

# Зарубежные военные стандарты в области ЭМС



Л.Н. Кечиев, Н.В. Балюк

УДК 621.337/39:00-6

ББК 32.86-01ц

К 37

*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.И. Файзрахманов*, председатель технического комитета по стандартизации «Электромагнитная совместимость технических средств», член Комитета оценки соответствия Международной электротехнической комиссии.

*Н.В. Лемешко*, д.т.н., ведущий научный сотрудник НТЦ Анализа ЭМС ФГУП НИИР

Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики».  
National Research University Higher School of Economics

Данное научное исследование (проект 14-01-0072) выполнено при поддержке Программы «Научный фонд НИУ ВШЭ» в 2014/2015 гг.

This study (research grant 14-01-0072) supported by The National Research University–Higher School of Economics’ Academic Fund Program in 2014/2015

**Кечиев Л.Н.**

К 37 Зарубежные военные стандарты в области ЭМС / Кечиев Л.Н., Балюк Н.В. / Под ред. Л.Н. Кечиева – М.: Грифон, 2014. – 448 с. – (Библиотека ЭМС).

ISBN 978-5-98862-223-9

В настоящем издании впервые в отечественной технической литературе представлено детальное рассмотрение зарубежных стандартов по электромагнитной совместимости (ЭМС) для военных и гражданских систем. Основное внимание уделено анализу стандартов для систем вооружения и военных систем как наиболее развитых и жестких для критических приложений. Рассматриваются общие методологические вопросы развития стандартизации и их влияние на совершенствование систем и оборудования по параметрам электромагнитной совместимости.

Дается обзор значительного числа военных стандартов и руководств в области ЭМС США и НАТО, также некоторых основных стандартов для гражданских систем. Приведен анализ применимости гражданских стандартов для аппаратуры, используемой в военных системах.

Значительное внимание в книге уделено содержанию базовых стандартов в области ЭМС для военной аппаратуры и систем – стандартам MIL-STD-461F и MIL-STD-464, раскрывающим полный комплекс испытаний и измерений по параметрам ЭМС, а также наиболее полно описывающим электромагнитную обстановку, в которой функционируют системы вооружения и военной техники.

Книга будет полезна специалистам, занимающимся вопросами ЭМС, проектированием и испытанием аппаратуры и систем, работающих в сложной электромагнитной обстановке. Издание можно рекомендовать в качестве учебного пособия бакалаврам, магистрам и аспирантам соответствующих направлений.

УДК 621.337/39:00-6  
ББК 32.86-01ц

ISBN 978-5-98862-223-9

© Кечиев Л.Н., Балюк Н.В., 2014

# Содержание

Предисловие.....	7
Список сокращений .....	10
<b>1. Стандартизация в области ЭМС военных и гражданских систем .....</b>	<b>12</b>
1.1. Электромагнитная обстановка и безопасность систем .....	12
1.1.1. Основные направления развития стандартизации .....	12
1.1.2. Электромагнитные явления и эффекты среды .....	19
1.1.3. Обзор стандартов/спецификаций по ЭМС.....	20
1.1.4. Требования к оборудованию и системам.....	21
1.1.5. Тестирование систем.....	21
1.1.6. Обслуживание и модификации.....	22
1.2. Особенности существующих стандартов .....	22
1.2.1. Разновидности стандартов .....	22
1.2.2. Внутрисистемная ЭМС .....	23
1.2.3. Необходимые области стандартизации .....	24
1.2.4. ЭМС и функциональная безопасность .....	24
1.2.5. Учет электромагнитной обстановки .....	26
1.2.6. Электромагнитная среда.....	28
1.2.7. Электромагнитные эффекты .....	31
1.2.8. Проектирование и тестирование .....	35
1.2.9. Управление ЭМС для достижения функциональной безопасности .....	38
1.2.10. Идентификация опасностей при функциональной безопасности .....	44
1.3. Воспроизведение электромагнитных факторов природного и техногенного происхождения при испытаниях военной техники .....	48
<b>2. Военные стандарты зарубежных стран в области ЭМС.....</b>	<b>53</b>
2.1. Стандартизация в области ЭМС для ВВТ .....	53
2.1.1. Направления стандартизации в области ЭМС для ВВТ .....	53
2.1.2. Стандартизация внутрисистемной ЭМС .....	56
2.1.3. Стандартизация электромагнитной обстановки для военных систем .....	58
2.2. Стандарты для систем вооружения и военной техники .....	61
2.2.1. Общая характеристика военных стандартов США.....	61
2.2.2. Содержание военных стандартов США .....	68
2.3. Военные руководства в области ЭМС.....	91
2.4. Стандарты Великобритании и НАТО.....	128
2.4.1. Стандарты Министерства обороны Великобритании .....	128
2.4.2. Стандарты НАТО для ВВТ .....	129
2.5. Стандарты для гражданских систем .....	139

2.5.1. Стандарт для авиационной техники RTCA DO-160E .....	139
2.5.2. Стандартизация электромагнитной обстановки для гражданских систем .....	165
<b>3. Требования по управлению параметрами электромагнитных помех для подсистем и оборудования ВВТ .....</b>	<b>171</b>
3.1. Введение .....	171
3.2. Общие требования .....	172
3.2.1. Введение .....	172
3.2.2. Требования к интерфейсу .....	173
3.2.3. Особенности фильтрации для корабельной аппаратуры .....	174
3.2.4. Совместимость оборудования .....	174
3.2.5. Коммерческое оборудование в системах ВВТ .....	175
3.2.6. Переходные процессы коммутации .....	177
3.2.7. Взаимозаменяемое модульное оборудование .....	178
3.3. Требования к процедуре тестирования .....	178
3.3.1. Условия проведения тестирования .....	178
3.3.2. Окружающая электромагнитная среда .....	182
3.4. Опорная плоскость заземления .....	183
3.4.1. Назначение опорной плоскости заземления .....	183
3.4.2. Металлическая опорная плоскость заземления .....	184
3.4.3. Композитная плоскость заземления .....	186
3.5. Исходное полное сопротивление питания .....	186
3.6. Особенности проведения испытаний .....	189
3.7. Проверка конфигурации тестируемого оборудования .....	192
3.8. Функционирование тестируемой аппаратуры .....	198
3.9. Тестирование эмиссии .....	204
3.9.1. Полосы пропускания .....	204
3.9.2. Идентификация эмиссии .....	207
3.9.3. Сканирование по частоте .....	207
3.9.4. Представление данных по эмиссии .....	209
3.10. Тестирование восприимчивости .....	211
3.10.1. Сканирование по частоте .....	211
3.10.2. Модуляция сигналов при тестировании восприимчивости .....	214
3.10.3. Пороги восприимчивости .....	216
3.11. Калибровка измерительной установки .....	217
<b>4. Процедуры тестирования восприимчивости и помехоэмиссии .....</b>	<b>218</b>
4.1. Требования к процедурам тестирования .....	218
4.2. Тестирование кондуктивной эмиссии (группа СЕ) .....	221
4.2.1. СЕ101 – кондуктивная эмиссия от проводов питания, 30 Гц – 10 кГц .....	221
4.2.2. СЕ102 – кондуктивная эмиссия от проводов питания, 10 кГц – 10 МГц .....	229

4.2.3. CE106 – кондуктивная эмиссия от терминала антенны, 10 кГц – 40 ГГц .....	236
4.3. Тестирование кондуктивной восприимчивости (группа CS) .....	243
4.3.1. CS101 – кондуктивная восприимчивость проводов питания, 30 Гц – 150 кГц .....	243
4.3.2. CS103 – кондуктивная восприимчивость порта антенны, интермодуляция, 15 кГц – 10 ГГц .....	250
4.3.3. CS104 – кондуктивная восприимчивость порта антенны, подавление нежелательных сигналов, 30 Гц – 20 ГГц .....	253
4.3.4. CS105 – кондуктивная восприимчивость порта антенны, перекрестная модуляция, 30 Гц – 20 ГГц .....	255
4.3.5. CS106 – кондуктивная восприимчивость на проводах питания, переходные процессы .....	258
4.3.6. CS109 – кондуктивная восприимчивость от токов структуры, 60 Гц – 100 кГц.....	263
4.3.7. CS114 – кондуктивная восприимчивость кабелей от инжектированных токов, 10 кГц – 200 МГц .....	267
4.3.8. CS115 – кондуктивная восприимчивость через кабели от инъекции тока с импульсным возбуждением .....	278
4.3.9. CS116 – кондуктивная восприимчивость через кабели и провода питания от демпфированных синусоидальных переходных процессов, 10 кГц – 100 МГц .....	284
4.4. Тестирование излученной эмиссии .....	290
4.4.1. RE101 – излученная эмиссия магнитного поля, 30 Гц – 100 кГц .....	290
4.4.2. RE102 – излученная эмиссия электрического поля, 10 кГц – 18 ГГц .....	294
4.4.3. RE103 – излученная эмиссия ложных и гармонических сигналов от антенны, 10 кГц – 40 ГГц .....	306
4.5. Тесты восприимчивости .....	311
4.5.1. RS101 – излученная восприимчивость магнитного поля, 30 Гц – 100 кГц .....	311
4.5.2. RS103 – излученная восприимчивость электрического поля, 2 МГц – 40 ГГц .....	321
4.5.3. RS105 – излученная восприимчивость переходного электромагнитного поля .....	338

## 5. Параметры электромагнитной обстановки для систем

<b>вооружений и военной техники</b> .....	344
5.1. Особенности ЭМО для ВВТ.....	344
5.2. Предельные значения .....	348
5.3. Внутрисистемная электромагнитная совместимость .....	352
5.4. Интермодуляционные помехи, генерируемые корпусом судна ....	356
5.5. Электромагнитная среда внутри судна .....	357

5.6. Переходные процессы в линиях питания .....	357
5.7. Спонтанный вторично-электронный эффект .....	359
5.8. Межсистемная ЭМС .....	360
5.9. Молния .....	371
5.10. Электромагнитный импульс (ЭМИ) высотного ядерного взрыва .....	380
5.11. Электромагнитные помехи от подсистем и оборудования .....	386
5.11.1. Общие требования .....	386
5.11.2. Не связанные с развитием элементы и коммерческие элементы .....	389
5.11.3. Совместимость радиочастотного спектра .....	390
5.11.4. Корабельная среда магнитного поля постоянного тока .....	392
5.12. Контроль над электростатическим разрядом .....	393
5.12.1. Общие требования .....	393
5.12.2. Вертикальный подъем грузов и заправка горючим в полете .....	396
5.12.3. Осаждение статических зарядов (p-static) .....	397
5.12.4. Подсистемы пиротехники .....	399
5.13. Опасности электромагнитного излучения (EMRADHAZ) .....	400
5.13.1. Разновидности опасностей электромагнитного излучения .....	400
5.13.2. Опасности электромагнитного излучения для персонала .....	400
5.13.3. Опасности электромагнитного излучения для топлива .....	402
5.13.4. Опасности электромагнитного излучения для боеприпасов .....	402
5.14. Жизненный цикл средств защиты .....	408
5.15. Электрические соединения (металлизация) структуры .....	412
5.15.1. Общие требования .....	412
5.15.2. Возвратный путь тока питания .....	418
5.15.3. Инсталляции антенны .....	419
5.15.4. Электромагнитные помехи .....	420
5.15.5. Опасности для персонала и аварийная защита .....	421
5.16. Внешнее заземление .....	422
5.16.1. Общие требования .....	422
5.16.2. Заземление тактического убежища .....	424
5.16.3. Заземление оборудования обслуживания и поддержки .....	425
5.17. Информационная безопасность .....	426
5.18. Контроль над эмиссией .....	426
5.19. Защитные уровни излучения .....	429
<b>6. Применимость требований гражданских стандартов для систем ВВТ.....</b>	<b>431</b>
6.1. Сравнение гражданских и военных стандартов.....	431
6.2. Различия между гражданскими и военными стандартами .....	435
6.3. Применимость коммерческого оборудования для систем ВВТ .....	436
<b>Заключение .....</b>	<b>441</b>
<b>Литература .....</b>	<b>443</b>

## 2. Военные стандарты зарубежных стран в области ЭМС

---

### 2.1. Стандартизация в области ЭМС для ВВТ

#### 2.1.1. Направления стандартизации в области ЭМС для ВВТ

Стандарты – важные нормативно-технические документы для ВВТ, содержащих электрическое/электронное оборудование, чтобы обеспечить внутрисистемную ЭМС и защитить их от электромагнитных воздействий окружающей среды, например от полей высокой интенсивности (HIRF), молний или электромагнитного импульса.

Стандарты определяют электромагнитные параметры среды, включают требования к оборудованию и проектированию систем, они также определяют процедуры, которые должны продемонстрировать степень защиты от внешних электромагнитных воздействий. Кроме этого, стандарты содержат описание мероприятий для обеспечения гарантии достаточной защиты в течение всего жизненного цикла системы.

Дополнительно к стандартам нормативная база США содержит руководства (Handbook), которые развивают требования стандартов и конкретизируют охваченные стандартами вопросы, доводя их до инженерных решений. Наиболее объемные и детальные руководства относятся к вопросам проектирования аппаратуры и систем в целом с учетом ЭМС.

В стандартах для военных систем рассматриваются следующие основные электромагнитные эффекты: межсистемная и внутрисистемная ЭМС, поля высокой интенсивности, молнии, электромагнитный импульс, E- и P-статическое электричество, мощное микроволновое излучение [27].

**Межсистемная ЭМС** означает ЭМС между различными системами, работающими одновременно в группировке, а также с окружающей электромагнитной обстановкой.

**Внутрисистемная ЭМС** означает ЭМС между всем электрическим/электронным оборудованием, установленным в системе, включая передатчики и приемники. Внутрисистемная ЭМС – важный фактор для оценки функционирования систем.

**Поля высокой интенсивности (HIRF)** описывают параметры интенсивных электромагнитных воздействий, которые могут возникать от внешних

радиопередающих систем, радиолокационных станций или передатчиков других систем.

**Молния** является одним из самых мощных естественных источников электромагнитных излучений. Защита от молний требуется для различных систем. Этот аспект включает: воздействие на компоненты структуры полей («прямое влияние») и воздействие на электронные системы и оборудование наведенными токами и напряжениями («косвенные воздействия»).

**Электромагнитный импульс (ЭМИ)** возникает при ядерных взрывах. В зависимости от высоты взрыва рассматриваются два различных импульса:

- ЭМИ высотного ядерного взрыва, когда взрыв производится на высотах более 50 км. В этом случае на высотах 20–40 км создается источник огромных размеров, поля которого у поверхности земли создают поражающее воздействие для объектов на значительной территории;
- ЭМИ наземного ядерного взрыва. В данном случае в районе эпицентра взрыва образуется источник интенсивных электромагнитных полей, опасных для наземных и подземных сооружений. В стандартах рассматривается только высотный ЭМИ, как наиболее вероятная угроза для объектов на поверхности земли и в полете.

**E- и P-статическое электричество** вызвано вибрацией, влияниями среды (например, пыль), при этом системы или их части могут зарядиться статическим электричеством до критических потенциалов. При достижении зарядов критического уровня возникает ЭСР, который может привести к значительным повреждениям оборудования, шоку персонала, воспламенению топлива и другим негативным последствиям.

На мощное микроволновое излучение стандартные требования разрабатываются, и, вероятно, оно станет в будущем существенной угрозой для критических систем. Интенсивные поля СВЧ диапазона могут генерироваться специальным оружием, чтобы повредить входные преобразователи («эффекты парадной двери») и/или оборудование, не подключенное к антенне, например компьютеры («эффект черного хода»), а также системы ВВТ, которые содержат чувствительные электрические/электронные системы.

Большинство систем должны надежно функционировать в определенной внешней ЭМО. Это может быть, например, HIRF, молния, ЭМИ, ММИ или в некоторых случаях комплексные воздействия. Выявлено разрушающее действие мощных электромагнитных полей на компьютерные сети [28], системы виденаблюдения [29], на системы памяти [30] и другие компоненты информационных систем. Особое значение при современном оснащении вооруженных сил электронными системами, системами связи и управления боем приобретают методы и средства защиты электроники от электромагнитных воздействий и реализация требований внутриаппаратурной ЭМС при проектировании подобных средств [4, 5].

Знание ЭМО абсолютно необходимо для формулирования задания для проектирования систем и системного тестирования, когда должна быть продемонстрирована достаточная защита от внешних ЭМВ. Оборудование, уста-



новленное в системе, должно в общем случае выполнить требования относительно помехоэмиссии и устойчивости к помеховым воздействиям. Для их подтверждения создаются стандартизованные испытательные установки и нормы.

Если ЭМО известна, то становятся ясны направления проектирования для достижения устойчивой работы нового оборудования и для принятия решения на защиту в условиях модернизации систем. Концепция защиты оборудования должна быть осмыслена на системном уровне, опираясь на знание условий эксплуатации. После разработки системы должно быть продемонстрировано, что все требования внутрисистемной ЭМС, а также защита от HIRF, молнии, ЭМИ и ММИ выполнены и защита от внешних ЭМВ обеспечена.

Измерения уровней электромагнитной защиты рассматриваются как системные аспекты безопасности. Это применимо как для внутрисистемной ЭМС, так и для HIRF, молнии, ЭМИ и E-Static.

Некоторые из мер по защите могут стать менее эффективными за счет коррозии, повреждений. Методы управления электромагнитной защитой в жизненном цикле должны быть доступными, чтобы обеспечить стабильность показателей защиты. Многие системы модернизируются на протяжении жизненного цикла. При этом может быть установлено новое или модернизированное оборудование, проведено частичное изменение структуры системы. Доступные методы обеспечения ЭМС должны гарантировать достаточную защиту после таких процессов модификации, не повторяя дорогое системное тестирование.

Выполнение работ по обеспечению ЭМС для систем ВВТ невозможно без широкого охвата всех проблем соответствующими стандартами и сопутствующей нормативной документацией. Представляет интерес рассмотреть содержание военных стандартов зарубежных стран, и прежде всего США, в сфере ЭМС. В настоящее время при создании зарубежных систем ВВТ используются следующие разновидности военных стандартов:

- MIL-STD-XXX – военные стандарты США для военных систем в США и во многих других странах;
- Handbook-XXX – руководства по применению методов обеспечения ЭМС с инженерными рекомендациями по реализации этих методов; носят сугубо рекомендательный характер;
- MIL-Y-XXX – спецификации на компоненты, рекомендованные к применению в системах ВВТ;
- STANAG XXX – стандарты для систем ВВТ НАТО.

В приведенных условных обозначениях символом X обозначены цифровые, символом Y – буквенные идентификаторы документа. Многие стандарты введены в действие достаточно давно, и с тех пор в них внесены многочисленные изменения. Новые версии стандартов обозначаются добавлением к номеру буквенного индекса. Например, одним из основных стандартов, задающих требования к испытаниям систем ВВТ, является MIL-SND-461F.

Существуя многие годы, он претерпел 6 изменений, последнее из которых (версия F) принято в 2007 г.

Военные стандарты существуют также, например, в Германии, Великобритании и ряде других стран, но ведущую роль играют стандарты США.

### 2.1.2. Стандартизация внутрисистемной ЭМС

Внутрисистемную ЭМС нужно рассматривать как важнейшую предпосылку функционирования системы, которая означает, что система должна работать без сбоев при наличии внешних ЭМВ. Защиты системы только от внешних ЭМВ в большинстве случаев будет недостаточно, чтобы обеспечить внутрисистемную ЭМС. При внешних воздействиях имеют место различные типы сигналов и различные пути связи.

Предельные нормы для помехоэмиссии и восприимчивости для внутрисистемной ЭМС основаны на практическом опыте. В комбинации со свойствами системы и правил проектирования систем (соединение, монтаж и т.д.) их выполнение гарантирует с большой вероятностью внутрисистемную ЭМС.

Обеспечение ЭМС оборудования, однако, не абсолютная гарантия должного функционирования системы. Тесты ЭМС на системном уровне должны быть выполнены с запасом (6–20 дБ) для всех функций, представляющих интерес для критических систем и безопасности.

Чтобы достигнуть и гарантировать внутрисистемную ЭМС на протяжении всего жизненного цикла, должны быть выполнены: требования к оборудованию, процедуры, гарантирующие внутрисистемную ЭМС, методы управления внутрисистемной ЭМС на протяжении жизненного цикла (обслуживание); они могут быть объединены с мерами управления внешними электромагнитными эффектами и методами контроля внутрисистемной ЭМС после модификаций.

Как правило, в стандартах отсутствуют детальные решения, направленные на удовлетворение требований внутрисистемной ЭМС. Они находятся в компетенции проектировщиков систем, которые принимают решения после понимания электромагнитных угроз. Широкий спектр практических рекомендаций установлен в Руководствах.

Стандарты по внутрисистемной ЭМС представлены в табл. 2.1. Следует отметить, что после введения в действие стандарта MIL-STD-461F стандарт MIL-STD-462D потерял силу, но многие нормативные документы продолжают использовать его для определения методов контроля ЭМС.

Таблица 2.1

## Основные стандарты для внутрисистемной ЭМС

Область применения	Требования к оборудованию	Требования к проекту системы	Процедуры системных испытаний	Обслуживание	Модификации
Общие требования	MIL-STD-461F MIL-STD-462D MIL-STD-464A MIL-STD-1857 MIL-STD-1818A	STANAG 4567		STANAG 7130	STANAG 7130
Снаряжение, системы оружия, включая электрически инициируемые взрыватели (ЭИВ)	MIL-STD-1512 (ЭИВ) (STANAG 4238)	STANAG 4238			
Военные самолеты	STANAG 3516 MIL-STD-461F MIL-STD-462D	STANAG 3659 MIL-STD-1512	STANAG 7116		
Надводные корабли, металлические объекты	STANAG 4435 MIL-STD-461F MIL-STD-462D	MIL-STD-1310G MIL-STD-1377 MIL-STD-1605			
Надводные корабли, неметаллические объекты	STANAG 4436 MIL-STD-461F MIL-STD-462D				
Подводные лодки	STANAG 4437 MIL-STD-461F MIL-STD-462D	MIL-STD-1399			
Космические аппараты и средства выведения	MIL-STD-461F MIL-STD-462D	MIL-STD-1541A MIL-STD-1542B MIL-STD-1576			
Наземные системы	MIL-STD-461F MIL-STD-462D				

### 2.1.3. Стандартизация электромагнитной обстановки для военных систем

#### *Поля высокой интенсивности (HIRF)*

Излученные поля высокой интенсивности могут создаваться радиопередатчиками, радарными станциями или передатчиками других военных систем. Стандарты для полей высокой интенсивности представлены в табл. 2.2.

Таблица 2.2

Стандарты для полей высокой интенсивности (HIRF)

Область применения	Среда	Требования к оборудованию	Требования к системам	Испытательные процедуры для систем	Обслуживание	Модификации
Общие требования	STANAG 1307	MIL-STD-461F MIL-STD-462D			STANAG 7130	STANAG 7130
Боеприпасы, системы оружия, включая ЭИВ	STANAG 4234 MIL-STD-464	(STANAG 4238) MIL-STD-1512 ЭИВ	STANAG 4238 MIL-STD-1385B	STANAG 4324		
Военные самолеты	STANAG 3614 MIL-STD-464	STANAG 3516 MIL-STD-461F MIL-STD-462D		STANAG 7116		
Надводные корабли, металлические поверхности	MIL-STD-464	STANAG 4435 MIL-STD-461F MIL-STD-462D MIL-STD-464	MIL-STD-1310G			
Надводные корабли, неметаллические поверхности	MIL-STD-464	STANAG 4436 MIL-STD-461F MIL-STD-462D MIL-STD-464				

Область применения	Среда	Требования к оборудованию	Требования к системам	Испытательные процедуры для систем	Обслуживание	Модификации
Подводные лодки	MIL-STD-464	STANAG 4437 MIL-STD-461F MIL-STD-462D MIL-STD-464				
Космические аппараты и средства выведения	MIL-STD-464	MIL-STD-461F MIL-STD-462D	MIL-STD-1542B			
Наземные системы	MIL-STD-464	MIL-STD-461F MIL-STD-462D	MIL-STD-188-125			

Таблица 2.3

## Стандарты по защите от молнии

Область применения	Среда	Требования к оборудованию	Требования к системам	Испытательные процедуры для систем	Обслуживание	Модификации
Общие требования	STANAG 4236 MIL-STD-464	STANAG 4327 STANAG 4236		STANAG 4327	(STANAG 7130) Все системы	(STANAG 7130) Все системы
Боеприпасы, системы оружия, включая ЭИВ	STANAG 4236	MIL-STD-1512	STANAG 4238			
Военные самолеты	MIL-STD-1795A		STANAG 3659 MIL-STD-1795A	STANAG 7116 MIL-STD-1757A		
Наземные системы	МЭК 61024-1/2	МЭК 61312-4	МЭК 61312-1/2 МЭК 61662		МЭК 61024-2	

**Молния**

Молния стала большим риском для современных систем, оснащенных электрическим и электронным оборудованием. Это особенно важно для современной авиационной техники. Поэтому совместные усилия специалистов направлены на разработку новых требований и новых испытательных методов для гарантированной защиты от молний для современных самолетов. Стандарты по молнии представлены в табл. 2.3.

**Электромагнитный импульс**

Наиболее вероятная и критическая угроза для объектов в полете и на поверхности земли – электромагнитный импульс высотного ядерного взрыва (High Altitude Electromagnetic Pulse – высотный электромагнитный импульс), который рассматривается в большинстве стандартов. Существующие стандарты представлены в табл. 2.4.

Таблица 2.4

**Стандарты по ЭМИ**

Область применения	Среда	Требования к оборудованию	Требования к системе	Тестирование	Обслуживание	Модификации
Общие требования	STANAG 4145 MIL-STD-464 MIL-STD-2119	STANAG 4145 MIL-STD-461F MIL-STD-462D	STANAG 4145		STANAG 7130. Все системы	STANAG 7130. Все системы
Боеприпасы, системы оружия, включая ЭИВ				STANAG 4416		
Военные самолеты				STANAG 7116		
Наземные системы			MIL-STD-188-125A			

**Е-и Р-статическое электричество**

Электростатические эффекты вызывают много проблем, связанных с деградацией характеристик или повреждением электронных компонентов, опасностями для оружия, воспламенением топлива, возникновением системных помех (например, генерирование помех в антенных системах) и возможностью поражения персонала. Существующие стандарты представлены в табл. 2.5.

Таблица 2.5

**Стандарты в области статического электричества**

Область применения	Среда	Требования к оборудованию	Требования к системе	Тестирование	Обслуживание	Модификации
Общие требования					STANAG 7130. Все системы	STANAG 7130. Все системы
Боеприпасы, системы оружия, включая ЭИВ	STANAG 4235 STANAG 4239 MIL-STD-1512	STANAG 4490 MIL-STD-1512 ЭИВ MIL-STD-1686C	STANAG 4434	STANAG 4239		
Военные самолеты	MIL-STD-464		STANAG 3659 (металлический)	STANAG 7116		

**2.2. Стандарты для систем вооружения и военной техники****2.2.1. Общая характеристика военных стандартов США**

Ниже рассмотрены документы Министерства обороны (DoD) США: стандарты MIL-STD и руководства MIL-HDBK, относящихся к проблеме проектирования систем, электронных средств и обеспечения их функциональной надежности, стойкости, живучести и ЭМС. Рассмотрены также вопросы, связанные с ЭМО, методами и средствами испытаний, которые могут оказать воздействие на указанные характеристики электронных средств.

В обзоре приводятся только те документы, которые доступны для свободного использования. Приведенные данные имеют сугубо информационный характер и не могут ни при каких обстоятельствах рассматриваться как руководство к действию.

Цель анализа – проиллюстрировать спектр проблем, методов и средств обеспечения качественного функционирования электронных средств ВВТ в сложной электромагнитной обстановке. Опыт решения отмеченных задач, зафиксированный в стандартах и руководствах, позволяет спланировать пути решения конкретных проблем, которые возникают при создании электронных средств различного назначения.

Организационные и технические решения, приведенные в стандартах и руководствах, требуют адаптации к конкретным проектам, нормам, стандартам и правилам проектирования.

Рассмотренные документы, их назначения и содержания приведены в табл. 2.6.

Таблица 2.6

**Базовые военные стандарты США в области ЭМС  
и функциональной безопасности**

Объект рассмотрения	Обозначение документа	Назначение	Примечание
1	2	3	4
Функциональная и системная безопасность	MIL-STD-882D	Системная безопасность	Приводятся базовые требования
	MIL-STD-1316E	Требования к безопасности детонаторов (кроме оружия, базируемого на руках)	Дополнительно MIL-STD-1911, MIL-STD-331
	MIL-STD-1466	Безопасность пиротехники. Требования	
	MIL-STD-1911A	Безопасность оружия, базируемого на руках	Дополнительно MIL-STD-1316, MIL-STD-331
	MIL-HDBK-504	Руководство по критериям безопасности иницирующих систем	
	MIL-HDBK-764	Системная безопасность	
	MIL-HDBK-1012/3	Требования к размещению оборудования	Информационная безопасность
Информационная безопасность	MIL-HDBK-232A	Инсталляция оборудования	
Надежность электронных средств	MIL-HDBK-217F	Прогнозирование надежности	Справочник по параметрам надежности компонентов электронных средств
	MIL-HDBK-338B	Руководство по надежности	Базовый документ по оценке параметров надежности электронных средств



Объект рассмотрения	Обозначение документа	Назначение	Примечание
1	2	3	4
Элементная база, компоненты, межсоединения	MIL-STD-883G	Тестирование микросхем	Все виды тестирования, включая электрические свойства и параметры ЭМС
	MIL-HDBK-198A	Конденсаторы	
	MIL-HDBK-199A	Резисторы	
	MIL-HDBK-454A	Общие требования для электронного оборудования	
	MIL-HDBK-508	Выбор проводов и кабелей	
	MIL-HDBK-1547	Электронные узлы и материалы	Космические системы. См. MIL-STD-1547
	MIL-HDBK-83575	Руководство по проводному монтажу	
Радиочастотные линии передачи	MIL-HDBK-216	Радиочастотные линии передачи (кабели и волноводы)	Требования, конструкции и методика проектирования радиочастотных линий передачи. Методически очень полезно. Отменен в 2001 г.
Материалы и технологии	MIL-STD-1547	Узлы, материалы, компоненты для космических средств	Коррелируется с MIL-HDBK-5J
	MIL-STD-1568	Материалы и предотвращение коррозии	
	MIL-STD-2000A	Паяные электрические соединения	
	MIL-HDBK-5J	Металлические материалы для космических средств	Полный справочник по металлическим материалам, применяемым в космической отрасли
	MIL-HDBK-270A	Магнитная проницаемость и проводимость металлов	Для ВМФ
	MIL-HDBK-729	Коррозия и ее предотвращение	

Объект рассмотрения	Обозначение документа	Назначение	Примечание
1	2	3	4
Материалы и технологии	MIL-HDBK-1250A	Предотвращение коррозии	
	MIL-HDBK-1568(USAF)	Материалы и процессы предотвращения коррозии	Базовые требования. Для ВВС
	MIL-HDBK-1587(USAF)	Требования к материалам и процессам	Для ВВС
Электромагнитная обстановка (ЭМО) и ее воздействие на электронные средства, электромагнитная совместимость (ЭМС)	MIL-STD-253	Требования к проектам систем, защищенных от воздействия электромагнитной энергии	
	MIL-STD-464A	Электромагнитные эффекты окружающей среды	Наиболее полное описание ЭМО. Дополнительно см. MIL-HDBK-237D
	MIL-STD-1541(NAVY)	Требования ЭМС	Космические системы
	MIL-STD-1542(NAVY)	Требование ЭМС и заземление зданий	Строительные объекты космических систем
	MIL-STD-1605(Ships)	Экспертиза электромагнитных возмущений	
	MIL-STD-1757A	Испытания на воздействие молний	Аннулирован в 1996 г.
	MIL-STD-1818A	Общие требования к электромагнитным эффектам для систем	
	MIL-HDBK-235-1B	Электромагнитная обстановка	Дополнительно см. MIL-HDBK-253, MIL-HDBK-237
	MIL-HDBK-237D	Электромагнитные эффекты окружающей среды	Наиболее полные характеристики электромагнитной обстановки. Основной стандарт – MIL-STD-464A
	MIL-HDBK-240	Опасности ЭМО для вооружения	
MIL-HDBK-423	Защита зданий от ЭМИ высотного ядерного взрыва	Отсутствует в открытом доступе	

Объект рассмотрения	Обозначение документа	Назначение	Примечание
1	2	3	4
Электромагнитная обстановка (ЭМО) и ее воздействие на электронные средства, электромагнитная совместимость (ЭМС)	MIL-HDBK-1004/6	Защита от молний. Требования	Командные пункты ВМФ
	MIL-HDBK-2036	Содержание спецификаций на аппаратуру	
Электростатические разряды (ЭСР)	MIL-STD-1686C	Программа контроля ЭСР	Дополнительно MIL-HDBK-263B
	MIL-HDBK-263B	Защита частей и аппаратуры от воздействия ЭСР	Полное руководство по защите от ЭСР
	MIL-HDBK-773	Защитная антистатическая упаковка	
Заземление, электрические соединения, экранирование	MIL-STD-419A	Элементы теории и практика заземления, соединений и экранирования	По полноте охвата и детальности рассмотрения документа следует считать базовыми для обеспечения ЭМС электронных средств. Дополнительно MIL-STD-188-124, MIL-STD-188-125, MIL-HDBK-423
	MIL-STD-1310G (NAVY)	Практика соединений, заземления и обеспечения ЭМС	Базовые требования
	MIL-STD-1377(NAVY)	Эффективность подавления помех. Требования	
	MIL-STD-1857	Практика заземления, соединений и экранирования	
	MIL-HDBK-1857		
	MIL-STD-188-124	Заземление, соединения, экранирование для телекоммуникационных систем	Преимущественно относится к строениям

Объект рассмотрения	Обозначение документа	Назначение	Примечание
1	2	3	4
Заземление, электрические соединения, экранирование	MIL-STD-188-125	Защита командных пунктов от электромагнитного импульса (ЭМИ) высотного ядерного взрыва	Распространяется на строения (системы связи, управления и т.п.)
	MIL-STD-285	Методы измерения эффективности экранирования	Один из основных стандартов в области измерения эффективности экранирования помещений
	MIL-HDBK-274	Заземление воздушных судов	Для самолетов морского базирования
	MIL-HDBK-1195	Экранирование помещений	Полное руководство по экранированию помещений
Стойкость электронных систем	MIL-STD-331C	Тестирование детонаторов, в том числе на влияние электрических и магнитных факторов высотного ядерного взрыва	
	MIL-STD-1512(USAF)	Тестирование электровзрывателей	
	MIL-STD-1576(USAF)	Требования безопасности электровзрывателей и их тестирование для космических систем	
	MIL-HDBK-273	Живучесть самолетов при угрозе ядерного оружия	
	MIL-HDBK-335	Стойкость оружия к электромагнитным излучениям	
Системы питания	MIL-STD-1399(NAVY)	Интерфейс системы питания для подводных лодок	
	MIL-HDBK-241B	Снижение помех от систем питания, включая импульсные	
	MIL-HDBK-411B	Окружающая среда и система питания	

Объект рассмотрения	Обозначение документа	Назначение	Примечание
1	2	3	4
Испытания и измерения	MIL-STD-461F	Управление электромагнитными помехами подсистем и оборудования. Определяет методы измерений и испытаний	Основные стандарты для испытаний и измерений в области ЭМС для всех систем, создаваемых для МО США
	MIL-STD-462D		
Прочие требования, имеющие отношение к проектированию электронных средств и ЭМС	MIL-STD-188-XXX	Совокупность стандартов, определяющих общие требования к системам передачи информации	Согласованы со стандартами НАТО (STANAG)
	MIL-STD-188-140	Требования к низкочастотным системам связи	
	MIL-STD-469B	ЭМС радаров	
	MIL-STD-310	Глобальные климатические факторы	Справочные данные
	MIL-STD-463A	Система единиц в области ЭМС	
	MIL-STD-1285D	Требования к маркировке частей аппаратуры	
	MIL-HDBK-244A	Техническая совместимость самолетов и их снаряжения	
	MIL-HDBK-412	Геологические изыскания под объекты спутниковой связи	
	MIL-HDBK-1760	Межсоединения между самолетом и сторонним оборудованием	
MIL-HDBK-1763	Хранение авиационного оборудования	Имеется раздел по ЭМС	

## 2.2.2. Содержание военных стандартов США

В разделе представлены результаты анализа основных стандартов в области ЭМС.

**MIL-STD-188-100, Military Standard. Common Long Haul and Tactical System Technical Standards. (15 Nov 1972). Технические стандарты для систем дальней связи общего назначения и тактических систем.**

Стандарт открывает серию стандартов по общим принципам проектирования военных телекоммуникационных систем, которые в дальнейшем развиваются в серии стандартов:

- стандарты для систем дальней связи общего назначения и тактических систем – серия MIL-STD-188-100;
- стандарты для систем дальней связи – серия MIL-STD-188-200;
- стандарты для тактических систем – серия MIL-STD-188-300.

Эти документы согласованы с требованиями НАТО (STANAG), и все изменения или прекращения действия стандартов проводятся в установленном порядке через международные соглашения по стандартизации.

В стандартах серии 188 даются наиболее общие требования к системам передачи информации, сигналам, видам модуляции, шумовым характеристикам и т.п., а также базовые требования к технической реализации систем.

**MIL-STD-188-124B (NOTICE 3), Military Standard. Grounding, Bonding and Shielding. (18 Dec 2000). (34 p.). Заземление, соединения и экранирование.**

Стандарт устанавливает минимальные базовые требования и цели для заземления, электрических соединений и экранирования наземных телекоммуникационных систем, подсистем и оборудования, включая строения и структуры для тактических и протяженных систем телекоммуникаций.

В стандарте рассматриваются методы молниезащиты для телекоммуникационного оборудования. Заземления для зданий рассмотрены в следующих разделах: системы электродов заземления, системы защиты от повреждений, подсистема защиты от молний, система возвратных токов.

Объекты рассмотрения – оборудование аэропортов, радио, радары, наземные терминалы космической связи, центральные телефонные узлы, микроволновые узлы телекоммуникаций, компьютерные центры, электронное оборудование вооружения.

Основное содержание стандарта:

1. Термины и определения.
2. Базовые требования к заземлению сооружений, заземлению в арктических районах, электрическим соединениям, экранированию.
3. Детальные требования;
  - к системе заземления, заземляющим электродам и их конфигурациям, к предотвращению нарушений в системе (металлическая структура здания, трубопроводы, электрические системы и питание);

- молниезащита: система заземления и отвода тока, соединения и электроды, защита антенн, волноводов, коаксиальных кабелей, кабелепроводы, ограничители тока молний;
- сигнальное заземление: высокочастотные цепи, низкочастотные цепи, сигнальная изоляция, оборудование сигнального заземления;
- подсистема предупреждения нарушений: защита персонала, фильтры, нейтраль;
- соединения, их защита и предупреждение от коррозии, вибрация, выбор материалов и различные виды механических и металлургических соединений;
- экранирование: базовые требования и основные направления реализации, материалы, прокладки, апертуры, проводные и кабельные маршруты, экраны телефонных кабелей.

**MIL-STD-188-125, Military Standard. High-Altitude Electromagnetic Pulse (HEMP) Protection for Ground-Based C4I Facilities Performing Critical, Time-urgent Missions. (1998). (108 p.).** Защита от высотного электромагнитного импульса (HEMP) стационарных и мобильных наземных средств, которые выполняют критические, срочные функции командования, контроля, связи, вычислений и функции разведки (С4I).

*Цель.* Этот стандарт устанавливает минимальные требования и цели проекта при воздействии электромагнитного импульса высотного ядерного взрыва (HEMP) на укрепленные наземные средства, которые выполняют критические срочные функции командования, контроля, связи, вычислений и функции разведки (С4).

*Область применения.* Стандарт предписывает минимальные требования для защиты и обеспечения малого риска при прерывании функционирования или нарушении работоспособности из-за угрозы HEMP, определенных в MIL-STD-2169. Этот стандарт также затрагивает минимальные требования тестирования для демонстрации достигнутого качества функционирования и для того, чтобы проверить, что установленная подсистема защиты обеспечивает необходимую стойкость объекта во время работы.

Этот стандарт содержит требования для поддержания жизнеспособности целей ядерного нападения, обеспечивая стандартизированный подход, определяющий низкий риск для наземных средств в сетях С4, стойких к HEMP. Эти однородные требования гарантируют сбалансированную защиту от HEMP для всех критических средств сети.

Содержание стандарта:

1. Термины и определения.
2. Основные требования: программа повышения стойкости, тестирование на HEMP, основные методы повышения стойкости.
3. Детальные требования к наземным системам: топология подсистем защиты, заземление объектов, экранирование для защиты от HEMP, архитектура точек входа, механика точек входа, структурные точки входа, электрические точки входа, специальные измерения уровня защиты, надежность,

безопасность, тестируемость, контроль коррозии, менеджмент, верификация тестирования, требования программы повышения стойкости.

4. Приложения: процедура определения эффективности экранирования, процедура тестирования за счет инжекции тока, процедура тестирования за счет незатухающих колебаний.

Стандарт очень полезен для вопросов архитектурного экранирования и проектирования специальных технических зданий.

В приложении стандарт определяет проект и критерии тестирования для специальных наземных средств при воздействии НЕМР для критических ответственных сетей С4. Такие узлы включают терминалы и центры обработки данных, станции передачи и получения информации, релейные станции. Стандарт относится как к новым конструкциям, так и к модификации существующих средств. Хотя только отдельные части объекта являются целью стандарта, предполагается, что способные к выживанию магистральные каналы связи, оптоволоконные линии или другие защищенные межсоединения между средствами будут подготовлены для выполнения поставленных задач. Рекомендуется использовать стандарт для разработки защиты от НЕМР других наземных электронных средств.

**MIL-STD-188-140, Military Standard. Equipment Technical Design Standards for Common Long Haul/Tactical Radio Communications in the Low Frequency Band and Lower Frequency Bands. (1981). (28 p.). Стандарты на проектирование оборудования протяженных/тактических систем радиосвязи в низкочастотном и более низком диапазоне частот.**

Этот стандарт является одной из частей группы стандартов MIL-STD-188, посвященных системам радиосвязи. Он выдвигает минимальные требования для систем экстремально низких частот (ELF, ниже 300 Гц), инфранизких частот (INF, 300–3000 Гц), очень низких частот (VLF, 3–30 кГц), низких частот (LF, 30–300 кГц). Этот документ согласуется со стандартами НАТО (STANAG).

Стандарт регламентирует основные показатели для радиосистем: вид модуляции, стабильность частоты и т.п.

Стандарт не оговаривает требования к конструкции систем.

**MIL-STD-285 (Notice 1), Military Standard. Attenuation Measurements for Enclosures, Electromagnetic Shielding, for Electronic Test Purposes, Method of. (24 Oct 1997). (15 p.). Методы измерений ослаблений и электромагнитного экранирования.**

Стандарт рассматривает методы измерения характеристик ослабления электромагнитных экранов замкнутых объемов (помещений) с помощью тестов, перекрывающих частотный диапазон от 100 кГц до 10 ГГц.

Даются основные термины и определения, показатели эффективности, требования к оборудованию, схемы измерений для экранированных помещений в случае электрического, магнитного и электромагнитного поля.

Этот стандарт наиболее часто используется для измерения эффективности экранирования экранированных помещений и экранированных камер.



**MIL-STD-331C, Military Standard. Test Method Standard. Fuze and Fuze Components, Environmental and Performance Tests for. (5 Jan 2005). (295 p.).**  
**Окружающая среда и тестирование детонаторов и детонирующих компонентов.**

Этот стандарт одобрен для использования всеми отделами и агентствами Министерства обороны США (DoD). Он соответствует политике DoD, направленной на более широкое применение коммерческих продуктов.

Существование этого стандарта не уменьшает ответственность за определения среды, в которой будет работать детонирующая система во время ее жизненного цикла. Это является существенным для надлежащего выбора и идентификации испытательных процедур. Только один испытательный метод может не соответствовать условиям, в которых работает аппаратура. Ряд методов в этом стандарте включают параметры или опции, которые разрешены к применению к определенным проектам детонирующих устройств, окружающим средам и условиям эксплуатации.

Стандарт включает в себя следующие методы испытаний:

1. Тест на ударные воздействия (толчок, беспорядочное воздействие, падение с высоты 12 и 1,5 м, транспортировка упакованных систем).

2. Тесты на вибрационные воздействия (транспортная вибрация неупакованных и упакованных систем, тактическая вибрация).

3. Климатические тесты (температура и влажность, вакуум, паровое давление, солевой туман, водонепроницаемость, грибы, температура экстремального значения, тепловой удар, обнаружение утечки, пыль, солнечное излучение).

4. Безопасность, тесты боеготовности и функционирования (первичная взрывчатая составляющая безопасности, расстояние детонатора от реактивного снаряда, время до воздушного взрыва, вывод компонента взрывчатого вещества, воздействие дождя, воздействие кистевого разряда без огня, детонирование боеприпасов при двойной загрузке, прогрессивный тест вооружения).

5. Тесты снаряжения самолета (выбрасывание за борт, случайный выпуск на низкой высоте, перемещение зафиксированного снаряжения при приземлении, усилия при катапультировании и приземлении, моделируемая доставка парашютом).

6. Тесты на влияние электрических и магнитных факторов (электростатический разряд, высотный электромагнитный импульс, электромагнитные опасности излучения для оружия (HERO), электромагнитное излучение, влияние на функционирование).

**MIL-STD-461F, Military Standard. DoD. Interface Standard. Requirements for the Control of Electromagnetic Interference Characteristics of Subsystems and Equipment. (10 Dec 2007). (269 p.).**  
**Требования по управлению электромагнитными помехами подсистем и оборудования.**

Этот стандарт устанавливает требования тестирования для контроля электромагнитных помех (электромагнитные шумы) эмиссии и восприимчивости электронного, электрического и электромеханического оборудования