

Электромагнитная совместимость автотранспортных средств



П.А. Николаев, Л.Н. Кечиев

УДК 621.396.6:629.114

ББК 39.33-01

Н 63

Все права защищены. Воспроизведение всей книги или любой ее части любыми средствами и в какой-либо форме, в том числе в сети Интернет, запрещается без письменного разрешения владельца авторских прав.

Рецензенты

Н.В. Балюк, д.т.н., профессор, главный научный сотрудник
ФГКУ «12 ЦНИИ» Минобороны России;

Н.В. Лемешко, д.т.н., ведущий научный сотрудник
НТЦ «Аналитика» ЭМС ФГУП НИИР

Николаев П.А.

Н 63 Электромагнитная совместимость автотранспортных средств / Николаев П.А., Кечиев Л.Н. / Под ред. Л.Н. Кечиева. – М.: Грифон, 2015. – 424 с. – (Библиотека ЭМС).

ISBN 978-5-98862-262-8

В основе книги лежит всестороннее рассмотрение проблемы ЭМС автотранспортных средств. С системных позиций излагаются вопросы их помехоустойчивости и помехоэмиссии. Дается обзор основных методов испытаний автомобильного транспорта. Приведены параметры ЭМС бортового электрооборудования. Подробно рассматриваются методы и средства многоуровневого обеспечения ЭМС.

Уделено внимание не только автотранспортным средствам с углеводородными двигателями, но и с альтернативными силовыми агрегатами. В книге делается акцент на проблемы устойчивости электрооборудования к электромагнитным воздействиям.

Материал затрагивает вопросы ЭМС не только гражданского автомобильного транспорта, но и специального назначения. Приводятся различные варианты обеспечения параметрам ЭМС автотранспортных средств.

Книга будет полезна техническим специалистам, занятым в образовательных, исследовательских, производственных и других сферах автомобильной индустрии. Издание можно рекомендовать в качестве учебного пособия бакалаврам, магистрам и аспирантам соответствующих направлений.

УДК 621.396.6:629.114

ББК 39.33-01

ISBN 978-5-98862-262-8

© Николаев П.А., Кечиев Л.Н., 2015

Содержание

Предисловие	7
Список сокращений	11
1. Содержание проблемы ЭМС	13
1.1. Основы ЭМС технических средств	13
1.2. Терминология в области ЭМС автотранспортных средств	19
1.3. Источники и рецепторы помех в технических средствах	25
1.4. Функциональная безопасность автотранспорта	36
1.5. ЭМС и рынок. Одобрение типа автотранспортного средства	40
2. Основы автотранспортного средства как электромагнитной системы	46
2.1. Токи в системах, прямой и возвратный ток	46
2.2. Линии передачи информационных сигналов	50
2.3. Высокочастотная опорная плоскость	57
2.4. Кабели как линии передачи для высокочастотных сигналов	58
2.4.1. Цепи коммуникаций	58
2.4.2. Витая пара	64
2.5. Провода как случайные антенны	64
2.5.1. Спектры сигналов	64
2.5.2. Управление путями тока дифференциального и общего вида	68
2.5.3. Коаксиальные и витые прямой/возвратный проводники	71
2.5.4. Дифференциальные («сбалансированные») связи	73
2.6. АТС как сложная антенная система	74
2.7. Статическое электричество и электрический заряд	82
3. Методы испытаний и измерений автотранспортных средств на соответствие требованиям ЭМС	89
3.1. Типовые испытания на ЭМС	89
3.1.1. Особенности испытаний оборудования	89
3.1.2. Тестирование на помехозащищенность	91
3.1.3. Испытания на восприимчивость к электромагнитному воздействию	102
3.1.4. Устойчивость изделий к электростатическому разряду	110
3.1.5. Виды испытаний изделий электрооборудования на устойчивость к электромагнитному воздействию	113
3.2. Критерии оценки результатов испытаний	128
3.2.1. Нормы кондуктивных и излучаемых помех	128
3.2.2. Оценка объекта испытаний с учетом неопределенности измерений	137

3.3. Оснащение испытательной лаборатории.....	142
3.3.1. Место для тестирования	142
3.3.2. Приборы и устройства для испытаний.....	147
3.3.3. Оборудование для испытания на устойчивость к электромагнитному излучению	148
3.3.4. Генератор испытательных сигналов.....	149
3.3.5. Усилитель мощности	150
3.3.6. Токовые клещи для тестирования объемным током	151
3.3.7. Датчики поля	152
3.3.8. Оборудование для испытаний бортового электрооборудования на устойчивость к кондуктивным помехам	153
3.3.9. Оборудование для испытаний на электростатический разряд	153
3.3.10. Измерительное оборудование	154
3.3.11. Программное обеспечение.....	157
3.3.12. Контрольно-диагностическое оборудование.....	158
3.3.13. Вспомогательное оборудование.....	159
3.4. Требования к испытательной лаборатории.....	159
3.4.1. Испытательные площадки и камеры.....	160
3.4.2. Методика проверки открытой измерительной площадки	163
3.4.3. Методика проверки безэховой камеры.....	165
3.4.4. Требования к персоналу лаборатории.....	166
3.4.5. Требования к условиям окружающей среды.....	167
3.4.6. Требования к отбору образцов	168
3.4.7. Требования к обращению с образцами испытаний.....	170
3.4.8. Требования к оборудованию лаборатории	170
3.4.9. Требования к качеству проводимых испытаний.....	171
3.5. Специальные испытания АТС.....	178
3.5.1. Устойчивость к электромагнитному полю промышленной частоты.....	179
3.5.2. Устойчивость автотранспортных средств к электростатическому разряду	181
3.5.3. Устойчивость к электромагнитному полю молнии	182
3.5.4. Тестирование электромобилей	184
4. Параметры ЭМС электрооборудования современных АТС	187
4.1. Построение систем АТС	187
4.2. Система зажигания	192
4.3. Система электропитания.....	197
4.4. Электронная система управления двигателем	203
4.5. Система управления автоматической коробкой переключения передач.....	209
4.6. Системы светотехники.....	212

4.7. Системы безопасности	216
4.7.1. Обзор систем безопасности.....	216
4.7.2. Подушка безопасности.....	217
4.7.3. Системы ABS и EBD	220
4.7.4. Система стеклоочистки	223
4.7.5. Система контроля давления в шинах	225
4.8. Системы отображения информации	228
4.9. Противоугонные и охранные системы	231
4.10. Системы комфорта	234
4.10.1. Мультимедийные системы.....	234
4.10.2. Электромеханический усилитель рулевого управления.....	241
4.10.3. Система безопасной парковки	246
4.10.4. Кондиционирование и отопление	249
4.10.5. Система автоматического управления стеклоочистителем и освещенностью.....	252
4.10.6. Системы электрообогрева	255
4.10.7. Круиз-контроль	256
4.10.8. Предпусковой подогреватель.....	259
4.10.9. Сервисные функции.....	260
4.11. Системы навигации, «Эра ГЛОНАСС»	261
4.12. Автомобили с альтернативными источниками энергии	267
5. Методы и средства обеспечения ЭМС АТС	272
5.1. Сигналы и передача информации	272
5.2. Организация опорной плоскости (заземления) и системы питания	281
5.3. Экранирование узлов и блоков оборудования	287
5.3.1. Основы экранирования	287
5.3.2. Электростатическое экранирование	290
5.3.3. Магнитное экранирование.....	294
5.3.4. Электродинамическое экранирование	298
5.3.5. Влияние щелей и отверстий на работу экрана.....	302
5.3.6. Проводящие прокладки как средство повышения эффективности экранирования	306
5.3.7. Обобщенные рекомендации по проектированию электродинамических экранов	308
5.3.8. Экранирование электрооборудования в АТС.....	310
5.3.9. Влияние агрессивных факторов окружающей среды	312
5.3.10. Экранирование печатных узлов	314
5.4. Обеспечение ЭМС кабелей	316
5.4.1. Экранирование проводов и кабелей.....	316
5.4.2. Экранированные разъемы и прокладки для экранированных кабелей	324
5.4.3. Уменьшение площади контура рецептора	328

5.4.4. Разнесение рецептора и бортового источника помех	331
5.4.5. Улучшение показателей ЭМС жгутов и их трасс	333
5.4.6. Оптимизация сопротивления нагрузки	337
5.5. Схемотехнические решения по обеспечению ЭМС	345
5.5.1. Частотные параметры компонентов схем	345
5.5.2. Проблемы ЭМС индуктивных компонентов	350
5.5.3. Проектирование и выбор помехоподавляющих фильтров	353
5.5.4. Развязка схем по питанию и опорной плоскости	356
5.5.5. Повышение эффективности помехоподавляющих фильтров	356
5.5.6. Демпфирование резонансов фильтра	359
5.5.7. Подавление выброса фильтрами	360
5.5.8. Совместное действие экрана и фильтра	362
5.5.9. Установка проходных фильтров	363
5.5.10. Устройства ограничения амплитуды переходных процессов	367
5.5.11. Защита от переполюсовки	372
5.5.12. Гальваническая развязка	372
5.5.13. Общие рекомендации по обеспечению ЭМС схем	373
5.6. Проектирование печатных плат и узлов	377
5.6.1. Элементы проектирования печатных плат	377
5.6.2. Особенности монтажа печатных узлов	387
5.7. Программные методы обеспечения ЭМС	391
5.8. Конструкция и компоновка устройств с целью обеспечения ЭМС	398
5.9. Особенности обеспечения соответствия ЭМС электрооборудования АТС	405
Заключение	409
Литература	410
Основные буквенные обозначения	419
Серия «Библиотека электромагнитной совместимости»	422

1. Содержание проблемы ЭМС

1.1. Основы ЭМС технических средств

Автомобильный транспорт, как результат технического прогресса, кардинально изменил жизнедеятельность человека в положительную сторону. Самым важным и основным аспектом является увеличение скорости передвижения человека, также следует отметить улучшение условий труда, повышение комфорта и т. п. В свою очередь у АТС помимо положительных достоинств имеются и отрицательные качества. Прежде всего, они являются объектами повышенной опасности. Наряду с традиционным пониманием опасностей физического столкновения с причинением вреда здоровью людям и загрязнением окружающей среды выхлопными газами, автомобильный транспорт небезопасен с позиции ЭМС. В общем случае он рассматривается с двух позиций: источник и рецептор электромагнитных помех.

Как источник АТС излучает в окружающее пространство электромагнитные волны, тем самым внося в окружающую электромагнитную обстановку определенную составляющую. В городах и промышленных центрах автомобильный транспорт является основным источником электромагнитного смога. Создаваемые им электромагнитные воздействия находятся в пределах от 30 МГц до 1 ГГц и преобладают над другими электромагнитными полями в зоне до 100 м от автострад. Как рецептор АТС реагирует на электромагнитные воздействия из окружающей среды, которые могут быть достаточно интенсивными, влияющими на работу электронных систем современного автомобиля.

Подход к автомобильному транспорту как источнику и рецептору помех является в целом устоявшимся. Даже при сертификации новая модель или комплектация проверяется на излучаемые помехи и устойчивость к электромагнитному воздействию. Но при более строгом подходе автомобильный транспорт следует рассматривать как сложную систему с добавлением внутреннего электромагнитного взаимодействия объектов бортового электрооборудования (рис. 1.1). Сложная архитектура современного автотранспортного средства подразумевает наличие источников и рецепторов помех, а также комбинированных систем. К источникам относятся система зажигания, выключатели, электромагнитные реле, а также различные электромагнитные преобразователи, например стартер, форсунки, электровентильаторы, звуковой сигнал и моторедукторы.



Рис. 1.1. Структура взаимодействия электрооборудования автотранспортного средства: 1 – рецептор; 2 – источник электромагнитных помех; 3 – система, включающая рецептор и источник

Рецепторами в явном виде являются датчики и кабельные системы, соединяющие компоненты электронной системы АТС. В зависимости от параметров электромагнитных помех состояние этих компонентов может быть различным – от искажения передаваемой и обрабатываемой информации до выхода их из строя. К комбинированным системам относится оборудование со сложными электронными схемами, содержащее насыщенную топологию печатных плат, микропроцессоры и другие полупроводниковые приборы, а также тактовые генераторы. Наглядными примерами является контроллер системы управления двигателем, генератор напряжения, комбинация приборов, газоразрядные лампы, называемые в обиходе галогеновыми, и т. д.

Источники электромагнитных помех являются таковыми только условно, так как при электромагнитном воздействии большой энергии их работоспособность может быть нарушена, но с большей вероятностью раньше выйдет из строя электроника других, более восприимчивых систем.

При работе комбинированных систем в комплексе с другим бортовым электрооборудованием происходит сложное взаимодействие. Их взаимное влияние друг на друга с позиции ЭМС усиливается при воздействии сторонних электромагнитных помех. И чем сложнее электрооборудование, тем сильнее АТС взаимодействует с внешней средой и оказывает влияние само на себя. Многообразие всех взаимосвязей обуславливает сложность обеспечения ЭМС АТС, так как возрастают варианты нарушения устойчивости электронных систем при воздействии электромагнитных полей [6].

Теория ЭМС требует рассмотрения АТС как взаимодействия между источником и рецептором по двум каналам: гальваническому и полю. Гальваническая

связь возникает при соединении источника и рецептора помех кабелями питания, сигнальными, управления. В этом случае помеха, которая создана одним из устройств, может по проводникам питания поступить через порт питания на другое устройство. При связи источника и рецептора помех по полю возможна индуктивная, емкостная и электромагнитная связь. На рис. 1.2 показаны разновидности взаимодействия источников и рецепторов помех. В зависимости от условий преобладает определенный вид связей. Основными факторами являются расстояние от источника до рецептора и характер их взаимодействия.

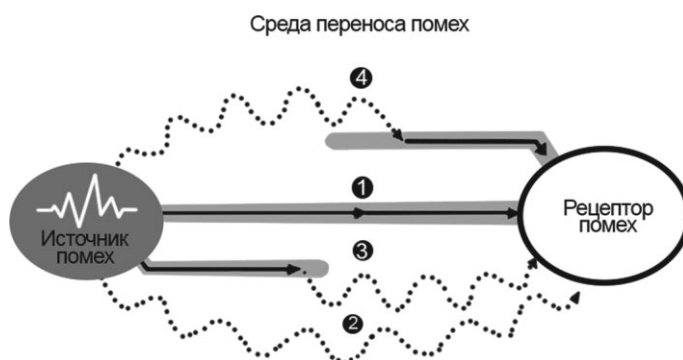


Рис. 1.2. Источник, рецептор помех и среда переноса помех:

1 – кондуктивный путь; 2 – перенос помех по полю;
3 – излучение от кабелей; 4 – восприимчивость кабелей

Кондуктивная (гальваническая) связь в основном присуща бортовым объектам автотранспортного средства, когда помехи, созданные источником по электрически проводящим каналам, воздействуют на рецепторы. В то же время с появлением электромобилей и автомобильного транспорта, оснащаемого гибридными силовыми установками, гальваническая связь осуществляется во время процесса разрядки тяговых батарей от внешней электрической сети. Бывают еще крайне редкие случаи непреднамеренного внешнего воздействия. Например, электрический контакт автотранспортного средства с системами промышленного энергоснабжения.

При воздействии источника на рецептор по полю необходимо различать различные структуры поля в зависимости от расстояния между источником и рецептором. Индуктивная и емкостная связь происходит в ближней и переходной зонах, когда расстояние от источника до рецептора помех меньше $\lambda/2\pi$, где λ длины волны электромагнитного воздействия (рис. 1.3) [2, 3]. В ближней зоне действуют законы индукции. Это характерно в основном для бортового электрооборудования. Но данные связи присущи также для внешних, близко расположенных от АТС источников, работающих на низких частотах, например линий электропередач и трансформаторных подстанций.

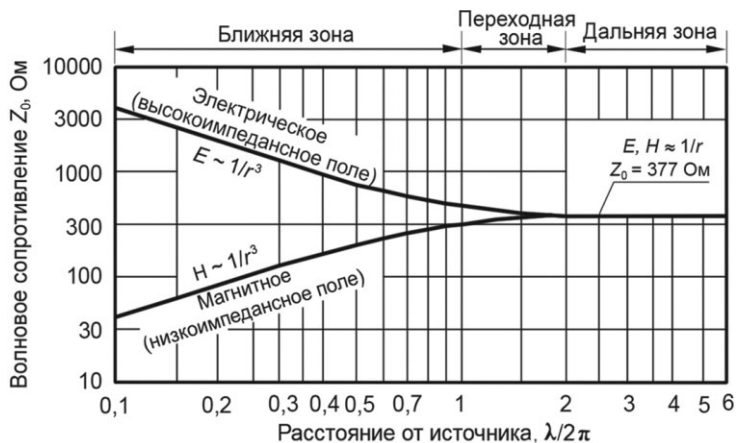


Рис. 1.3. Зависимость волнового сопротивления свободного пространства от расстояния до источника

Структура поля в ближней зоне зависит от типа источника поля. Если источник может быть представлен в виде антенны-штыря, то он создает поле с высоким полным сопротивлением, которое может рассматриваться как квазистатическое электрическое поле. В том случае, если источник может быть представлен в виде токовой петли (магнитная антенна), поле, сформированное в ближней зоне, можно рассматривать как квазистатическое магнитное поле. Наибольшая сложность при анализе вопросов ЭМС заключается в идентификации АТС в ближней зоне как источника излучаемого поля.

В дальней зоне распространяется сформированная плоская электромагнитная волна, для которой волновое сопротивление в свободном пространстве постоянно и равно $E/H = 377 \text{ Ом}$, где E – электрическая компонента поля, а H – магнитная компонента. Эти компоненты лежат в плоскости перпендикулярной направлению распространения электромагнитной волны.

Учитывая сказанное выше, механизмы воздействия источника помех на рецептор представлены на рис. 1.4.

Влияние АТС как источника электромагнитных полей на окружающую среду происходит через излучение, так как частоты создаваемого электромагнитного поля лежат в диапазоне от 30 МГц до 1 ГГц. Конкретное спектральное распределение помех зависит от особенностей конструкции модели АТС.

Источники окружающей среды с частотами 3–30 МГц (короткие волны) и выше воздействуют на АТС через излучение.

Электромагнитное взаимодействие автомобильного транспорта с различными объектами вызывает нежелательные последствия для экосистем и технических средств. Негативные последствия воздействий электромагнитных полей на биологические объекты подразделяются на соматические и генетические.



Рис. 1.4. Механизмы воздействия источника помех на рецептор

Соматические заболевания классифицируются как ранние и отдаленные. Они могут проявляться в течение всего периода жизни. Генетические эффекты отражаются на последующих поколениях рецепторов [4].

Воздействие электромагнитного поля на технические системы приводит к ухудшению качества их работы, потере работоспособности, снижению функциональной надежности электронной аппаратуры и выходу ее из строя (рис. 1.5) [5].

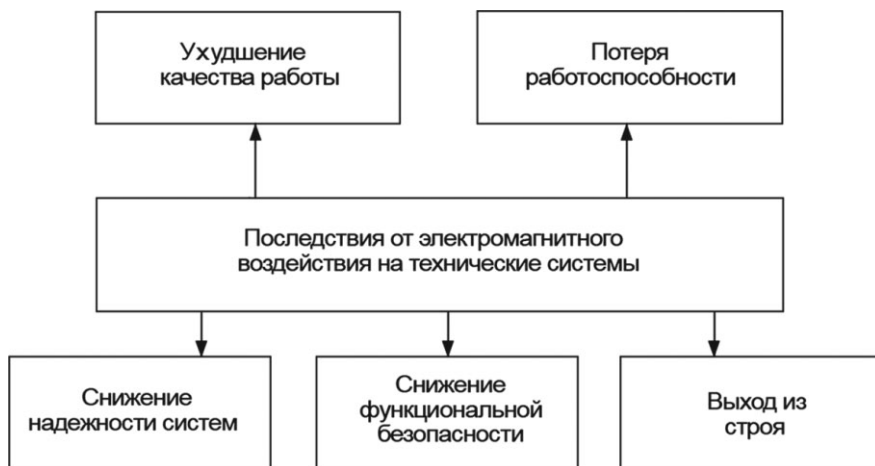


Рис. 1.5. Последствия электромагнитного воздействия на технические системы

Нарушение работоспособности технических средств может быть обусловлено прямым воздействием электромагнитных помех, искажением ими полезной информации и вспомогательных энергетических параметров, неправильным функционированием программ и электронных систем.

Последствия влияния электромагнитного воздействия могут быть опасными или неопасными, допустимыми или недопустимыми и зависят от конкретной ситуации и обстоятельств. Например, из-за сбоя в работе генератора напряжения выходное напряжение в зависимости от схмотехнических особенностей регулятора может быть оказаться выше или ниже допустимых значений. В обоих случаях это нарушение работоспособности. Но, если генератор перестал выдавать напряжение, есть резервный источник электроэнергии – аккумуляторная батарея. Она обеспечит на некоторое время нормальное функционирование бортового электрооборудования. Конечно, параметры ряда систем будут выходить за допуски, например световой поток фонарей, но в целом автотранспортное средство будет находиться в работоспособном состоянии и не представлять опасности. Если генератор повысит напряжение, то из строя выйдет бортовое электрооборудование, что является опасным и может привести к нарушению функциональной безопасности. В этом случае последствия могут быть катастрофическими. Основой оценкой является степень риска в отношении объема и тяжести нежелательных последствий, вызываемых электромагнитным воздействием. Граница между опасными и неопасными нарушениями работоспособности технических систем определяется в каждом конкретном случае установлением границы приемлемого риска (рис. 1.6) [6, 7]. Критерием здесь может быть всесторонне взвешенное решение, принимаемое компетентным специалистом или органом в зависимости от обстоятельств поражения в эксплуатации.



Рис. 1.6. Соотношение нарушений функционирования и степени риска

Для того чтобы на рынок поступала качественная продукция от автопроизводителей, обеспечивающая в должной мере функциональную безопасность людей и технических систем при электромагнитных воздействиях, необходимо всесторонне подходить к проблеме ЭМС, решая ее на всех стадиях жизненного цикла продукта. Большое значение необходимо уделять вопросам разработки электрооборудования с учетом ЭМС, так как корректные решения определяют нормальное функционирование автомобильного транспорта. Поэтому не только разработчики автомобильной продукции, но и руководящий персонал

должен обладать достаточными знаниями в области ЭМС, что способствует пониманию проблемы в целом и детальной проработке частных вопросов проектирования электрооборудования АТС.

1.2. Терминология в области ЭМС автотранспортных средств

В фундаменте любой области науки лежит ее терминология. «Неоднозначность или неточность терминологии неизбежно приводит к искажению полезной информации и в конечном счете тормозит развитие» [8]. Точные и ясные по смыслу понятия способствуют пониманию материала и убыстряют накопление знаний.

К настоящему времени научное направление ЭМС автотранспортных средств практически сформировалось. Сложилась определенная терминология в области ЭМС [9, 10]. В 2011 году введен новый стандарт ГОСТ Р 50397-2011, основанный на базе зарубежного стандарта МЭК 60050-161:1990. Применяемые в нем термины и их определения в основном незначительно отличаются от используемых в ГОСТ Р 50397-92, но в некоторых случаях менее точно передают смысл. Также имеются отличия, нехарактерные для устоявшихся в отечественной литературе терминов. Например, в ГОСТ Р 50397-2011 термин «электромагнитная радиация» является аналогом термина «электромагнитное излучение». Поэтому в книге сделана ориентация на терминологию по ГОСТ Р 50397-92.

Так как ЭМС автотранспортных средств является ветвью общего направления ЭМС радиоэлектронных средств, то здесь применяются общие базовые определения. Но есть и отличительная черта терминологии. В ней оперируют рядом определений из научных областей автотранспортных средств.

Для понимания основ ЭМС автотранспортных средств в данном разделе приведены наиболее употребляемые в рассматриваемом направлении ЭМС термины и определения.

Автотранспортное средство (АТС) – устройство, приводимое в движение двигателем и предназначенное для перевозки по дорогам людей, грузов или оборудования, установленного на нем.

Электромагнитная совместимость АТС – способность АТС функционировать с заданным качеством в заданной электромагнитной обстановке и не создавать недопустимых электромагнитных помех другим техническим средствам.

Электрооборудование АТС (бортовое электрооборудование) – совокупность устройств, вырабатывающих, передающих и потребляющих электроэнергию на АТС.

Электромагнитная обстановка (ЭМО) – совокупность электромагнитных явлений, процессов в заданной области пространства, частотном и временном диапазонах.

Электромагнитная среда – совокупность электромагнитных явлений, присутствующих в рассматриваемом месте.

Электромагнитная помеха (ЭМП) – помеха, электромагнитное явление, процесс, которые снижают или могут снизить качество функционирования технического средства.

В этом определении и далее применено выражение «техническое средство», а не «автотранспортное средство», так как АТС выступает не только как рецептор электромагнитных помех, но и как их источник и, соответственно, может само влиять на другие технические объекты. Термин «техническое средство» используется в международных стандартах по ЭМС для обозначения любого электротехнического, радиоэлектронного и электронного оборудования, аппаратов и систем.

Влияние электромагнитной помехи – снижение показателей качества функционирования технического средства, вызванного электромагнитной помехой.

В [10] это определение дано как «*влияние помехи*», что оправданно, если в работе рассматриваются только электромагнитные помехи. Если труд охватывает еще и другие области, например оптику или акустику, то для понимания смысла текста необходимо пояснять природу помех.

Допустимая электромагнитная помеха – электромагнитная помеха, при которой качество функционирования технического средства, подверженного его воздействию, сохраняется на заданном уровне.

Недопустимая электромагнитная помеха – электромагнитная помеха, воздействие которой снижает качество функционирования технического средства до недопустимого уровня.

Уровень электромагнитных помех – значение интенсивности электромагнитной помехи, измеряемое в регламентированных условиях.

Норма на электромагнитную помеху – регламентированный максимальный уровень помех.

Источник электромагнитной помехи – источник искусственного или естественного происхождения, который создает или может создать электромагнитную помеху.

Рецептор – техническое средство, реагирующее на электромагнитный сигнал и/или электромагнитную помеху.

Электромагнитная эмиссия (помехоэмиссия) – генерирование источником помехи электромагнитной энергии.

Уровень эмиссии – значение электромагнитной помехи, создаваемой источником, измеренное в регламентируемых условиях.

Электромагнитное излучение – процесс, при котором энергия излучается источником в пространство в виде электромагнитных волн.

Уровень излучения – уровень электрического и/или магнитного поля и/или плотности потока мощности, излучаемый техническим средством и измеренный в регламентированных условиях.

Норма на уровень излучения – регламентированный максимальный уровень излучения.

Техническое обеспечение ЭМС АТС – технические решения, направленные на улучшение характеристик ЭМС АТС.

Тип АТС – все АТС (в контексте ЭМС), не имеющие между собой существенных различий по таким аспектам, как: общий размер и конфигурация моторного отсека; общее расположение бортового электрооборудования и общая схема проводки; исходный материал, из которого изготовлен кузов или корпус АТС.

Сертификация АТС на соответствие требованиям ЭМС – мероприятия, в результате которых удостоверяется соответствие определенного типа АТС требованиям государственных, международных или иных нормативно-технических документов, регламентирующих характеристики ЭМС, посредством выдачи предприятию-изготовителю сертификата.

Подавление электромагнитных помех – мероприятия, имеющие целью ослабление или устранение влияния электромагнитных помех.

Помехоподавляющее оборудование – устройство или комплект устройств, предназначенных для подавления электромагнитных помех.

Помехоподавляющий элемент – часть помехоподавляющего устройства, непосредственно осуществляющая подавление электромагнитных помех.

Экран (электромагнитный) – устройство или элемент конструкции устройства, обеспечивающие поглощение, преобразование или отражение электрических и/или магнитных полей и электромагнитных волн.

Характеристика ЭМС – характеристика технического средства, отражающая возможность его функционирования в заданной ЭМО и/или степень его воздействия на другие технические средства.

Параметр ЭМС – величина, количественно характеризующая какое-либо свойство ЭМС, отражающая одно из значений характеристики ЭМС.

Восприимчивость (электромагнитная) – способность рецептора реагировать на электромагнитную помеху.

Порог восприимчивости – минимальная величина электромагнитной помехи, при которой рецептор не нее реагирует.

Невосприимчивость (электромагнитная) – способность АТС (бортового электрооборудования) противостоять воздействию электромагнитной помехи.

Работоспособность электрооборудования АТС – способность электрооборудования АТС выполнять свои функции и сохранять параметры в пределах заданных норм.

Отказ – событие, заключающееся в том, что техническое средство полностью или частично теряет свойство работоспособности.

Сбой – кратковременное нарушение работоспособности технического средства.

Электромагнитная безопасность АТС – состояние АТС, при котором окружающая электромагнитная обстановка не приводит к нарушению работоспособности технических систем и появлению недопустимого риска для биологических объектов.

Функциональная безопасность – часть общей безопасности, обусловленная применением АТС и зависящая от правильности функционирования

бортового электрооборудования, связанного с безопасностью и других средств по снижению риска.

Устойчивость к электромагнитной помехе (помехоустойчивость) – способность электрооборудования АТС сохранять заданное качество функционирования при воздействии на него электромагнитных помех с регламентируемыми значениями параметров и отсутствие дополнительных средств защиты от помех, не относящихся к принципу действия или построения электрооборудования.

Помехозащищенность – способность ослаблять действие электромагнитных помех за счет дополнительных средств защиты от помех, не относящихся к принципу действия или построения электрооборудования.

Естественная электромагнитная помеха – электромагнитная помеха, источником которой является природное физическое явление.

Техногенная электромагнитная помеха – электромагнитная помеха, источником которой является устройство, созданное человеком.

Электростатический разряд – импульсный перенос электрического заряда между телами с разными электростатическими потенциалами.

Излучаемая помеха – электромагнитная помеха, распространяющаяся в пространстве.

Кондуктивная помеха – электромагнитная помеха, распространяющаяся по проводникам.

Индустриальная помеха – электромагнитная помеха, создаваемая техническими средствами. К индустриальным помехам не относятся помехи, создаваемые излучениями выходных трактов радиопередатчиков.

Коммутационная помеха – индустриальная помеха, возникающая при процессах коммутации тока и напряжения.

Электромагнитный импульс (ЭМИ) – изменение уровня электромагнитной помехи в течение времени, соизмеримого со временем установленного переходного процесса в техническом средстве, на которое это изменение воздействует.

Импульсная помеха – электромагнитная помеха в виде одиночного импульса, последовательности или пачки импульсов.

Непрерывная электромагнитная помеха – электромагнитная помеха, уровень которой не уменьшается ниже определенного значения в регламентированном интервале времени.

Длительная электромагнитная помеха – электромагнитная помеха, время действия которой больше 1 с [11].

Кратковременная электромагнитная помеха – электромагнитная помеха, длительность которой, измеренная в регламентированных условиях, меньше некоторого уровня, регламентированного для данного технического средства [9]. В [11] приведена другая формулировка – электромагнитная помеха, время действия которой меньше 0,2 с.

Следующие два термина являются наиболее употребляемыми в направлении ЭМС АТС: *узкополосная и широкополосная электромагнитные помехи.*

В радиотехнике и измерительной технике их определения несколько различаются. Поэтому использование в них одинаковых терминов в ряде случаев приводит к неоднозначному пониманию излагаемого материала. Направление ЭМС АТС применяет определения вышеуказанных терминов из области измерительной техники.

Узкополосная электромагнитная помеха – электромагнитная помеха, ширина спектра которой по уровню 3 дБ меньше или равна ширине полосы пропускания измерительного приемника.

Широкополосная электромагнитная помеха – электромагнитная помеха, ширина спектра которой по уровню 3 дБ больше полосы пропускания измерительного приемника.

Здесь также эти определения достаточно условны, так как в зависимости от выбранной полосы пропускания, а ее у приемника можно задавать, помеха может быть отнесена к узкополосным или широкополосным. В последней версии американского стандарта MIL-STD-461F устранено разделение помех на узкополосные и широкополосные [12]. И в этом есть определенная логика. Лаборатория ЭМС, проводя испытания, в общем случае рассматривает тестируемый объект как некий черный ящик, который должен соответствовать требованиям ЭМС. Если в схеме имеется источник детерминированного периодического цифрового сигнала, то его спектр будет представлять собой набор дискретных частот, кратных периоду. С позиции радиотехники это широкополосный сигнал, а по результатам тестирования на ЭМС это будет представлено как множество узкополосных помех.

Как правило, отнесение помехи к тому или иному виду происходит по результатам их измерений. На рис. 1.7 приведены примеры широкополосных и узкополосных помех.

Имеется другое определение [13], которое исходит из относительной полосы частот:

$$\eta = \frac{f_v - f_n}{f_v + f_n}, \quad (1.1)$$

где f_v и f_n – верхняя и нижняя границы частот спектральной полосы по уровню –10 дБ.

Помехи, имеющие $\eta \leq 0,01$, являются узкополосными, $0,01 < \eta \leq 0,25$ – широкополосными и $0,25 < \eta \leq 1$ – сверхширокополосными. Данное определение широко используется в зарубежной и отечественной литературе при рассмотрении сверхширокополосных сигналов в различных сферах применения.

Межсистемная электромагнитная помеха – электромагнитная помеха, источник которой находится в системе, не относящейся к рассматриваемой системе, включающей рецептор.

Внутрисистемная электромагнитная помеха – электромагнитная помеха, источник которой находится внутри рассматриваемой системы.

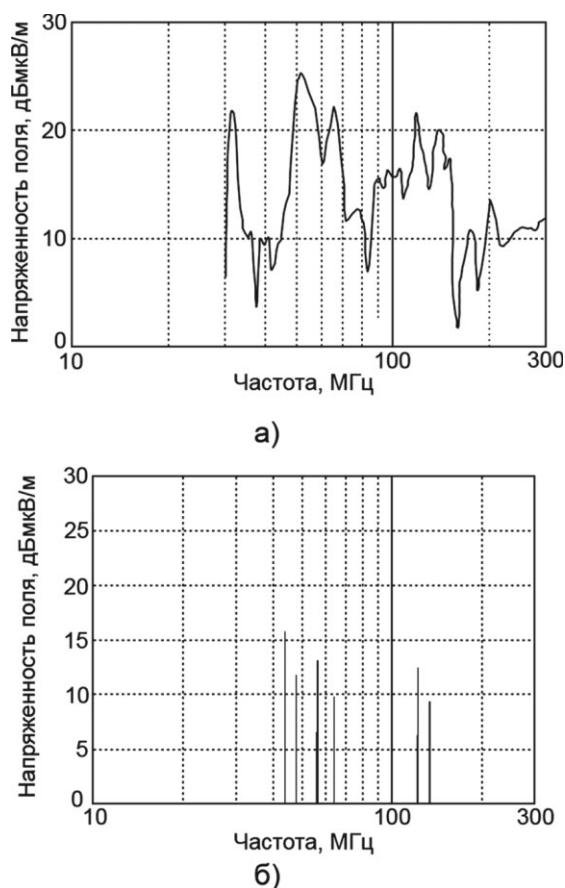


Рис. 1.7. Электромагнитные помехи: а) широкополосные; б) узкополосные

Интермодуляционная помеха – помеха в полосе пропускания устройства, возникающая в его нелинейном тракте при преобразовании двух или более спектральных составляющих входных сигналов.

Перекрестная помеха – помеха, проявляющаяся в изменении структуры принимаемого сигнала и возникающая в нелинейном тракте устройства при действии модулированного сигнала помехи, частота которого находится вне полосы пропускания устройства.

Мешающий сигнал – электромагнитный сигнал, который ухудшает качество функционирования технического средства.

Экранированная камера – помещение, обладающее свойствами экранирования для разделения внутренней электромагнитной обстановки от внешней.

Безэховая камера (БЭК) – экранированная камера с поглощающим электромагнитные волны покрытием внутренних поверхностей.

ТЕМ-камера – экранированная камера, представляющая собой полосковую систему, в которой может быть возбуждена поперечная электромагнитная волна.

Измерительная площадка – площадка, пригодная для измерения электромагнитных помех, излучаемых АТС, параметров и характеристик ЭМС АТС или отдельно взятой системы электрооборудования и отвечающая регламентированным требованиям.

1.3. Источники и рецепторы помех в технических средствах

Автотранспортное средство в процессе всего периода своей эксплуатации подвергается различным электромагнитным воздействиям, имеющим различную физическую природу. В общем случае источники электромагнитных помех подразделяются на естественные и техногенные. Их классификация приведена на рис. 1.8.

Естественные источники ЭМП

Естественные источники ЭМП делятся на земные и внеземные. В диапазоне частот с верхней границей 30 МГц наиболее интенсивны атмосферные электромагнитные помехи (АЭМП) (рис. 1.9), среди которых преобладают молнии. Молнии являются самым распространенным и мощным источником электромагнитных помех естественного происхождения. Приблизительно за одну секунду на Земле происходит около ста ударов молний.

Молния представляет собой разряд в атмосфере с длиной канала искры в несколько километров. Ее источником является грозовое облако. Наиболее часто встречающийся тип грозового разряда – линейная молния. Существует пять основных видов форм токов реальных молний (рис. 1.10). По интенсивности молнии подразделяются на непосредственные, или близкие, и удаленные разряды. С точки зрения ЭМС для гражданского автотранспорта целесообразно рассматривать только удаленные разряды, а для автотранспортных средств специального назначения – все.

Грозовой разряд характеризуется следующими усредненными параметрами:

– заряд грозового облака, К	10–100;
– потенциал облака, В	10^8 – 10^9 ;
– ток разряда, А	10^4 – 2×10^5 ;
– время разряда, мкс	5–100;
– средняя длина молнии, м	10^3 – 7×10^3 ;
– интервал времени между отдельными повторными разрядами, с	0,001–0,5;
– число разрядов	1–30.

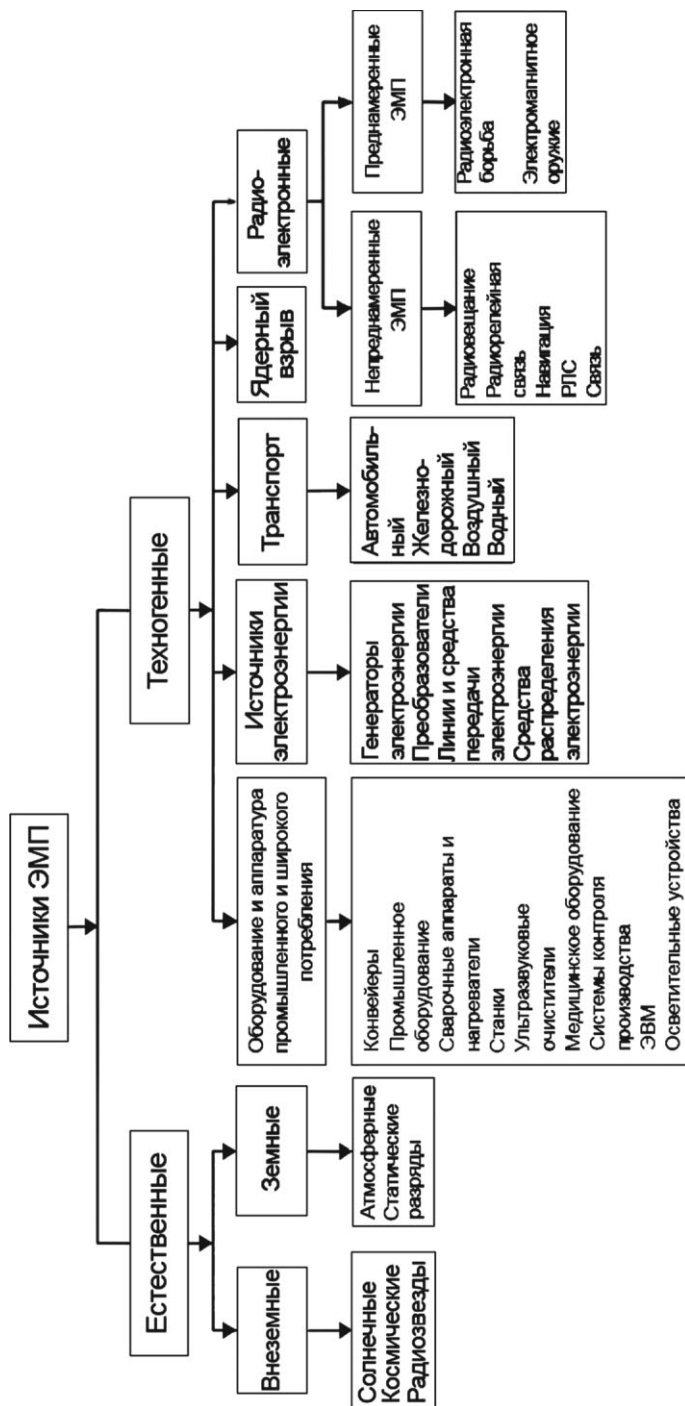


Рис. 1.8. Источники электромагнитных помех

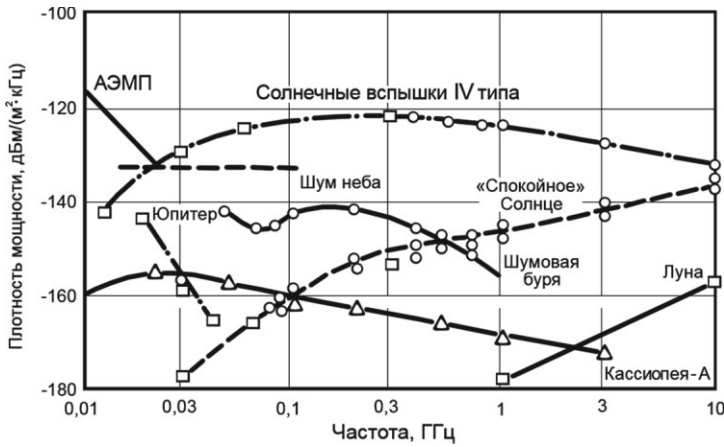


Рис. 1.9. ЭМП естественных источников: Δ , $\square$, $\circ$ – данные разных исследователей

Другими мощными естественными земными источниками электромагнитных помех являются статические разряды. Они образуются из-за накопления электрических зарядов на диэлектрических поверхностях с потенциалами 2–100 кВ и последующего пробоя на проводящие конструкции. В результате разряда возникает кратковременный электрический импульс. Ток разряда достигает значений 5–70 А и создает электромагнитные помехи с параметрами, представленными в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Параметры ЭМП

Параметр	Источник импульса			
	Молния на расстоянии от места удара, м		Разряд статического электричества, см	
	10	100	10	20
Напряженность электрического поля, E , кВ/м	Несколько сотен	40	4	1
Напряженность магнитного поля, H , А/м	Несколько тысяч	160	15	4
Фронт импульса, τ_{ϕ} , нс	Десятки – тысячи		0,2–20	
Частотный спектр	1 кГц – 5 МГц		До 1 ГГц	
Область действия	Локальная, несколько км		Точечная, несколько см	

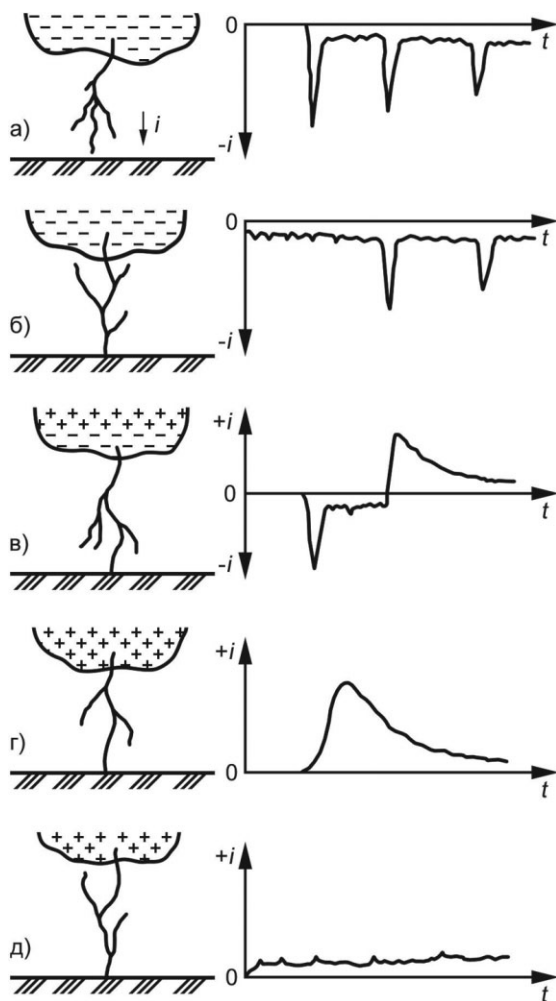


Рис. 1.10. Типовые измеренные формы токов реальных молний:

- а) нисходящая молния с отрицательно заряженного облака;
- б) восходящая отрицательная молния;
- в) молния переменной полярности;
- г) нисходящая молния с положительно заряженного облака;
- д) восходящая положительная молния

К вземным источникам относятся излучение галактик, радиозвезд, Солнца и планет (рис. 1.9). Наибольшую составляющую в фон вносят вспышки на Солнце. Излучение ЭМП Солнца во время вспышек четвертого типа не является максимальным, но оно стабильно, интенсивно, сосредоточено в широкой полосе частот и может длиться несколько суток [14]. Его воздействие вызывает перебои в навигации автотранспортных средств.

Техногенные источники ЭМП

К техногенным источникам ЭМП относятся радиоэлектронные системы, включающие генераторы преднамеренного мощного электромагнитного излучения, источники электроэнергии, машины и оборудование, транспорт и ядерный взрыв.

Ядерный взрыв является наиболее мощным источником электромагнитного излучения. Формирование ЭМП происходит в основном из-за взаимодействия гамма- и рентгеновского излучения с веществом окружающей среды, что сопровождается переносом заряда вторичными электронами, взаимодействием заряженных частиц с геомагнитными полями, а также процессами в зоне высоких градиентов термодинамических характеристик газа в тепловой и ударной волнах [15–18]. Различают наземный и высотный ядерные взрывы (рис. 1.11, 1.12).

Параметры ЭМП высотного ядерного взрыва [13]:

- напряженность электрического поля 50 кВ/м;
- напряженность магнитного поля 133 А/м;
- длительность фронта 2,3 нс;
- длительность импульса (на уровне 0,5) 23 нс.

Параметры ЭМП наземного ядерного взрыва:

- вертикальное электрическое поле 50–100 кВ/м;
 - длительность фронта 10 нс;
 - длительность импульса (на уровне 0,5) 10 мс;
- радиальное электрическое поле 100–200 кВ/м;
 - длительность фронта 10 нс;
 - длительность импульса (на уровне 0,5) 1 мс;
- азимутальное магнитное поле 3–5 кА/м;
 - длительность фронта 100 нс;
 - длительность импульса (на уровне 0,5) 1 мс.

Зона поражения объектов от высотного электромагнитного импульса ядерного взрыва может достигать 2000 км от эпицентра взрыва.

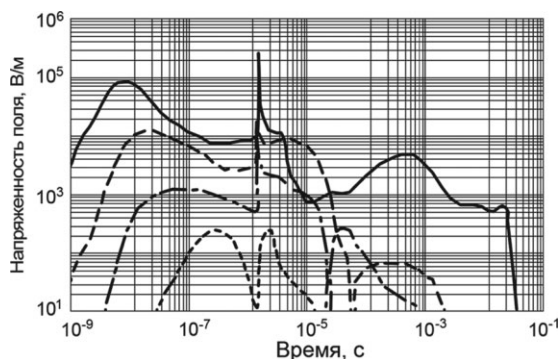


Рис. 1.11. Радиальная компонента ЭМП от наземного ядерного взрыва:
1 – 215 м; 2 – 745 м; 3 – 1520 м; 4 – 3000 м

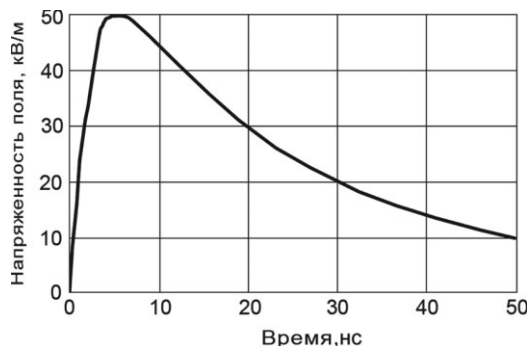


Рис. 1.12. ЭМП высотного ядерного взрыва

Применительно к гражданскому автомобильному транспорту обеспечение ЭМС с данным воздействием экономически нецелесообразно. Вопросы помехозащищенности для этого случая возникают при создании АТС специального назначения.

Высоковольтное оборудование и линии электропередач (ЛЭП) создают ЭМП (рис. 1.13), которые достигают максимальной интенсивности при снегопаде, высокой влажности, тумане и дожде. Уровень ЭМП может достигать значений 10^3 – 10^4 В/м и 10^2 – 10^4 А/м [13]. Из-за неисправностей различного рода или старения возрастает уровень импульсных помех на частотах выше 50 Гц с длительностью от 0,1 с до 10 нс. Импульсы малой длительности обусловлены коронными разрядами на линии. Линии электропередач обладают свойствами двухпроводной линии. Из-за этого вдоль нее могут распространяться ЭМП с малым затуханием на большое расстояние. Кроме того, ЛЭП может увеличивать уровень электромагнитных помех вследствие колебаний, возникающих в механических конструкциях.

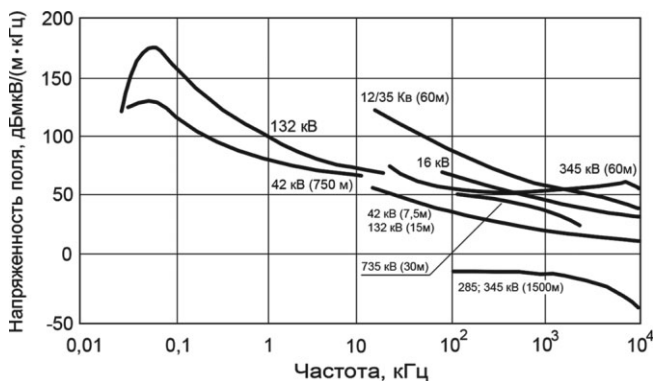


Рис. 1.13. ЭМП от линий электропередач

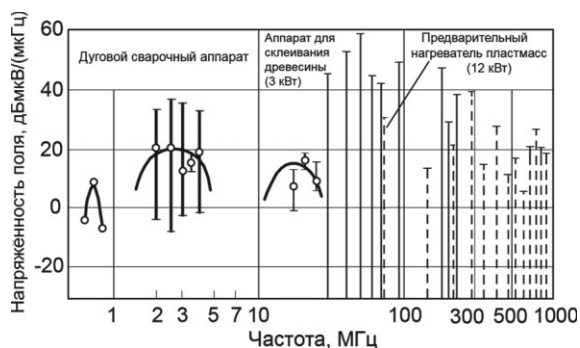


Рис. 1.14. ЭМП от промышленной аппаратуры

Излучаемые электромагнитные помехи от дуговых сварочных аппаратов лежат в диапазонах средних и высоких частот. Для расстояний менее 300 м спектр сосредоточен в одной из трех областей с центральными частотами 750 кГц, 3 и 20 МГц (рис. 1.14).

Помехи от аппаратов для сваривания пластмасс лежат в диапазоне 35 МГц. Основная частота ЭМП от аппарата для склеивания дерева 20 МГц, а от предварительного нагрева пластмасс 70 МГц. Помимо основных несущих, излучение на гармониках достигает частоты 1 ГГц (рис. 1.14).

Регистрируемые с помощью измерительной аппаратуры излучаемые ЭМП от АТС представляют собой во временной области последовательность импульсов со случайной амплитудой и длительностью от 200 нс (рис. 1.15). Их спектр широкополосный и находится в пределах до 1 ГГц.

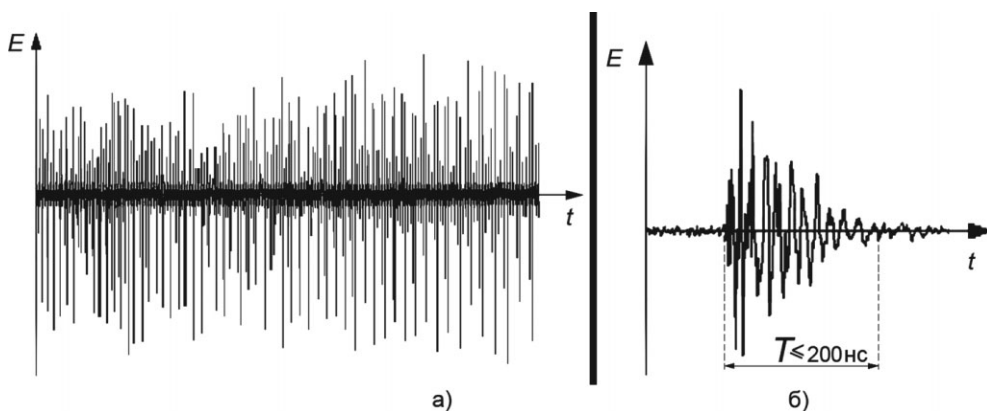


Рис. 1.15. ЭМП от автомобильного транспорта:

- а) последовательность импульсов от группы автотранспортных средств;
- б) одиночный излученный импульс