

УДК 621.396

**КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТОДОВ АНАЛИЗА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ
СОВМЕСТИМОСТИ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ**

ЛАПИН В.А., ИКОННИКОВ С.Н., МАКОВЕЕНКО Д.А.

Одесская национальная академия связи им. А.С. Попова

CLASSIFICATION OF EMC ANALYSIS METHODS OF RADIO ELECTRONIC MEANS

LAPIN V.A., IKONNIKOV S.N., MAKOVEYENKO D.A.

Odessa National Academy of Telecommunications n.a. A.S. Popov

***Аннотация.** В статье приведена классификация методов определения условий ЭМС радиоэлектронных средств, даны определения метода и методики расчета, дана классификация методик расчета параметров ЭМС согласно рекомендациям Международного союза электросвязи, а также классифицированы модели распространения сигнала, как ключевого элемента в определении условий совместимости радиоэлектронных средств.*

***Abstract.** The article describes the methods of determining the classification of conditions EMC electronic means, given the method definition and calculation method, the classification of methods for calculating the parameters of EMC in accordance with the recommendations of the International Telecommunication Union, as well as signal propagation models classified as a key element in determining the conditions of compatibility of radio electronic means.*

ВВЕДЕНИЕ

Обеспечение электромагнитной совместимости (ЭМС) радиоэлектронных средств (РЭС) имеет важное практическое значение. Это, прежде всего, обусловлено тем, что номенклатура РЭС, используемых в различных областях человеческой деятельности, быстро возрастает, также как возрастает количество радиосредств, приходящихся на единицу площади и работающих в совмещенных и смежных полосах частот на ограниченном пространстве. Вследствие этого проблема эффективного использования радиочастотного спектра и обеспечения ЭМС РЭС, т.е. условий нормальной работы РЭС без вредных (недопустимых) взаимных помех, становится весьма сложной. Она имеет не только национальный, но и международный аспект, так как радиоволны не знают национальных границ, поэтому от решения проблемы эффективного использования РЧС зависит возможность развития радиосвязи и вещания в каждой стране.

Общеизвестно, что в настоящее время работа радиоэлектронных средств различного целевого назначения осуществляется, как правило, в условиях непреднамеренных помех. Это обусловлено, в первую очередь:

- распределением спектра на глобальном (региональном) уровне различным радиослужбам в совмещенных полосах частот;
- высокой плотностью размещения (на единицу площади) РЭС различного целевого назначения с излучениями различного класса;
- несовершенством аппаратуры формирования и излучения радиосигналов, вследствие чего маска спектра излучения не представляет собой строго прямоугольную форму и содержит значительные уровни внеполосных и побочных излучений;
- несовершенством приемных устройств, обеспечивающих в силу известных причин прием не только полезных сигналов в основной полосе пропускания, но и непреднамеренных помех, принимаемых, в том числе, и вне пределов основной полосы;
- наличие высокоэнергетических производств и электрифицированного транспорта вблизи уже размещенных РЭС, которым в некоторых случаях могут создаваться неприемлемые помехи в широкой полосе частот (9 кГц – 100 ГГц).

Все вышеперечисленные факторы ухудшения электромагнитной обстановки обуславливают принятие соответствующих мер, которые могли бы обеспечить требуемые условия электромагнитной совместимости РЭС различного целевого назначения в реальных условиях жизнедеятельности.

Решению проблемы обеспечения электромагнитной совместимости РЭС посвящено значительное количество работ, среди авторов которых можно выделить Уайта Д., Князева А. Д., Феоктистова, Комиссарова Ю. А., Калашникова Н. И. и др. [1...8]. В работах этих авторов содержатся не только основы теории, но и некоторые специальные математические методы и алгоритмы оценки параметров ЭМС РЭС.

В процессе решения проблемы обеспечения электромагнитной совместимости различают несколько задач в зависимости от уровня иерархии [7, 8]:

1. Обеспечение ЭМС на микроуровне – обеспечение ЭМС на уровне элемента, блока РЭС.
2. Обеспечение ЭМС на уровне устройства объекта РЭС.
3. Обеспечение ЭМС на уровне объекта РЭС.
4. Обеспечение ЭМС на уровне группировки объектов РЭС.

Первые две задачи, как правило, решаются на ранней стадии создания объекта РЭС, что позволяет “избежать 80-90 % потенциально возможных трудностей, связанных с влиянием помех” [8].

К наиболее эффективным мерам решения третьей задачи является разработка и внедрение технических способов снижения воздействия помех на приемные устройства РЭС, теория и практика которых постоянно совершенствуется и, например, для радиолокации представлена в многочисленных работах, к основным авторам из которых можно отнести [10-13].

Обеспечение ЭМС РЭС на четвертом уровне иерархии, при их размещении на поверхности Земли, в воздушном пространстве, в космосе является наиболее сложной научно-технической задачей и решается она, как правило, при дополнительном распределении (выделении) спектра какой-либо радиослужбе на глобальном (региональном) уровне, а также в процессе планирования размещения радиосредств (радиосетей) на локальном уровне. При этом сложность решения таких научно-технических задач обусловлена, прежде всего, тем, что для любого случая глобального (регионального) распределения/выделения спектра какой-либо радиослужбе, а также в случае планирования радиосетей (размещения РЭС), как в совмещенной, так и в смежной полосе частот, необходима формализация электромагнитной обстановки (ЭМО), количество вариантов которой определяется, как конфигурацией расположения РЭС в пространстве, так и числом совокупных взаимных влияний РЭС различных радиослужб.

КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УСЛОВИЙ ЭМС РЭС

Основу решения научно-технической задачи обеспечения ЭМС РЭС составляет разработка и совершенствование существующих методов и методик расчета параметров электромагнитной совместимости РЭС (группировок РЭС) различного целевого назначения. Однако в современной литературе, посвященной вопросам теории и практики оценки электромагнитной совместимости РЭС, зачастую присутствует относительное смешивание понятий методы и методики оценки электромагнитной совместимости [1-9], поэтому для четкого их понимания целесообразно определиться с понятиями *метод* и *методика* обеспечения ЭМС РЭС.

По определению – *метод* это “способ познания, подход к изучению явлений природы и общественной жизни” [14] или “путь, способ, прием теоретического исследования или практического осуществления чего-нибудь” [15], причем два классических определения, так же как и определение, приведенное в [16], не противоречат друг другу.

Определение термина – *методика*, содержащееся в [14], представляет собой “совокупность методов обучения чему-либо” или - “система правил, изложение методов выполнения какой-нибудь работы” в [15], а также определение, приведенное в [16], полностью соответствуют по смыслу друг другу.

Таким образом, основываясь на классических определениях терминов *метод* и *методика* применительно к явлению электромагнитной совместимости можно классифицировать следующее:

– метод определения условий ЭМС РЭС – это способ теоретического исследования или практического оценивания параметров и условий электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств;

– методика расчета (оценки) параметров ЭМС РЭС – это система или совокупность правил, приемов, алгоритмов, программ проведения расчета (оценки) параметров и условий электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств.

На основе анализа работ в области электромагнитной совместимости [1-9] следует выделить два существующих метода определения условий электромагнитной совместимости РЭС, которые получили применение в мировой практике :

– теоретический метод прогнозирования потерь на трассе распространения помех от источника их создания до приемника, подверженного воздействию этих помех с использованием различных моделей распространения радиоволн и последующего расчета условий совместимости РЭС (координационного расстояния, норм частотно-территориального разнесения и т. п.);

– экспериментальный метод, основанный на измерениях напряженности поля помех (плотности потока мощности) на входе приемного тракта РЭС, подверженного воздействию помех, последующего сравнения измеренных значений с пороговым уровнем чувствительности и определение условий совместной работы РЭС.

КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТОДИК РАСЧЕТА (ОЦЕНКИ) ПАРАМЕТРОВ ЭМС РЭС

В области теории ЭМС РЭС и ее приложений наибольшее распространение получили многочисленные решения такой важной научно-технической задачи, как разработка методик расчета параметров электромагнитной совместимости РЭС и определение условий их совместной работы. При этом значительный вклад в разработку таких методик внесли Исследовательские комиссии МСЭ совместно с научными организациями администраций стран-членов МСЭ.

Так, за последние два десятилетия было разработано более двухсот различных Рекомендаций МСЭ-Р, содержащих материалы по расчету параметров электромагнитной совместимости РЭС и определению условий их совместной работы. Эти методики широко используются всеми странами-членами МСЭ, как при решении международных задач по согласованию условий работы различных сетей радиосвязи, так и внутри каждой из стран при планировании, как радиосетей, так и группировок РЭС.

По классификации Международного союза электросвязи все Рекомендации МСЭ-Р в области электромагнитной совместимости РЭС сгруппированы в 14 основных кластеров по признаку принадлежности к тем или иным радиослужбам и содержат:

- модели распространения радиоволн в различных условиях;
- алгоритмы расчета потерь на трассе распространения радиоволн и определения параметров ЭМС РЭС;
- защитные отношения и критерии защиты РЭС;
- нормы частотно-территориального разнесения РЭС;
- эксплуатационные характеристики РЭС и частотные планы.

Четыре других кластера Рекомендаций МСЭ-Р (BR - запись для производства, активирования и воспроизводства для телевидения; SNG – спутниковая служба сбора новостей; TF - служба передачи сигналов времени и эталонных частот; V – словарь и связанные с ним вопросы) включают материалы, содержащие технические и эксплуатационные сведения, а также справочные данные. Расшифровка кластеров и общее количество Рекомендаций МСЭ-Р, в той или иной степени относящихся к методикам электромагнитной совместимости, представлены в табл. 1.

Особое место в составе всех методик оценки параметров и условий электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств составляют методы моделирования и количественного расчета потерь на трассе распространения радиоволн.

Таблица 1 – Распределение Рекомендаций МСЭ-R, касающихся методик определения параметров ЭМС и условий совместной работы РЭС

№ п/п	Обозначение	Принадлежность радиослужбе(ам)	Кол-во
1	BO	Satellite delivery (Спутниковое радиовещание)	10
2	BS	Broadcasting service (sound) (Радиовещательная служба – звуковое вещание)	9
3	BT	Broadcasting service (television) (Радиовещательная служба - телевизионное вещание)	8
4	F	Fixed service (Фиксированная служба)	22
5	M	Mobile, radiodetermination, amateur and related satellite services (Подвижная служба, служба радиоопределения, любительская служба и относящиеся к ним службы)	56
6	P	Radiowave propagation (Распространение радиоволн)	35
7	RA	Radioastronomy (Радиоастрономическая служба)	12
8	RS	Remote sensing system (Система дистанционного зондирования)	5
9	S	Fixed satellite service (Фиксированная спутниковая служба)	35
10	SA	Space applications and meteorology (Космические применения и метеорологическая служба)	18
11	SF	Frequency sharing and coordination between fixed satellite and fixed service systems (Совмещенное использование частот и координация между фиксированной спутниковой службой и фиксированной службой)	15
12	SM	Spectrum management (Управление использованием спектра)	8

КЛАССИФИКАЦИЯ МОДЕЛЕЙ РАСПРОСТРАНЕНИЯ РАДИОВОЛН И ОЦЕНКИ ПОТЕРЬ НА ТРАССЕ ИХ РАСПРОСТРАНЕНИЯ

Модель распространения радиоволн является неотъемлемой частью анализа электромагнитной совместимости радиосредств. Невозможно представить ни одной методики оценки совместной работы РЭС без использования модели распространения радиоволн. На сегодняшний день существует несколько подходов к расчету ослабления радиосигнала при распространении, которые зависят от различных условий:

- рабочей частоты;
- среды распространения;
- назначения радиосистемы;
- расстояния распространения;
- наличия различных препятствий (на поверхности земли – леса, дома; внутри помещения – стены, мебель).

При проектировании радиосистемы или при анализе существующей радиосистемы на предмет электромагнитной совместимости ключевым моментом является верный выбор модели распространения исходя из перечисленных факторов. Поэтому классификация подходов к расчету ослабления радиосигнала, которые представлены сектором радиосвязи МСЭ, является не только удобным инструментом при исследованиях, но также и систематизацией знаний в области моделей распространения радиоволн.

На рис. 1 показана классификация Рекомендаций МСЭ (которые содержат в себе те или иные модели распространения сигналов) исходя из различных диапазонов частот и служб радиосвязи, для которых применяется анализ ЭМС. Стоит отметить, что одна и та же Рекомендация МСЭ может быть использована для нескольких служб радиосвязи, а также конфигураций «пункт-пункт» и «пункт-зона». Описываемые в данном случае рекомендации МСЭ содержат в себе не только фундаментальные принципы распространения радиоволн, но также и прикладные, процедурные элементы, которые могут изменяться или усовершенствоваться со временем, поэтому необходимо быть уверенным в актуальности тех или иных используемых рекомендаций.

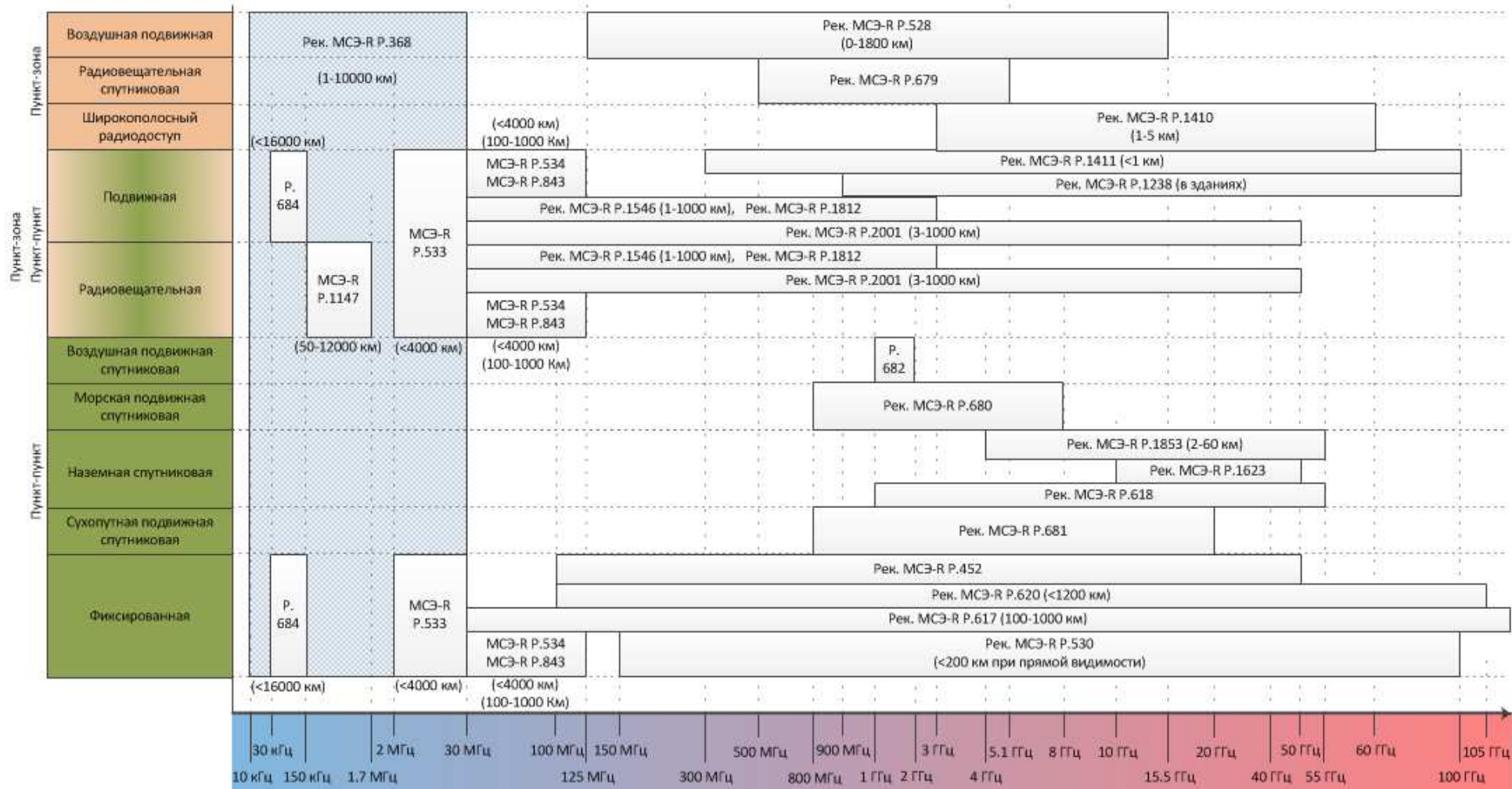


Рисунок 1 – Классификация рекомендаций МСЭ-Р относительно моделей распространения по различным частотам и службам радиосвязи

ВЫВОДЫ

Таким образом, на основе анализа работ в области электромагнитной совместимости РЭС можно сформулировать следующие выводы и предложения.

1. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств вследствие ее важности и сложности решаемых задач стала самостоятельной научной отраслью со своей теорией познания и практическим применением.

2. На основе классического подхода к формализации тезауруса теории познания и практики применения ЭМС сформулированы определения терминов “метод определения условий ЭМС РЭС” и “методика расчета (оценки) параметров ЭМС РЭС”.

3. Формализация классификации методов определения условий ЭМС РЭС позволила установить существующие в настоящее время два основных метода:

- теоретический метод прогнозирования потерь на трассе распространения помех от источника их создания до приемника, подверженного воздействию этих помех с использованием различных моделей распространения радиоволн и последующего расчета условий совместимости РЭС (координационного расстояния, норм частотно-территориального разноса и т. п.);
- экспериментальный метод, основанный на измерениях напряженности поля помех (плотности потока мощности) на входе приемного тракта РЭС, подверженного воздействию помех, последующего сравнения измеренных значений с пороговым уровнем чувствительности и определение условий совместной работы РЭС.

4. Основной вклад в решение научно-технических задач по разработке методик расчета (оценки) параметров ЭМС РЭС и моделей распространения радиоволн и оценки потерь на трассе их распространения внесли Исследовательские комиссии Международного союза электросвязи совместно с Администрациями государств-членов МСЭ.

5. При формализации классификации моделей распространения радиоволн и оценки потерь на трассе их распространения установлены четыре основные модели, которые находят широкое применение в практике определения условий ЭМС РЭС при решении научно-технических задач распределения/выделения спектра радиослужбам и при планировании размещения сетей радиосвязи (группировок РЭС).

6. Учитывая тенденции в обеспечении потребностей распределения/выделения радиочастотного спектра радиослужбам на глобальной основе, а также появление новых результатов исследований в области формализации моделей распространения радиоволн и оценки потерь на трассе их распространения следует признать необходимость очередных научно-технических задач по разработке (усовершенствованию) методик расчета (оценки) параметров ЭМС РЭС в новых осваиваемых диапазонах частот.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Уайт Д. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств и непреднамеренные помехи / Д. Уайт; Пер. с англ.; Под ред. А. Д. Князева. – М.: Сов. Радио, 1979. – 464 с.
- 2 Калашников Н.И. Основы расчёта электромагнитной совместимости систем связи через ИСЗ с другими радиослужбами / Н.И. Калашников. – М.: Связь, 1970. – 160 с.
- 3 Князев А.Д. Элементы теории и практики обеспечения электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств / А.Д. Князев. – М.: Радио и связь, 1984. – 336 с.
- 4 Владимиров В.И. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств и систем / В.И. Владимиров, А.Л. Докторов, Ф.В. Елизаров и др.; Под ред. Н.М. Царькова. – М.: Радио и связь, 1985. – 272 с.
- 5 Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств и систем // Под. ред. Н. М. Царькова. – М.: Радио и связь, 1985. – 272 с.
- 6 Управление радиочастотным спектром и электромагнитная совместимость / Под ред. д. т. н., проф. М.А. Быховского. – М.: Эко-Трендз, 2006. – 376 с.

7 Феоктистов Ю.А. Теория и методы оценки электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств / Ю.А. Феоктистов, В.В. Матасов, Л.И. Башурин, В.И. Селезнев; под ред. Ю.А. Феоктистова. – М.: Радио и связь, 1988.-216 с.

8 Петровский В.И., Седельников Ю. Е.. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств: Учеб. пособ. для вузов. – М.: Радио и связь, 1986. – 216 с.

9 Лефтер В.Д. Комплекс методик анализа, оценки и обеспечения электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств наземных комплексов космической инфраструктуры: дис. ... кандидата технических наук: – М.: 2010, 178 с.

10 Ширман Я.Д., Теория и техника обработки радиолокационной информации на фоне помех / Я.Д. Ширман, В. Н. Манжос. – М.: Радио и связь, 1981. – 416 с.

11 Г. Ван Трис. Теория обнаружения, оценок и модуляции. Т. 1, Пер. с англ. / Г. Ван Трис. – М.: Сов. Радио, 1972. – 744 с.

12 Уидроу Б., Стирнз С. Адаптивная обработка сигналов. Пер с англ. М.: Радио и связь. 1989. – 680 с.

13 Защита от радиопомех / Под ред. М. В. Максимова. – М.: Сов. Радио, 1976. – 496 с.

14 Ефремова Т. Ф. Новый словарь русского языка. В 3 т. – М.: “Русский язык”, 2000.

15 Толковый словарь русского языка / Под ред. Ушакова Д.Н. в 4 т. – М.: ОГИЗ, 1947–1948.

16 Большая Советская энциклопедия: В 30 т. – М.: “Советская энциклопедия”, 1969–1978.