

**Д.Р. Уайт**

**Электромагнитная  
совместимость и  
непреднамеренные помехи**

**Выпуск 1**

**Москва  
«Книга по Требованию»**

УДК 030  
ББК 92  
Д11

Д11 **Д.Р. Уайт**  
Электромагнитная совместимость и непреднамеренные помехи: Выпуск 1 / Д.  
Р. Уайт – М.: Книга по Требованию, 2012. – 348 с.

**ISBN 978-5-458-35705-0**

**ISBN 978-5-458-35705-0**

© Издание на русском языке, оформление  
«YOYO Media», 2012

© Издание на русском языке, оцифровка,  
«Книга по Требованию», 2012

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первоизданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.



Серия Книжный Ренессанс

[www.samizday.ru/reprint](http://www.samizday.ru/reprint)



## ОТ ИЗДАТЕЛЬСТВА

Предлагаемый вниманию читателей первый выпуск справочно-методического пособия по радиопомехам и электромагнитной совместимости (ЭМС) является сокращенным переводом 1, 3, 5 томов многотомного справочника, изданных в США в 1971 — 1973 гг. В справочнике обобщены обширные материалы и систематизированы основные технические вопросы, связанные с обеспечением ЭМС радиоэлектронных средств. Материал издания представляет несомненный интерес для широкого круга радиоспециалистов и может оказаться полезным для преподавателей и студентов радиотехнических специальностей.

К сожалению, справочник составлен по литературным источникам, опубликованным в основном до 1970 г., из-за чего изложение ряда вопросов оказалось неполным и нечетким. Так, глава оригинала «Распространение радиопомех», содержала не только устаревшие материалы, но и не принятые в отечественной литературе расчетные формулы.

Чтобы улучшить содержание первого выпуска русского издания, издательство приняло решение дополнить его более современной информацией о проблеме ЭМС и направлениях в ее решении. С этой целью выпуск снабжен комментариями и перечнем литературных источников, опубликованных, главным образом, после 1970 г. Комментарии имеют сквозную нумерацию и помещены в конце книги. В тексте комментируемые места отмечены цифрой со скобкой. Было признано также целесообразным главу «Распространение радиопомех» заменить приложением «Распространение сигналов мешающих радиостанций», написанным преимущественно по отечественным источникам. Труд по составлению приложения взяла на себя канд. техн. наук Л. Г. Пучко. Послесловие и комментарии к выпуску написал канд. техн. наук А. Д. Князев.

## ПРЕДИСЛОВИЕ РЕДАКТОРА

Как известно, обеспечение совместной работы различных радиоэлектронных средств (РЭС), т. е. их электромагнитной совместимости (ЭМС), с каждым годом приобретает все большее значение. Более того, в настоящее время некоторые аспекты ЭМС уже принимают межгосударственный, глобальный характер.

Обеспечение электромагнитной совместимости в настоящее время, по-видимому, формируется в самостоятельное научно-техническое направление со своими специфическими идеями, методами прогноза, исследования и конструирования.

Среди важных задач этого направления можно отметить:

- рассмотрение причин возникновения, воздействия и методов уменьшения непреднамеренных электромагнитных помех (ЭМП) различного происхождения;
- определение восприимчивости к ЭМП аппаратуры на любом ее структурном уровне;
- прогнозирование ЭМС и ЭМП;
- разработку эффективных мер защиты РЭС от ЭМП.

Рассматривая работы в области ЭМС как поиск методов очищения среды, окружающей человека и созданные им средства, нетрудно проследить связь ЭМС с экологией. Экология же в последнее время в связи с постоянно увеличивающейся численностью народонаселения и научно-технической революцией понимается в гораздо более широком аспекте, чем чисто биологический.

Существенной особенностью ЭМС можно считать ее системотехнический характер. Совершенствование параметров ЭМС данного устройства, как правило, улучшает условия и качество работы других средств, функционально не связанных с первым. Это, в свою очередь, является необходимой предпосылкой к созданию систем высокой эффективности. Важность таких работ подчеркнута XXV съездом КПСС на десятую пятилетку — пятилетку эффективности и качества, в которой предусмотрено последовательное осуществление перехода от создания и внедрения отдельных

прогрессивных машин и технологий к разработке, производству и массовому применению высокоэффективных систем.

Значимость проблемы ЭМС и ее обострение определяются не только экспоненциальным ростом количества, многообразием и сложностью самих систем, являющимися естественным следствием широкого внедрения радиоэлектроники в различные сферы производства и потребления. Как ни парадоксально, это связано с проявляющейся иногда ее недооценкой некоторыми отечественными и зарубежными специалистами, непосредственно отвечающими за нормальное функционирование РЭС: конструкторов, разработчиков, сотрудников служб эксплуатации и управления. Не всегда разработчики своевременно принимают меры к обеспечению ЭМС средств и систем, создаваемых, как правило, на весьма длительный срок эксплуатации в общем случае в непрогнозируемой электромагнитной обстановке. Бытует взгляд, что заниматься обеспечением ЭМС следует после выявления несовместимости, и не конструкторам-разработчикам, а специально выделенным сотрудникам. Одновременно считается, что решение проблемы ЭМС исчерпывается в основном организационными мероприятиями и соблюдением частотного регламента.

Однако все более ясной становится неправомерность отделения во времени разработки какого-либо радиоэлектронного или электрического устройства от достаточно квалифицированного решения вопросов по его совместимости с другими средствами (а также с человеком). Серьезное отношение к проблеме ЭМС, грамотный и своевременный учет ее требований на каждом этапе «жизненного цикла» радиоэлектронного средства и на всех его аппаратурных уровнях по существу следует отнести к характеристике профессиональной подготовки инженера. Необходимо четко представлять, что наиболее эффективные меры по обеспечению совместимости могут быть приняты прежде всего разработчиками РЭС, причем работы по ЭМС следует начинать на самых ранних стадиях проектирования РЭС. И чем раньше начинаются такие работы, тем они, как правило, менее эффективны и более дорогостоящие.

Одной из существенных причин недооценки проблемы ЭМС можно считать ограниченность обобщенных руководств по проблеме в целом. Нарастающий же поток отдельных публикаций, в свою очередь, объективно подтверждающий актуальность самой тематики, как всегда в таких случаях, требует периодической систематизации полученных

результатов. Такую задачу, по-видимому, преследовал вышедший в 1971—1975 гг. шеститомный справочник A Handbook Series on electromagnetic Interference and Compatibility. Этот справочник составлен по разрозненным, в основном малодоступным для советского читателя зарубежным (прежде всего американским) литературным источникам: трудам международных и региональных симпозиумов, журнальным статьям, техническим отчетам, рекламным, фирменным и другим материалам различных компаний и обществ, стандартам, нормам, инструкциям и т. п.

Составитель справочника Д. Уайт собрал воедино расчетный, конструкторско-технологический, нормативный и статистический материал, во многом отображающий опыт, накопленный при решении проблемы ЭМС специалистами развитых стран мира, в частности США. При этом внимание читателя удачно обращается на такие в общем-то известные факты, мимо которых обычно проходят, явно недооценивая их влияние.

Доходчивость изложения, много практических рекомендаций и иллюстративных примеров могли бы сделать справочник доступным и полезным самой широкой аудитории. Однако этому существенно препятствуют серьезные недостатки. Это — эклектичность, большое количество ошибок, явных и скрытых, противоречия между текстом и иллюстрациями, многочисленные повторы. Серьезные претензии можно предъявить также и к библиографии. Несмотря на компилятивный характер справочника, библиография составлена так, что пользоваться ею, хотя бы для проверки вызывающих сомнение данных, весьма затруднительно. Помимо «адресных» неточностей использованных материалов, в тексте практически полностью отсутствуют ссылки на источники, цитируемые зачастую дословно.

Все это существенно осложнило подготовку перевода для издания на русском языке. Коллектив, подготавливающий данный труд к печати, взял на себя нелегкую задачу: сохранив информационные достоинства справочника, добиться максимального устранения недостатков.

От полного перевода всех томов пришлось отказаться. Чтобы выделить наиболее ценную для советского читателя часть справочника и попытаться методически улучшить изложение, редактор счел необходимым изменить структуру справочника, взяв на себя смелость устранить по возможности замеченные ошибки и неточности и сократить мате-

риал за счет исключения повторяющихся или второстепенных сведений. Исправления были сделаны непосредственно в тексте и, как правило, без комментариев.

Для целенаправленности и мобильности издание было скомплектовано с учетом интересов различных групп специалистов: первый выпуск содержит в основном материалы системотехнического характера, а второй — конструкторско-технологического. В предлагаемые вниманию читателя первые два выпуска издания вошли материалы томов 1, 3, 5 оригинала. Эти два выпуска представляют по существу методическое справочное пособие, а не справочник в строгом смысле этого слова (кстати, это можно сказать и о самом оригинале).

Несмотря на старания редактора, тщательно проверить все материалы было невозможно. В ряде случаев разноплановость содержания повлекла за собой сохранение оригинальных, может быть не везде единообразных и корректных, терминов и соотношений. Некоторые сведения, приведенные в пособии, специалистам могут показаться тривиальными. Необходимо, однако, иметь в виду, что в связи с отсутствием систематизированного руководства по ЭМС, потребность в котором, как уже отмечалось, очевидна, издание преследует и учебно-просветительные цели.

Материалы пособия должны заинтересовать самую разнообразную и широкую аудиторию: инженеров-конструкторов и исследователей, технологов, разработчиков радио- и электротехнической аппаратуры и ее элементов, сотрудников служб управления и эксплуатации, преподавателей и студентов учебных заведений, проектировщиков сооружений и зданий (промышленных, медицинских, жилых).

При определении категории заинтересованных в пособии лиц считаем своим долгом предупредить вполне естественное разочарование многочисленного отряда специалистов, занимающихся теорией и практикой помехоустойчивости РЭС, бурно развивающейся в последнее время. Здесь, как и в оригинале, они не найдут рекомендаций по использованию современных способов формирования или обработки сигналов в целях ЭМС. Например, не нашли отражения вопросы схемного подавления помех различного характера и происхождения, применения наиболее помехоустойчивых видов кодирования и т. д. Отсутствие таких сведений является дефектом справочника, но не характеризует относительно узость проблемы в целом. Более того, следует подчеркнуть, что без применения методов снижения влия-

ния непреднамеренных помех на передаваемое сообщение, заключающихся в соответствующей оптимизации формирования и обработки сигналов, проблему ЭМС в принципе нельзя считать «замкнутой»: реальные сигналы априорно существуют в условиях одновременного воздействия флюктуационного шума и непреднамеренных помех различного характера.

Над переводом работали: тт. В. А. Боровков (гл. 2,6), Ю. М. Мельников (гл. 5), О. Г. Носов (гл. 1), А. П. Павлюк (гл. 3), Ю. М. Паянский (гл. 1) и Ю. М. Фомин (гл. 4). Серьезная помощь при рецензировании рукописи перевода была оказана Ю. С. Лезиным.

В связи с использованием в пособии некоторых терминов и понятий, упоминаемых в оригинале и не установившихся в отечественной технической литературе, считаем целесообразным определить (без какой-либо претензии на строгость формулировок) их смысл, во всяком случае тот, который в них здесь вкладывается.

1. Рецептор. Это относительно универсальное понятие объединяет обширный класс любых систем (в том числе, радиоэлектронных, электромеханических, биологических), изменяющих обратимо или необратимо значения своих параметров под влиянием посторонних возмущений. Под посторонним возмущением понимается такое, воспринимать которое в номинальном режиме функционирования данная система не должна. Если посторонним возмущением является электромагнитная помеха, то преимущество понятия «рецептор (помеха)» перед общепринятым «приемник (помехи)», по мнению редактора перевода, очевидно.

2. Восприимчивость характеризует уязвимость рецептора. Так, например, для радиоприемника она определяет его восприятие (помехи) любым приемным каналом, как основным, так и побочным. Очевидно, восприимчивость только по основному каналу приема эквивалентна чувствительности приемника.

3. Помехи проводимости (кондуктивные помехи, помехи, распространяющиеся по проводам) — электромагнитные помехи, средой распространения которых являются различные проводящие (например, металлические) предметы (кожухи, шасси, экраны, оплетки, оболочки, шины заземления, силовые и сигнальные кабели или провода и т. п.).

4. Помехи излучения — электромагнитные помехи, средой распространения которых является пространство, окружающее данное устройство (систему).

## Глава 1

### ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ И НЕПРЕДНАМЕРЕННЫЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ПОМЕХИ

Электромагнитная совместимость (ЭМС) радиоэлектронных средств (РЭС)—их свойство функционировать без ухудшения качественных показателей в заданной электромагнитной обстановке. Устройство не должно неблагоприятно воздействовать на работу другого устройства и должно противостоять его воздействию.

#### 1.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О НЕПРЕДНАМЕРЕННЫХ ПОМЕХАХ

Электромагнитные помехи (ЭМП)<sup>1)</sup> являются одним из видов «загрязнения» окружающей среды.

Наиболее простыми формами ЭМП являются помехи, вызванные работой некоторых устройств. Например, определенные типы электробритв могут создавать помехи расположенным вблизи радиоприемным устройствам, телевизионным приемникам и другим устройствам с электронно-лучевыми трубками. Источником помех являются также системы автомобильного зажигания. При высоком уровне помех возможны неожиданные перемены телефонной связи.

Особое место занимают помехи между радиосистемами. Так, например, самолет может потерять ориентацию из-за ошибок в навигационной системе, обусловленных влиянием других РЭС (потеря ориентации самолета может произойти и из-за отказа памяти ЭВМ в результате электрических разрядов во время грозы). Или, скажем, на подвижную полицейскую радиоустановку могут воздействовать помехи в часы пик от множества систем автомобильного зажигания. Если средства связи, радиолокационные станции (РЛС) и другие виды радиоэлектронной аппаратуры действующей армии подвержены влиянию помех других средств, сражение может привести к большим потерям в живой силе и технике или вообще быть проиграно.

В связи с этим необходимо изучение помех; являющееся началом исследования проблемы «загрязнения» спектра частот. К сожалению, эта концепция не всегда принимается во внимание проектировщиками систем. Очень важно, чтобы соответствующие руководящие органы, инженеры-разработчики в своей работе строго руководствовались требованиями, которым должны удовлетворять с точки зрения ЭМС все виды аппаратуры (электротехническая, радиоэлектронная).

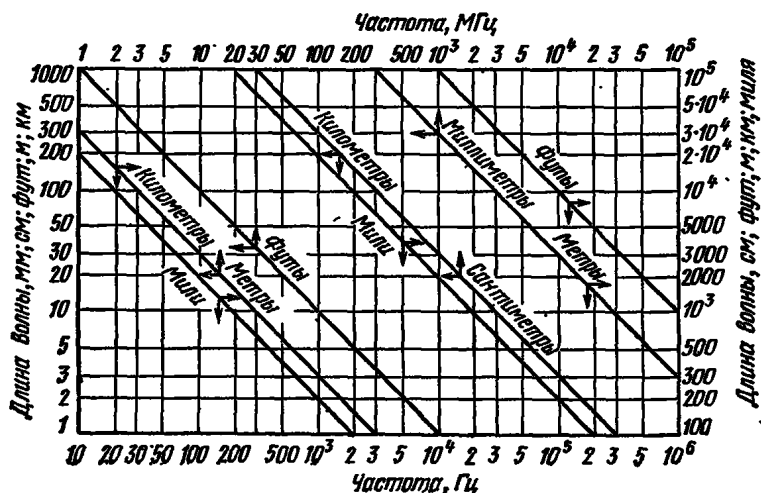


Рис. 1.1. Зависимость длины волны в воздухе от частоты.

Частотный спектр является естественным ресурсом, поэтому рациональные методы его использования являются важными для всех потребителей, особенно если учесть, что число различных источников помех удваивается каждые десять лет. Предполагают, что из-за возрастающей сложности обеспечения ЭМС к 1980 г. будет очень трудно организовать связь, успешную работу ЭВМ или безаварийные полеты самолетов между удаленными городами.

Чтобы в дальнейшем упростить переход от частоты к длине волны в различных единицах измерения, приведем график на рис. 1.1.

В 1966 г. в США была принята новая классификация обозначений диапазонов, которая используется и в настоящее время (табл. 1.1)<sup>2</sup>.

Таблица 11

Ч стотный диапазон, МГц	Новое обозначение	Старое обозначение	Частотный диапазон, ГГц	Новое обозначение	Старое обозначение
0—25	A-1		2,4—2,5	E-5	
25—50	A-2		2,5—2,6	E-6	
50—75	A-3		2,6—2,7	E-7	
75—100	A-4		2,7—2,8	E-8	
100—125	A-5		2,8—2,9	E-9	
125—150	A-6		2,9—3,0	E-10	
150—175	A-7		3,0—3,1	F-1	
175—200	A-8		3,1—3,2	F-2	
			3,2—3,3	F-3	S
200—225	A-9		3,3—3,4	F-4	
225—250	A-10		3,4—3,5	F-5	
250—275	B-1		3,5—3,6	F-6	
275—300	B-2		3,6—3,7	F-7	
300—325	B-3	P	3,7—3,8	F-8	
325—350	B-4		3,8—3,9	F-9	
350—375	B-5		3,9—4,0	F-10	
375—400	B-6				
400—425	B-7				
			4,0—4,2	G-1	
425—450	B-8		4,2—4,4	G-2	
450—475	B-9		4,4—4,6	G-3	
475—500	B-10		4,6—4,8	G-4	
500—550	C-1		4,8—5,0	G-5	
550—600	C-2		5,0—5,2	G-6	C
600—650	C-3		5,2—5,4	G-7	
650—700	C-4		5,4—5,6	G-8	
700—750	C-5		5,6—5,8	G-9	
750—800	C-6		5,8—6,0	G-10	
800—850	C-7				
850—900	C-8				
900—950	C-9				
950—1000	C-10				
			6,0—6,2	H-1	
1000—1100	D-1		6,2—6,4	H-2	
1100—1200	D-2		6,4—6,6	H-3	
1200—1300	D-3		6,6—6,8	H-4	
1300—1400	D-4		6,8—7,0	H-5	
1400—1500	D-5	L	7,0—7,2	H-6	
1500—1600	D-6		7,2—7,4	H-7	
1600—1700	D-7		7,4—7,6	H-8	
			7,6—7,8	H-9	
			7,8—8,0	H-10	
1700—1800	D-8		8,0—8,2	I-1	
1800—1900	D-9				
1900—2000	D-10				
2000—2100	E-1				
2100—2200	E-2				
2200—2300	E-3				
2300—2400	E-4				

Продолжение табл. 1.1

Частотный диапазон, ГГц	Новое обозначение	Старое обозначение	Частотный диапазон, ГГц	Новое обозначение	Старое обозначение
8,2—8,4	1-2		10—11	J-1	
8,4—8,6	1-3		11—12	J-2	
8,6—8,8	1-4		12—13	J-3	
8,8—9,0	1-5		13—14	J-4	
9,0—9,2	1-6	X	14—15	J-5	
9,2—9,4	1-7		15—16	J-6	
9,4—9,6	1-8		16—17	J-7	
9,6—9,8	1-9		17—18	J-8	
9,8—10,0	1-10		18—19	J-9	
			19—20	J-10	

На рис. 1.2 представлены данные по некоторым источникам шума в пяти декадах\* частотного спектра от 100 кГц до 10 ГГц. Помехи от различных установок (например, от электронно-связных, научных, промышленных, медицинских) можно группировать по категориям городских, пригородных и сельских. Естественные помехи на частотах ниже 10 кГц имеют преимущественно атмосферное происхождение. Причиной этих помех являются электрические и магнитные бури в низких широтах, распространяющиеся вокруг Земли по волноводу между ионосферой и поверхностью Земли. Причиной космического шума являются излучения галактик (включая Солнце). Этот шум в значительной степени затухает на частотах ниже 10 МГц из-за ионосферной абсорбции и отражений. Как видно из рис. 1.2, на частотах ниже 300 МГц уровни искусственного и естественного шума в общем случае выше уровня собственного шума приемных устройств.

При оценке ЭМП следует принимать во внимание три основных элемента: источники помех (ИП), среду распространения и рецепторы помех (РП) (рис. 1.3). Воздействие ИП на РП может быть радиационным (пространственным без непосредственного соединения) и кондуктивным (по проводам, кабелям, шасси и т. д.). В первом случае имеем помехи излучения (ПИ), а во втором — помехи проводимости или помехи, распространяющиеся по проводам (ПРП).

\* В американской технической литературе ширина частотного спектра часто оценивается в декадах или октавах. 1 декада — интервал, для которого отношение граничных частот  $f_2/f_1 = 10$ . 1 октава — интервал, для которого отношение граничных частот  $f_2/f_1 = 2$ . Легко показать, что 1 декада = 3,32 октавы. (Прим. ред.)