высота базовой станции, м	10 м	25 м
Потери в антенно-фидерном тракте, дБ	2 дБ	3 дБ
Среда распространения радиоволн	Город	Город

В данной статье в качестве модели распространения радиоволн выбрана рекомендация ITU–R P.1546.5, которая позволяет определить значения напряженности поля при помощи кривых распространения радиоволн. Кривые, представленные в рекомендации, отражают функциональную зависимость напряженности поля от дальности связи при определенных параметрах радиосетей.

Модель описывает процесс распространения (затухания) радиоволн для РЭС наземных служб связи, использующих диапазон 30 МГц ÷ 3000 МГц. Кривые распространения построены для мощности передатчика 1 кВт при использовании полуволнового вибратора в качестве антенны.

Кривые распространения представляют зависимость значения напряженности поля E от:

f – частоты, на которой работает передатчик, МГц. В рекомендации ITU–R P.1546 приведены семейства кривых распространения радиоволн для частот 100, 600, 2000 МГц.;

L – процента мест, для всех кривых, представленных в ITU–R P.1546
 $L = 50\%$

T – процента времени. Кривые распространения в рекомендации ITU–R P.1546 представляют значения напряженности поля, превышаемые в течении 50%, 10% и 1% времени.;

h_1 – эффективной высоты подвеса передающей антенны, кривые распространения построены. Кривые приведены для разных высот передающей антенны при высоте приемной антенны 10 м.;

Получим поэтапную процедуру получения значения напряженности поля в зависимости от расстояния по кривым распространения радиоволн. В случае если необходимые значения одного из параметров не отображены в кривых, производится процедура интерполяции.

Рассмотрим минимальный перечень входных параметров, при помощи которых можно получить значения зависимостей напряженности из кривых.

Следует учитывать, что существуют предельные значения данных параметров, в пределах которых кривые будут являться достоверными.

Параметр	Определение	Пределы
$f, \text{ МГц}$	Рабочая частота	30–3 000 МГц
$d, \text{ км}$	Горизонтальная длина трассы	Не более 1 000 км
$T, \%$	Процент времени, для которого рассчитывается напряженность	1–50%
$h_1, \text{ м}$	Высота передающей/базовой антенны, как показано на кривых	Суша – нижний предел не ограничен, верхний предел – 3 000 м; море – нижний предел не менее 1 м, верхний предел – 3 000 м
$h_a, \text{ м}$	Высота передающей антенны над уровнем земли	Более 1 м
$h_b, \text{ м}$	Высота базовой антенны над высотой рельефа местности, усредненная для расстояний в диапазоне $0,2d-d$ км, где d не превышает 15 км и где имеются данные о рельефе местности	Пределов нет – однако следует иметь в виду, что этот параметр существует только для сухопутных трасс, где $d < 15$ км
$R_1, \text{ м}$	Репрезентативная высота местных препятствий (вокруг места расположения передатчика)	Пределов нет
$R_2, \text{ м}$	Репрезентативная высота местных препятствий (вокруг места расположения приемника)	Пределов нет
$\theta_{тца}, \text{ град.}$	Угол просвета местности	от $0,55^\circ$ до 40°

1) Изначально определяется тип трассы, по которой осуществляется распространение радиосигналов из следующих вариантов:

- a) сухопутная;
- b) морская «теплая»;
- c) морская «холодная».

В том случае, когда не удастся однозначно определить тип трассы (трасса является смешанной), необходимо определить два типа трассы, которые будут расцениваться как первичный и вторичный тип распространения. Когда трассу можно определить к какому-то определенному типу, то считают, что на данной трассе имеет место только один (первичный) тип распространения, и пункт 11, который содержит формулы для расчета напряженности для смешанных трасс пропускается.

2) Для любого заданного процента времени в диапазоне от 1% до 50% следующим образом определяются пара номинальных процентов времени для нахождения промежуточного значения путем процедуры интерполяции:

а) когда заданный процент времени больше 1, но меньше 10, то нижний и верхний номинальные проценты приравниваются к 1 и 10 соответственно;

б) когда заданный процент времени больше 10, но меньше 50 то нижний и верхний номинальные проценты приравниваются к 10 и 50 соответственно;

3) Для любой заданной частоты в диапазоне от 30 МГц до 3000 МГц определяются пара номинальных частот для нахождения промежуточного значения путем процедуры интерполяции:

а) когда требуемая частота меньше 600 МГц, то нижняя и верхняя номинальные частоты приравниваются к 100 МГц и 600 МГц соответственно;

б) когда требуемая частота больше 600 МГц, то нижняя и верхняя номинальные частоты приравниваются к 600 МГц и 2000 МГц соответственно;

4) По таблице 1 определяется нижнее и верхнее номинальные значения расстояния, наиболее близкие к требуемому расстоянию.

Таблица 1

1	2	3	4	5	6	7
8	9	10	20	30	40	50
60	70	80	90	100	200	300
400	500	600	700	800	900	1000

5) Если в пункте 1 тип распространения был определен как первый, то далее необходимо выполнить пункты 6–11.

б) Если нижний номинальный процент времени отличается от предложенных в пункте 2, то необходимо выполнить пункты 7–10.

7) Если нижняя номинальная частота отличается от предложенных в пункте 3, то необходимо выполнить пункты 8–9.

8) Определяется напряженность поля, которая превышает в 50% мест, для приемной/мобильной антенны на высоте R2, представляющей высоту точки над землей, для требуемого расстояния и высоты передающей/базовой антенны h_1 , значение которой равно или превышает 10 м:

8.1. Необходимо определить нижнее и верхнее номинальные значения высоты h_1 . Если h_1 совпадает с одним из номинальных значений, отображенной в кривых распространения: 10; 20; 37,5; 75; 150; 300; 600 или 1200 м, то оно расценивается как нижнее номинальное значение для h_1 , то процедура интерполяции в пункте 8.6 для данного случая не требуется.

8.2. Для нижнего номинального значения высоты h_1 необходимо выполнить пункты с 8.3 по 8.5.

8.3. Для нижнего номинального значения расстояния d необходимо выполнить пункт 8.4.

8.4. Необходимо определить напряженность, которая превышает в 50% мест, для приемной/подвижной антенны на высоте R2, для требуемых значений расстояния, d , и высоты передающей/базовой антенны, h_1 .

8.5. Если заданное расстояние не совпадает с нижним номинальным значением расстояния, то необходимо повторить пункт 8.4 для верхнего номинального значения расстояния и провести интерполяцию этих двух значений напряженности поля по необходимому расстоянию.

При необходимости напряженность поля E_{max} должна быть ограничена максимальным значением, которое можно вычислить следующим образом для сухопутных трасс:

$$E_{max} = E_{fs} \text{ [дБ]},$$

Для морских трасс соответственно:

$$E_{max} = E_{fs} + E_{se} \text{ [дБ]},$$

где E_{fs} – напряженность поля в свободном пространстве для эффективной излучающей мощности 1 кВт, определяемая как:

$$E_{fs} = 106,9 - 20 \log(d) \text{ [дБ]},$$

E_{se} – усиление, которое должно быть учтено для кривых морских трасс и определяемое как:

$$E_{se} = 2,38\{1 - \exp(-d/8,94)\} \cdot \log(50/t) \text{ [дБ]},$$

где d – расстояние в км; t – заданный процент времени.

Необходимо стараться избегать того, чтобы в принципе любая поправка, повышающая напряженность поля, способствовала получению значений, превышающих пределы для рассматриваемого семейства кривых.

8.6. Если заданная высота передающей/базовой антенны h_1 не совпадает ни с одним из номинальных значений, то необходимо повторить пункты с 8.3 по 8.5 и провести интерполяцию напряженности поля для h_1 .

9) Если заданная частота не совпадает с нижней номинальной частотой, необходимо повторить пункт 8 для верхней номинальной частоты и интерполировать полученную пару значений напряженности. При необходимости полученную напряженность поля также можно ограничить максимальным значением по методу, приведенному в пункте 8.6.

10) Если требуемый процент времени не совпадает с нижним номинальным процентом времени, то необходимо повторить пункты 7–9 для верхнего номинального процента времени и интерполировать полученную пару значений напряженности.

11) В том случае, когда известно значение угла просвета местности для приемной/подвижной антенны рядом с сушей, то в полученное после выполнения предыдущих пунктов значение напряженности необходимо ввести поправку на угол просвета местности для приемной/подвижной антенны.

Приступим к расчету напряженности электромагнитного поля передатчика DVB-T2 согласно приведенным в пункте 8 этапам. В данном случае трасса распространения является сухопутной, соответственно в ходе дальнейших расчетов будут использованы семейства кривых распространения для сухопутных трасс.

Определим максимальную напряженность поля E_{max} для сухопутной трассы:

$$E_{max} = E_{fs} = 106,9 - 20 \log(d) = 106,9 - 20 \log(2) = 100 \text{ [дБ]}$$

В качестве номинального процента времени для расчетов возьмем 50%.

Частота передатчика ЦТВ (638–646 МГц), для которого проводится расчет, входит в требуемый для использования рекомендации диапазон, однако не соответствует номинальным частотам (100 МГц, 600 МГц и 2000 МГц), поэтому необходимо провести интерполяцию между ближайшими номинальными частотами. Так как частота передатчика больше 600 МГц, то нижнюю и верхнюю номинальные частоты приравняем соответственно к 600 МГц и 2000 МГц.

Для дальнейшего определения зависимости напряженности поля от частоты возьмем усредненное значение частоты передатчика ЦТВ:

$$f = (646 + 638)/2 = 642 \text{ [МГц]}$$

Исходя из выборки, проведенной выше, в ходе дальнейших расчетов используем следующие семейства кривых:

При помощи карты проведем измерение длины трассы d между двумя заданными базовыми станциями и примем ее равной 2 км.

На данном этапе для нахождения напряженности по семейству кривых необходимо будет провести интерполяцию по следующим параметрам:

1) по высоте h_1 , так как заданная высота БС $h_1 = 25$ м, и это значение не соответствует ни одному из восьми номинальных значений h_1 , а именно 10; 20; 37,5; 75; 150; 300; 600 или 1200 м. Следовательно, необходимо взять ближайшую пару значений, которая бы соответствовала нижнему и верхнему номинальным значениям для осуществления процесса интерполяции. В данном случае нижним значением h_{inf} является 20 м, а верхним значением $h_{sup} = 37,5$ м.

2) по частоте $f = 642$ МГц необходимо для ближайших номинальных частот провести интерполяцию после того, как будет проведена

интерполяция значений напряженности поля по кривым для частот 600 МГц и 2000 МГц для высоты 25 м.

Интерполяция напряженности поля как функции от высоты для верхней частоты 2000 МГц:

$$E_{(50,50)} = E_{inf} + (E_{sup} - E_{inf}) \log(h_1/h_{inf})/\log(h_{sup}/h_{inf}) = 86 + (89 - 86)\log(25/20)/\log(37.5/20) = 87 \text{ [дБ]},$$

где E_{inf} – значение напряженности поля для h_{inf} на требуемом расстоянии (в данном случае на расстоянии 2 км), определенное по кривой с рис. 3.4;

E_{sup} – значение напряженности поля для h_{sup} на требуемом расстоянии (в данном случае на расстоянии 2 км).

Получили пару значений напряженности для высоты 25 м, которые далее можно интерполировать в зависимости от частоты. При этом для дальнейших расчетов напряженность поля, полученная по кривым для частоты 600 МГц будет считаться $E_{inf} = 85$ дБ, а напряженность поля, полученная по кривым для частоты 2000 МГц – $E_{sup} = 97,2$ дБ.

Для сухопутных трасс или для морских трасс, в случаях, когда заданная частота выше 100 МГц, требуемая напряженность поля $E_{(50,50)}$ рассчитывается следующим образом:

$$E_{(50,50)} = E_{inf} + (E_{sup} - E_{inf}) \log(f/f_{inf})/\log(f_{sup}/f_{inf}) = 85 + (87 - 85)\log(642/600)/\log(2000/600) = 85,1 \text{ [дБ]},$$

где: f – частота, для которой с;

f_{inf} – ближайшая номинальная эффективная частота меньше f ;

f_{sup} – ближайшая номинальная эффективная частота больше f ;

E_{inf} – значение напряженности поля для f_{inf} на требуемом расстоянии (в данном случае на расстоянии 2 км);

E_{sup} – значение напряженности поля для f_{sup} на требуемом расстоянии (в данном случае на расстоянии 2 км).

Получили напряженность поля от передатчика ЦТВ $E_{(50,50)} = 85,1$ [дБ], используемое для нахождения E_c по уравнениям (3.2), (3.3):

$$E_c = E_{(50,50)} + P_c = P_c = E_{(50,50)} + P_{\text{пер}} + G_{\text{пер}} - \eta_{\phi}$$

$$= 85,1 + 10 \log(1000) + 3,7 - 5 = 85,1 + 30 + 3,7 - 5 = 113,8$$

Для данного передатчика DVB-T2 $G_{\text{пер}} = 3,7$ дБд*

* дБд (dBd) – децибел относительно полуволнового вибратора (диполя).

Обозначение применяется для описания характеристик антенны по сравнению с полуволновым вибратором ($0 \text{ dBd} = 2,15 \text{ dBi}$). По условию коэффициент усиления передающей антенны передатчика DVB-T2 равен 8 дБ, что составляет $8/2,15 = 3,7$ дБд.

Эталонная частота, МГц	200	500	800
Потери в фидере η_{ϕ} , дБ	2	3	5

Напряженность поля помехи в заданной расчетной точке определяют по формуле:

$$E_{\text{пом}} = E_{(50,1)} + P_{\text{п}}$$

где $E_{(50,1)}$ – напряженность поля для 50 % мест и 1 % времени, определяемая в расчетной точке для высоты приемной антенны 10 м и условий приема на открытой местности при ЭИМ, равной 1 кВт;

$P_{\text{п}}$ — эффективная излучаемая мощность мешающей станции, дБ(кВт).

$P_{\text{п}}$ – эффективная излучаемая мощность мешающей станции, вычисляемая по формуле:

$$P_{\text{п}} = P_{\text{пер м}} + G_{\text{пер м}} [\text{дБ}],$$

где $P_{\text{пер м}}$ – мощность мешающего передатчика, дБ;

$G_{\text{пер м}}$ – коэффициент усиления мешающей антенны относительно симметричного полуволнового вибратора, дБд. Для мешающей станции LTE $G_{\text{пер м}} = 20/2,15 = 9,3$ дБд.

Отсюда получаем эффективную излучаемую мощность мешающей станции LTE:

$$P_{\text{п}} = 10 \log(40) + 9,3 = 25,3 [\text{дБ}]$$

Исходя из полученных данных проверим неравенство для обеспечения ЭМС:

$$E_c - E_{\text{пом}} \geq A_z$$
$$113,8 - 106 \geq -50$$
$$7,8 \geq -50$$

Неравенство выполняется, соответственно в теории ЭМС между передатчиком ЦТВ DVB-T2 и БС LTE должна выполняться. Однако, данный факт противоречит наличию взаимных помех на практике.

Автор считает верными проделанные по данной методике теоретические расчеты, так как в теории при таком значительном разnose рабочих частот двух станций (154 МГц) электромагнитная совместимость должна обеспечиваться.

В связи с этим автор считает нецелесообразным дальнейший расчёт для более дальних расстояний по данной методике, так как даже при текущей довольно близкой взаимоудаленности базовых станций расчёт показал, что условия ЭМС соблюдены.

Заключение

В ходе данной расчетов в данной статье, согласно выбранным техническим показателям, был проведен расчет электромагнитной совместимости стандартов DVB-T2 и LTE по методике Международного союза электросвязи.

В результате расчетов ЭМС между двумя данными станциями по методике, представленной в Рекомендации ITU-R P.1546 было установлено, что условие ЭМС для этих двух станций соблюдено.