

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ И ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ

Монография

УДК 531/534

ББК 20.1

A76

Рецензенты:

Ю.П. Коськин, д.т.н., профессор, Засл. деятель науки РФ, научный консультант ООО «Центр Электромеханотроники», Санкт-Петербург,

М.А. Шакиров, д.т.н., профессор, профессор кафедры «Теоретические основы электротехники» Санкт-Петербургского государственного политехнического университета Петра Великого

Аполлонский С.М.

A76 Электромагнитная совместимость и функциональная безопасность в электроэнергетике : монография / С.М. Аполлонский. — М. : РУСАЙНС, 2016. — 326 с.

ISBN 978-5-4365-0624-1

DOI 10.15216/978-5-4365-0624-1

Предназначена для студентов, магистров и аспирантов, изучающих электромагнитную совместимость и функциональную безопасность в электроэнергетических системах, нормативно-правовые акты и стандарты, регулирующие эти вопросы.

Материал может быть использован инженерно-техническими работниками, занятыми в сфере создания и эксплуатации электроэнергетических систем.

The book is intended for students, graduate and postgraduate students in electromagnetic compatibility and functional safety in electric power systems, regulations and standards governing these issues.

The material can be used in engineering and technical personnel engaged in the creation and operation of electric power systems.

УДК 531/534

ББК 20.1

ISBN 978-5-4365-0624-1

© Аполлонский С.М., 2016

© ООО «РУСАЙНС», 2016

Оглавление

Предисловие	5
Принятые сокращения	11
Раздел I. ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ НА ОБЪЕКТАХ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ. МЕЖДУНАРОДНЫЕ И РОССИЙСКИЕ СТАНДАРТЫ»	12
Глава 1. Электромагнитная безопасность в техносфере.....	12
1.1. Требования по ЭМС технических средств на объектах электроэнергетики и промышленности	12
1.2. Электромагнитная обстановка на объектах электроэнергетики.....	32
1.2.1. Общее описание электромагнитной обстановки на объектах электроэнергетики	32
1.2.2. Концепция гроозащиты и борьба с перенапряжениями.....	34
1.2.3. Мероприятия по обеспечению ЭМС	37
1.3. Основы правового и нормативного обеспечения ЭМС.....	51
1.4. О Проекте Федерального закона «Об общем техническом регламенте об электромагнитной совместимости»	59
1.5. Государственный надзор за обеспечением ЭМС	65
Глава 2. Стандарты по электромагнитной совместимости.....	66
2.1. Международные нормы и стандарты.....	66
2.1.1. Стандарты международной электротехнической комиссии (МЭК).....	66
2.1.2. Стандарты международного специального комитета по радиопомехам (СИСПР).....	73
2.1.3. Европейские стандарты (EN) ПО ЭМС.....	75
2.2. Стандарты ЭМС, гармонизированные с международными стандартами	77
2.3. Стандарты ЭМС, принятые до 1999 г, не гармонизированные с международными стандартами.....	86
2.4. Процедура сертификации продукции с учётом ЭМС в европейском союзе	90
Глава 3. Классификация ЭМО и испытаний степени жесткости объектов на помехоустойчивость	105
3.1. Общие положения.....	105
3.2. Классификация электромагнитной обстановки окружающей среды	106
3.3. Воспроизведение электромагнитных помех при испытаниях автоматических и автоматизированных систем технологического управления электротехническими объектами ...	108

Раздел II. ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ (СТАНДАРТЫ И ПРОБЛЕМЫ).....	140
Глава 4. Техническое регулирование и риск-менеджмент в электроэнергетике.....	143
4.1. Техническое регулирование в электроэнергетике и управление качеством	143
4.1.1. Закон «О техническом регулировании» и его применение в электроэнергетике	143
4.1.2. Практика стандартизации в электроэнергетике	149
4.1.3. Системы менеджмента качества согласно ИСО 9000.....	154
4.1.4. Проблемы в сфере нормативно- технического регулирования [19]	157
4.2. Риск-менеджмент в электроэнергетике	161
4.2.1. Риск-менеджмент	161
4.2.2. Основные риски энергетических комплексов	162
4.2.3. Системы риск-менеджмента как инструмент повышения эффективности электроэнергетической отрасли РФ	168
4.2.4. Проблемы риск-менеджмента в электроэнергетике	171
4.2.5. Основные стандарты риск-менеджмента	174
Глава 5. Стандарты функциональной безопасности систем электроэнергетики	176
5.1. Понятие «Функциональная безопасность».....	176
5.2. ГОСТ Р МЭК 61508 Функциональная безопасность систем электрических, электронных, программируемых электронных, связанных с безопасностью	181
5.3. МЭК 61511:2004 Функциональная безопасность – инструментальные системы безопасности для непрерывных производств.....	253
5.4. Новые национальные стандарты на системы, связанные с безопасностью зданий и сооружений систем	260
5.5. Функциональная безопасность программных средств	265
5.5.1. Проблемы обеспечения функциональной безопасности программных средств	265
5.5.2. Основные понятия и факторы, определяющие безопасность программных средств	274
5.5.3. Характеристики среды, для которой должна обеспечиваться функциональная безопасность программных средств.....	291
5.5.4. Ресурсы для обеспечения функциональной безопасности программных средств	301
Заключение	312
Библиография	315

Предисловие

Современная электроэнергетическая система (ЭЭС) представляет собой многоуровневую структуру, включающую мощные источники и приемники (рецепторы) электрической энергии; распределительные устройства с разветвленными линиями передачи или кабельными трассами; защитную и коммутирующую аппаратуру; системы управления и коммутации. Развитие таких ЭЭС связано с их автоматизацией, следовательно, с увеличением доли высокочувствительных элементов автоматики и полупроводниковой техники. Усложнение системы, в свою очередь, приводит к увеличению числа сбоев и отказов элементов, к снижению надежности и эффективности ЭЭС в целом. При проектировании сложных ЭЭС и систем управления проблема надежности их функционирования выдвигается на первое место [6, 113].

Повышение надежности отдельных элементов или подсистем ЭЭС, введение структурной и временной избыточности, использование взаимозаменяемости и восстанавливаемости элементов, а также иных методов надежности сложной системы, позволяют гарантировать отказоустойчивость системы, т. е. способность правильно функционировать при отказах или сбоях элементов. Для обеспечения гарантируемой отказоустойчивости ЭЭС в последнее время все чаще начинают учитывать изменения ее параметров и функций из-за взаимовлияния отдельных элементов в рамках проблемы электромагнитной совместимости (ЭМС).

ЭМС можно рассматривать как способность устройства, использующего электромагнитные явления, удовлетворительно функционировать в данном электромагнитном окружении, не создавая недопустимых помех этому окружению, а также стойкость к мощным электромагнитным полям (ЭМП) от молний, ядерных взрывов и внутрисистемных разрядных процессов.

Состояние совместимости, как следует из этого определения, может быть достигнуто при помощи правильного конструирования, размещения, надлежащего управления, а также с учетом воздействий внешней среды.

В настоящее время все большее число высокочувствительных электромагнитных элементов для своего надежного функционирования требуют решения тех или иных задач ЭМС [5]. При увеличении доли высокочувствительных элементов автоматики, измерительных и контролирующих комплексов, информационных линий и др. в ЭЭС область ЭМС существенно расширяется. В большем объеме используются полупроводниковые преобразователи, микросхемы, микропроцессоры

ры, выступающие в роли рецепторов, на которые воздействуют ЭМП помех. Кроме того, из-за наличия источников ЭМП даже традиционные элементы установки, такие как коммутирующая аппаратура, устройства контроля и защиты, автоматические пульты и др., допускают сбои, ложные срабатывания, выходят из строя. Так, импульсные ЭМП вызывают перенапряжения в электрических цепях системы, приводят к повреждениям полупроводниковых элементов, к коротким замыканиям (К.З.). Помехи, распространяющиеся по цепи и вызванные переходными процессами при переключениях в сетях питания, воздействуют на цифровые системы, на информационные линии. Наличие низкочастотных электромагнитных процессов в общих сетях (гармонических составляющих питающего напряжения, перерывов питания и т. д.), а также нелинейных нагрузок, существенно расширяет проблематику ЭМС, вовлекая в нее все виды источников и приемников электроэнергии. Уменьшается надежность, живучесть и безопасность ЭЭС в целом [4].

Обеспечение совместной работы различных видов электрооборудования (ЭО) в ограниченных по объему помещениях в настоящее время приобретают первостепенное значение. Вопросы ЭМС в их современном понимании до последнего времени ставились и решались как второстепенные в рамках проблемы помехоустойчивости. Только в последние десятилетия им стали уделять значительное внимание, когда возросла потребность в снижении ЭМП низкой частоты. Эта потребность вызвана двумя причинами: обнаружением значительного рассеяния электроэнергии линиями электропередачи (в том числе и кабельными трассами) во время коммутации, при наличии значительного состава гармоник и т. д., созданием высокочувствительных приборов и применением маломощных устройств, работающих при низких напряжениях (интегральных схем, магнитометров, приемников инфракрасного излучения). Многочисленные излучатели создают в ограниченных по объему помещениях поля сложной структуры, как по поляризационным, так и по амплитудно-фазовым характеристикам.

Задачи ЭМС приходится решать комплексно применительно к сложной системе, характерными признаками которой являются:

- Наличие большого числа взаимосвязанных и взаимодействующих между собой элементов.
- Сложность функции, выполняемой системой и направленной на достижение заданной цели функционирования.
- Возможность разбиения системы на подсистемы, функционирование которых подчинено общей задаче.

- Наличие управления, разветвленной информационной сети и интенсивных потоков информации.
- Наличие взаимодействия с внешней средой и функционирование в условиях воздействия случайных процессов [42].

Задачи ЭМС включают в себя несколько групп вопросов:

1. Обеспечение совместной работы двух источников, для которых определено наличие взаимных или односторонних помех.
2. Изучение взаимодействия оборудования в ограниченной по пространству системе.
3. Оценка работы оборудования в условиях ЭМП помех, созданных оборудованием других комплексов.

Кроме того, решаются задачи анализа и обеспечения минимальных электромагнитных помех в случаях, когда в качестве источников ЭМП и приемников выступают различные сочетания ЭО. Решение перечисленных задач необходимо при разработке технических требований к оборудованию при проектировании, изготовлении, приемно-сдаточных испытаниях, установке, эксплуатации.

Важнейшими задачами обеспечения ЭМС являются:

1. Прогнозирование уровня ЭМП помех в энергетических помещениях.
2. Разработка теории расчета ЭМП помех близко расположенного ЭО.
3. Оценка эффективности экранирования устройств от воздействия как стационарных, так и импульсных ЭМП.

Перечисленные задачи, часть из которых будет рассмотрена ниже, не охватывают всю проблему ЭМС, но служат хорошей иллюстрацией ее сложности и многогранности.

На наш взгляд, в ближайшие годы найдет широкое распространение снижение полей помех применением проектирования с учетом минимизации физических полей (например, магнитно-акустическое проектирование), применения специального размещения источников ЭМП помех и т. д., а также с использованием специальных помехоподавляющих устройств.

Реализация задач, стоящих перед электроэнергетиками: введение автоматизированных комплексов для управления производством и транспортными средствами, создание гибких автоматизированных приводов и роботов для обеспечения непрерывных технологических операций, поднимет проблему ЭМС разнородного ЭО на качественно новую ступень. Это потребует совершенствования как известных методов обеспечения ЭМС, так и разработки принципиально новых, экономически целесообразных, обладающих необходимой надежностью и достаточной живучестью.

Многие годы единственным подходом к обеспечению ЭМС было фиксирование напряженности поля помех и соответствующее изменение характеристик эксплуатируемых электротехнических элементов. Однако, в связи с увеличением насыщенности энергетического помещения разнообразными типами ЭО, стало очевидным, что такой подход неэкономичен и связан со значительным ухудшением эффективности ЭЭС. Другой подход к решению проблемы ЭМС заключается в строгом нормировании и стандартизации параметров аппаратуры и систем в процессе проектирования и конструирования. Такие требования, с одной стороны, должны обеспечить совместимость разнородного ЭО, а с другой - должны быть практически достижимыми.

Следует отметить, что характеристики внешней среды могут осуществлять:

- Прямое воздействие на ЭМС: ионизирующие излучения; электромагнитные излучения; ЭМП от собственных мощных источников; ЭМП, возникающие при аварийных ситуациях в (короткие замыкания, отключение отдельных подсистем и т.д.).
- Косвенное действие на ЭМС: давление, динамические усилия, влажность, температура, концентрация газовых компонент в воздушной среде.

Проблема ЭМС в ЭЭС (особенно в автономных), при значительной схожести с проблемой ЭМС в радиотехнических комплексах, имеет и существенное отличие. Здесь исследованию подлежат ЭМП с более широким частотным диапазоном ($f \in [0 \div 10^8]$, Гц), включающим низкочастотные помехи; более широкий набор рецепторов: от электронной управляющей, регулирующей и контролирующей аппаратуры до мощных преобразователей - трансформаторов, выпрямителей, инверторов и т.д.; набор режимов работы от холостого хода до короткого замыкания. В связи с отмеченным, ЭМС в автономных ЭЭС представляется более объемной и требует комплексного подхода к ее решению.

При решении задач ЭМС каждое из устройств ЭЭС следует рассматривать как элемент некоторой подсистемы, в которой проявляются негативные связи (электрические и магнитные) этого элемента с другими. Такой подход позволяет рассматривать проблему ЭМС в ЭЭС как общую проблему при исследовании источников и рецепторов ЭМП, выделяя в них соответствующие признаки, которым ранее не придавалось значения. ЭМС представляет собой область науки и техники, развитие которой тесно связано с электротехникой и электроникой.

Миниатюризация оборудования, а также увеличивающаяся сложность, интеграция и взаимодействие элементов приводят к тому,

что электронные установки и компоненты становятся более уязвимыми к внешним воздействиям электромагнитной природы. Повышение энерговооруженности технологических процессов, более высокие токи, напряжения и уровни мощности оборудования увеличивают потенциал электромагнитных помех, а интегрирование и взаимопроникновение силовых и информационных компонентов внутрь оборудования приближает источники помех к приборам и устройствам, которые могут быть чувствительны к ним. Поэтому возникает задача обеспечения безопасности, надежности и качества функционирования всех типов оборудования и систем там, где они используются. Если эта задача выполнена, то говорят, что обеспечена ЭМС технических средств с внешней средой, в которой они располагаются. Таким образом, ЭМС касается всех нас. Это относится как к электронным системам управления движением самолетов, поездов, морских судов, промышленных установок, так и к функционированию бытовой техники, различных устройств в магазинах, кинотеатрах, концертных залах, стадионах и т. п.

Обеспечение ЭМС требует рассматривать два аспекта проблемы: влияние электротехнического и электронного оборудования на системы электропитания и сети электроснабжения и влияние электромагнитных помех различного происхождения на функционирование электронных компонентов систем управления, связи и обработки информации.

Проблема ЭМС имеет не только теоретическое, но и экономическое значение. Например, качественное функционирование многочисленных промышленных предприятий и сетей электроснабжения целых областей (регионов) зависит от информационно-управляющих систем, поэтому безотказность электронных систем является также экономическим фактором первостепенной важности. Это объясняет, почему стандарты и требования, относящиеся к ЭМС, признанные во всем мире или согласованные на региональном уровне, приветствуются изготовителями и пользователями электрического и электронного оборудования, в то время как другие стандарты иногда рассматриваются как мешающие функционированию предприятия.

Стандарты ЭМС являются предпосылкой к обеспечению того, что многочисленные виды электронного оборудования не окажут влияния друг на друга или, еще хуже, не вызовут катастрофических нарушений функционирования оборудования. Они устанавливают требования для оборудования как в отношении максимально допустимой эмиссии паразитных излучаемых и кондуктивных ЭМП помех, так и работоспособности оборудования в условиях влияния этих помех.

Стандарты - только один аспект проблем, связанных с обеспечением ЭМС. Они устанавливают общие требования к качеству функционирования в условиях помех, которым должны соответствовать изделия, но обеспечение выполнения их требований остается за изготовителями. Однако требования стандартов могут выполняться только в том случае, если существуют необходимые технические знания, навыки и решения, касающиеся проблемы ЭМС.

Возрастающее внимание мировой общественности к проблемам безопасности в настоящее время приводит к более детальному изучению всех аспектов безопасности, их определению и классификации с целью формирования более корректных законодательных нормативных актов, содержащих положения, обязательные при создании и эксплуатации опасных технологий и производств. Результат такого изучения - появление новых аспектов безопасности.

Изучение функциональной безопасности включает в себя выявление таких специфических опасных ситуаций, которые могут повлечь за собой серьезные последствия (например, человеческие жертвы), и установление для каждой из них максимально допустимой частоты возникновения. Выявляется также оборудование, отказ которого может внести свой вклад в возникновение подобных ситуаций. Такое оборудование обычно называют «связанным с безопасностью». Примерами могут служить системы управления производственными процессами, системы останова технологического процесса, оборудование сигнализации на железной дороге, средства управления движением автомобиля, медицинское оборудование и т.д. Иными словами, любое оборудование (с программным обеспечением или без него), отказ которого может повлиять на возникновение аварийной ситуации, следует считать «связанным с безопасностью».

Принятые сокращения

ВЧ - высокие частоты,
К.З. - короткое замыкание,
ЛЭП - линия электропередачи,
МП - магнитное поле,
МППЧ – МП промышленной частоты,
МЭК – Международная экспертная комиссия,
НН – низкое напряжение,
НЧ - низкие частоты,
ПДУ - предельно допустимый уровень,
РЛС - радиолокационная станция,
СВН - сверхвысокое напряжение,
СВЧ - сверхвысокие частоты,
СЧ - средние частоты,
СЭ - статическое электричество,
ТС - технические средства,
УНЧ – ультранизкие частоты,
ФБ - функциональная безопасность,
ЭЗ - электростатические заряды,
ЭМБ – электромагнитная безопасность,
ЭМИ - электромагнитные излучения,
ЭМО – электромагнитная обстановка,
ЭМП - электромагнитное поле,
ЭМС - электромагнитная совместимость,
ЭО - электрооборудование,
ЭП - электрическое поле,
ЭСП - электростатическое поле,

Раздел I. ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ НА ОБЪЕКТАХ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ. МЕЖДУНАРОДНЫЕ И РОССИЙСКИЕ СТАНДАРТЫ

Глава 1. Электромагнитная безопасность в техносфере

1.1. Требования по ЭМС технических средств на объектах электроэнергетики и промышленности

Введение. В настоящее время в связи с развитием электроэнергетики и электротехники на энергетических и промышленных объектах ведется активное внедрение микропроцессорной аппаратуры, устройств релейной защиты и блоков управления, чувствительных к помехам. Актуальной становится проблема ЭМС технических средств (ТС), требования которой являются сегодня обязательными во всех экономически развитых странах. Требования ЭМС рассматриваются в двух аспектах: первый – устанавливает уровень электромагнитных помех, которые создает ТС при своей работе; второй – уровень устойчивости ТС к электромагнитным помехам, которые могут возникать в месте эксплуатации ТС. Основной причиной нарушения требований ЭМС являются небольшие расстояния между токоведущими частями силовых установок и чувствительными к МП промышленной частоты ТС, что приводит к снижению надежности аппаратуры и резкому возрастанию отказов в работе и ложным срабатываниям.

Основные понятия в области ЭМС. Базовая информация относительно общепризнанного понятийного аппарата (терминологии) в области ЭМС приведена в [1,2].

Электромагнитная совместимость технических средств – это способность ТС функционировать с заданным качеством в заданной электромагнитной обстановке и не создавать недопустимых электромагнитных помех другим ТС и электромагнитных воздействий на биологические объекты [4-7]. Иными словами, это нормальное совместное функционирование передатчиков и приемников электромагнитной энергии.

Техническое средство (ТС) – электротехническое или электронное изделие, оборудование, аппаратура или система, а также изделие, содержащее электрические и (или) электронные компоненты (схемы).

Электромагнитная помеха – электромагнитное явление или процесс естественного или искусственного происхождения, которые снижают или могут снизить качество функционирования ТС. Она может излучаться в пространство или распространяться в проводящей среде.

Источник помехи – источник искусственного или естественного происхождения, который создает или может создать электромагнитную помеху, то есть это устройство, излучающее электромагнитную энергию [3, 8].

Приемник помех (рецептор) ТС, реагирующее на электромагнитный сигнал и (или) ЭМП [6, 8, т. II].

Чувствительный к помехам элемент приемника – электрическое устройство или группа устройств, которые нарушают свою работоспособность или целостность при воздействии электромагнитной энергии.

Электромагнитная обстановка (ЭМО) – совокупность электромагнитных явлений, процессов в заданной области пространства, частотном и временном диапазонах [9, 10].

Электромагнитное воздействие – электромагнитное явление или процесс, которые влияют или могут повлиять на биологические объекты. К электромагнитным воздействиям относятся создаваемые ТС в окружающем пространстве электромагнитные, электрические и магнитные поля.

Эмиссия помех – излучение электромагнитной энергии могущей вызвать нежелательный эффект [63].

Уровень помехи – значение величины электромагнитной помехи, измеренное в регламентированных условиях [3, 8, 11]. Уровень ЭМС – установленный уровень электромагнитной помехи, используемый для определения предельных значений помехоэмиссии и помехоустойчивости [4, 11, 21].

Устойчивость ТС к ЭМП (помехоустойчивость) – способность ТС сохранять заданное качество функционирования при воздействии на него внешних помех с регламентируемыми значениями параметров в отсутствии дополнительных средств защиты от помех, не относящихся к принципу действия или построения ТС [3, 8, 17].

Качество функционирования ТС – совокупность свойств и параметров, характеризующих работоспособность ТС [3, 8, 17].

Ухудшение качества функционирования – нежелательное отклонение в работе ТС от установленного режима функционирования [14].

Биологические объекты – люди (персонал, обслуживающий ТС, и население), животные и растения.

Электромагнитная обстановка. Электромагнитную обстановку на любом объекте характеризуют следующие основные факторы, влияющие на работу ТС:

- влияние других ТС, установленных на объекте: низковольтное и высоковольтное оборудование, крупное промышленное оборудование, применяемое на объекте, линии электропитания, другие системы, работающие на объекте, системы передачи сигналов, а также оборудование, работающее с ними в системе управления;
- влияние системы управления на включенное в нее оборудование;
- влияние передаваемых сигналов (помехи, наводки): ЭП и МП, ЭМП, наведенные напряжения и токи, переходные процессы в системах;
- влияние неупорядоченное заземление оборудования и отсутствие специально спроектированных систем заземления;
- колебания в сетях питания.

Любые ТС, установленные на промышленном объекте, также вносят свою долю в ухудшение ЭМО на объекте. Так, например, они могут создавать дополнительные электрические, магнитные и электромагнитные помехи, наводки. При этом ТС влияют на качество работы другого оборудования, работающего с ними в одной системе управления и контроля, а именно так, они могут вызвать сбои и нарушения функционирования этого оборудования. А также они могут влиять на работу системы управления в целом: вызывать сбои, ложные срабатывания, необоснованные включения и выключения систем защиты.

В настоящее время существуют ГОСТы, которые регламентируют амплитудные и частотные характеристики помех (жесткость ЭМО) и реакцию оборудования на воздействие этих помех (критерий качества функционирования).

Жесткость ЭМО в местах размещения ТС – это обобщенная характеристика, зависящая от интенсивности кондуктивных и излучаемых помех, действующих в месте размещения ТС. Жесткость ЭМО определяется условиями размещения, установки и монтажа ТС. По жесткости ЭМО разделяется на 4 группы [22]:

- I – легкая электромагнитная обстановка;
- II – электромагнитная обстановка средней жесткости;
- III – жесткая электромагнитная обстановка;
- IV – крайне жесткая электромагнитная обстановка.

Группа I. Легкая электромагнитная обстановка:

- осуществлены оптимизационные и скоординированные мероприятия по подавлению помех и защите от перенапряжений во всех цепях;
- электропитание отдельных элементов устройства зарезервировано, силовые и сигнальные цепи выполнены раздельно;

- заземление, прокладка кабелей, экранирование произведено в соответствии с требованиями ЭМС;
- климатические условия контролируются и приняты специальные меры по предотвращению разрядов статического электричества.

Группа II. Электромагнитная обстановка средней тяжести:

- цепи питания и управления частично оборудованы помехозащитными устройствами и устройствами для защиты от перенапряжений;
- отсутствуют силовые выключатели, устройства для отключения конденсаторов, катушек индуктивностей;
- электропитание устройств осуществляется от сетевых стабилизаторов;
- имеется тщательно выполненное заземляющее устройство;
- токовые контуры разделены гальванически;
- предусмотрено регулирование влажности воздуха и не имеется материалов, способных электризоваться трением;
- запрещено применение радиопереговорных устройств и передатчиков.

Такая ЭМО типична для диспетчерских помещений промышленных предприятий, электростанций и подстанций.

Группа III. Жесткая электромагнитная обстановка:

- защита от перенапряжений в силовых цепях и цепях управления не предусмотрена;
- повторного зажигания дуг в коммутационных аппаратах не происходит;
- имеется заземляющее устройство;
- провода электропитания, управления и коммутационных цепей недостаточно разделены;
- кабели линий передачи данных, сигнализации, управления разделены;
- относительная влажность воздуха поддерживается в определенных пределах и не имеется материалов, способных электризоваться трением;
- использование переносных радиопереговорных устройств ограничено (установлено расстояние, на которое с этими устройствами нельзя приближаться к приборам).

Такая ЭМО характерна для промышленных предприятий, электростанций и релейных помещений подстанций.

Группа IV. Крайне жесткая электромагнитная обстановка:

- защита в цепях управления, сигнализации и электропитания от перенапряжений отсутствует;
- имеются коммутационные устройства, в аппаратах которых возможно повторное зажигание дуги;
- существует неопределенность в выполнении заземляющего устройства;
- нет пространственного разделения кабелей электропитания и управления;
- управление и сигнализация осуществляются по общим кабелям;
- возможна любая влажность воздуха и наличие электризуемых трением материалов;
- возможно неограниченное использование переносных переговорных устройств;
- возможно наличие мощных радиопередатчиков;
- возможно наличие дуговых технологических устройств (электропечей, сварочных машин и т. п.).

Типичными для данного класса ЭМО являются территории вблизи промышленных предприятий, электростанций, открытых распределительных устройств промышленных предприятий, станций и подстанций, где не предусмотрены специальные меры по обеспечению ЭМС.

Критерий качества функционирования ТС определяется совокупностью свойств и параметров, характеризующих работоспособность ТС при воздействии помех. Разделяют 4 группы критериев качества функционирования ТС [17]:

А – нормальное функционирование с параметрами в соответствии с техническими условиями, помеха не вызывает никаких сбоев в работе ТС;

В – кратковременное нарушение функционирования или ухудшение параметров с последующим восстановлением нормального функционирования без вмешательства оператора, т.е. сбой в работе ТС возникает только во время воздействия помехи, а после ее снятия – ТС работает нормально;

С – кратковременное нарушение функционирования или ухудшение параметров, требующее для восстановления нормального функционирования вмешательства оператора (например, перезагрузка или включение-выключение оборудования);

Д – нарушение функционирования или ухудшение параметров, требующее ремонта из-за выхода из строя оборудования или компонентов.

Классификация ЭМП, характеризующих ЭМО [21]:

- низкочастотные кондуктивные ЭМП, вызываемые любым источником, кроме электростатических разрядов (гармоники, интергармоники напряжения электропитания; напряжения сигналов, передаваемых в сетях электропитания; колебания напряжения питания; провалы, кратковременные прерывания и выбросы напряжения электропитания; отклонения напряжения электропитания; несимметрия напряжений в трехфазных системах электроснабжения; изменения частоты питающего напряжения; наведенные низкочастотные напряжения; постоянные составляющие в сетях электропитания постоянного тока);
- низкочастотные излучаемые ЭМП, вызываемые любым источником, кроме электростатических разрядов (МП; ЭП);
- высокочастотные кондуктивные ЭМП, вызываемые любым источником, кроме электростатических разрядов (наведенные напряжения или токи непрерывных колебаний; аperiodические переходные процессы; колебательные переходные процессы);
- высокочастотные излучаемые ЭМП, вызываемые любым источником, кроме электростатических разрядов (МП; ЭП; ЭМП);
- электростатические разряды.

Помехоустойчивость ТС. Направление, связанное с помехоустойчивостью ТС, занимает центральное место в обеспечении ЭМС. Базовые стандарты регламентируют следующие основные виды помех в области ЭМС, требования к которым по устойчивости ТС определены в [22] табл. 2.1.

В зависимости от условий эксплуатации в технических условиях на ТС могут рассматриваться другие виды помех, отражающих специфику ЭМО. В зависимости от назначения и влияния ТС на безопасность и от жесткости ЭМО при эксплуатации ТС устанавливают I, II, III, IV и особую группы исполнения ТС по устойчивости к помехам.

Группа исполнения – условный номер, обозначающий устойчивость ТС к помехам в зависимости от жесткости ЭМО при эксплуатации, а также влияния ТС на безопасность.

В соответствии с окружающей ЭМО и, исходя из условий эксплуатации ТС, устанавливают степени жесткости испытаний ТС на устойчивость к помехам видов, указанных в табл. 1.1.

Степень жесткости испытаний – условный номер (например, 1,2,3 и т.д.), отражающий интенсивность воздействующей помехи с параметрами, регламентированными в нормативной документации.

По требованию заказчика может использоваться специальная степень жесткости испытаний X, называемая также открытой степенью жесткости.

Степень жесткости испытаний на устойчивость к МППЧ. Испытания на устойчивость к МППЧ проводят с целью установить снижение качества функционирования ТС в условиях ЭМО, при которой возможна эксплуатация ТС.

При выборе степени жесткости испытаний необходимо принимать во внимание близость расположения источников МППЧ в условиях эксплуатации ТС с учетом запаса, перекрывающего случайные отклонения, присущие измеряемым величинам.

Выбор степени жесткости испытаний ТС на устойчивость к МППЧ должен осуществляться с учетом следующих положений [20 (Приложение 2, обязательное), 22 (Приложение А, обязательное), 12].

Степень жесткости 1. Нормальная степень жесткости, в которой могут эксплуатироваться чувствительные приборы, использующие электронные лучи (мониторы, электронные микросхемы и др.).

Степень жесткости 2. Такая степень жесткости соответствует хорошо защищенной окружающей ЭМО, характеризующейся:

- отсутствием таких источников МППЧ, как силовые трансформаторы, имеющие большие потоки рассеяния;
- условиями эксплуатации ТС, исключаяющими воздействие МППЧ, создаваемого высоковольтными шинопроводами.

Примерами указанной ЭМО могут служить бытовые зоны, зоны учреждений, больниц, удаленные от электрических заземляющих проводников, зоны промышленных предприятий и высоковольтных подстанций.

Таблица 1.1

Основные виды помех в области ЭМС

Виды помех	Испытательное воздействие	Базовые стандарты	Примечание
Микросекундные импульсные помехи большой энергии	Амплитуда импульсов: 0,5; 1; 2; 4 кВ в зависимости от степени жесткости испытаний. Длительность фронта – 1 мкс. Длительность импульса – 50 мкс. Помехи создаются в цепях электропитания, ввода/вывода симметрично (провод-провод) и несимметрично (провод-земля).	ДСТУ IEC 61000-4-5:2008 [13] ГОСТ Р 51317.4.5-99 [14] IEC 61000-4-5: 2005 [15]	Помехи, вызываемые перенапряжениями, возникающими в результате коммутационных переходных процессов и разрядов молний

Динамические изменения напряжения электропитания	Провалы напряжения в цепи питания, 220 В, 50 Гц: на 30% -до 2 с. Прерывания до 200 мс. Пере-напряжения на 20 % до 2 с. Длительность – от 10 мс до 2 с в зависимости от степени жесткости испытаний.	ДСТУ IEC 61000-4-11:2007 [12] ГОСТ Р 51317.4.11-2007 [17] IEC 61000-4-11: 2005 [14]	Помехи, вызываемые провалами, кратковременными прерываниями, выбросами, а также постепенными изменениями напряжения
Наносекундные импульсные помехи	Амплитуда импульсов: 0,5; 1; 2; 4 кВ в зависимости от степени жесткости испытаний. Время нарастания импульса – 5 нс. Длительность импульса – 50 нс. Частота повторения импульсов – 5; 100 кГц. Генератор создает помехи пачками по 15 мс через 300 мс. Помехи создаются в цепях электропитания, ввода / вывода несимметрично (провод-земля).	ДСТУ IEC 61000-4-4:2008 [15] ГОСТ Р 51317.4.4-2007 [16] IEC 61000-4-4: 2004 [17]	Помехи, возникающие в результате коммутационных процессов (прерывания индуктивных нагрузок, размыкание контактов реле и т.п.) и воздействующие на порты электропитания и сигналов ввода / вывода
Электростатические разряды	Напряжение контактного разряда: 2; 4; 6; 8 кВ в зависимости от степени жесткости испытаний. Напряжение воздушного разряда: 2; 4; 8; 15 кВ в зависимости от степени жесткости испытаний. Параметры импульса разрядного тока: фронт – 0,8 нс; амплитуда – 7,5; 15; 22,5; 30 А; ток разряда уменьшается через 30 нс до 4; 8; 12; 16 А в зависимости от степени жесткости испытаний и еще в 2 раза через 60 нс. Точки воздействия: корпус, органы управления, плоскости связи	ГОСТ Р 51317.4.2-2010 [18] IEC 61000-4-2: 2008 [19]	Помехи, возникающие как при прямом воздействии от оператора, так и не-прямом воздействии от оператора на расположенные вблизи ТС, предметы и оборудование

Радиочастотное ЭМП	Напряженность ЭМП: 1; 3; 10; 30 В/м в зависимости от степени жесткости испытаний. Амплитудная модуляция 80% синусоидальным сигналом частотой 1 кГц Частота поля для источников общего применения – 80-1000 МГц, а для цифровых радиотелефонов – 800-960 МГц и 1,4-6 ГГц Результат испытаний оценивается на основании критериев качества функционирования (А, В, С, D)	ГОСТ Р 51317.4.3-2006 [20] IEC 61000-4-3: 2006+A1:2007+A2:2010 [21]	Источниками поля являются портативные приемопередатчики, применяемые эксплуатационным персоналом и службами безопасности, стационарные радио- и телевизионные передатчики, радиопередатчики подвижных объектов, различные промышленные источники излучений
Магнитное поле промышленной частоты (МППЧ)	Напряженность МППЧ: 1; 3; 10; 30; 100 А/м непрерывно и 300; 1000 А/м кратковременно (до 3 с) в зависимости от степени жесткости испытаний. Частота – 50 Гц; 60 Гц. Воздействие на всё ТС	ДСТУ 2465-94 [7] ГОСТ Р 50648-94 [22] IEC 61000-4-8: 2009 [23]	Помехи, возникающие в результате воздействия непрерывного или кратковременного МППЧ
Импульсное магнитное поле (ИМП)	Напряженность ИМП: 100; 300; 1000 А/м. Воздействие на всё ТС.	ГОСТ Р 50649-94 / ГОСТ 30336-95 [24, 25] IEC 61000-4-9: 1993+A1:2000 [26]	Помехи, возникающие в результате воздействия ИМП
Кондуктивные помехи, наведенные радиочастотными электромагнитными полями	Испытательное напряжение: 1; 3; 10 В в зависимости от степени жесткости испытаний. Амплитудная модуляция 80 % синусоидальным напряжением частотой 1 кГц. Полоса частот – 0,15-80 МГц. Результат испытаний оценивается на основании критериев качества функционирования (А, В, С, D)	ГОСТ Р 51317.4.6-99 [31] IEC 61000-4-6: 2008 [27]	Помехи, вызываемые излучениями преимущественно радиопередающих устройств в полосе частот от 150 кГц до 80 МГц

Колебательные затухающие помехи (КЗП)	<p>Испытательное напряжение при подаче помехи по схеме: провод–земля: 0,5; 1; 2; 4 кВ; провод–провод: 0,25; 0,5; 1; 2 кВ в зависимости от степени жесткости испытаний для одиночных КЗП</p> <p>Испытательное напряжение при подаче помехи по схеме: провод - земля: 0,5; 1; 2-2,5 кВ; провод-провод: 0,25; 0,5; 1 кВ в зависимости от степени жесткости испытаний для повторяющихся КЗП. Результат испытаний оценивается на основании критериев качества функционирования (А, В, С, D).</p>	ГОСТ Р 51317.4.12-99 [28] IEC 61000-4-12: 2006 [29]	Одиночные КЗП, возникающие в низковольтных силовых линиях и в линиях управления и сигнализации ТС, получающих электропитание от низковольтных распределительных электрических сетей и систем электропитания промышленных предприятий. Повторяющиеся КЗП, возникающие в основном в силовых линиях и линиях управления и сигнализации на электрических подстанциях высокого (выше 35 кВ) и среднего (6-35 кВ) напряжения. Повторяющиеся КЗП относятся к срабатыванию одного отдельного выключателя
Колебания напряжения электропитания (КНЭ)	<p>Величина начального напряжения электропитания: U_n, $0,9U_n$, $1,1U_n$.</p> <p>Величина ступени изменения напряжения ΔU: $\pm 0,08U_n$, $\pm 0,12U_n$ в зависимости от класса ЭМО (2 или 3) и степени жесткости испытаний. Результат испытаний оценивается на основании критериев качества функционирования (А, В, С, D)</p>	ГОСТ Р 51317.4.14-2000 [30] IEC 61000-4-14: 1999+A1: 2001+A2:2009 [31]	Помехи, возникающие в результате КНЭ положительной и отрицательной полярности и воздействующие на входные порты электропитания переменного тока

Кондуктивные помехи в полосе частот от 0 до 150 кГц	Испытательное напряжение при воздействии помех постоянного тока и на частоте 50 Гц: 1; 3; 10; 30 В непрерывно и 3; 10; 30; 100 В кратковременно в зависимости от степени жесткости испытаний. Испытательное напряжение в полосе частот от 15 Гц до 150 кГц: 1-0,1; 3-0,3; 10-1; 30-3 В непрерывно в зависимости от степени жесткости испытаний. Результат испытаний оценивается на основании критериев качества функционирования (А, В, С, D)	ГОСТ Р 51317.4.16-2000[32] IEC 61000-4-16: 1998+A1: 2001+A2:2009 [33]	Кондуктивные помехи в полосе частот от 0 до 150 кГц, представляющие собой общие несимметричные напряжения на входные порты электропитания переменного и постоянного тока, сигнальные порты, порты управления и ввода-вывода
Изменения частоты питающего напряжения	Относительное изменение частоты: ± 3 ; $+4$, -6 ; ± 15 % в зависимости от степени жесткости испытаний. Переходный интервал времени: 10; 1 в зависимости от степени жесткости испытаний. Воздействие на входные порты электропитания переменного тока. Результат испытаний оценивается на основании критериев качества функционирования (А, В, С, D)	ГОСТ Р 51317.4.28-2000 [34] IEC 61000-4-28: 1999+A1: 2001+A2:2009 [35]	Помехи, вызываемые изменениями частоты питающего напряжения
Токи кратковременных синусоидальных помех частотой 50 Гц в цепях защитного и сигнального заземления	Амплитуда посылок тока на короткозамкнутом выходе испытательного генератора: 50; 100; 150; 200 А в зависимости от степени жесткости испытаний и группы исполнения ТС. Испытательные посылки тока подаются на зажимы цепей заземления ТС	ГОСТ Р 50746-2000 [8]	Помехи, вызываемые в результате воздействия токов кратковременных синусоидальных помех частотой 50 Гц в цепях защитного и сигнального заземления

Токи микросекундных импульсных помех в цепях защитного и сигнального заземления	Амплитуда импульса тока на короткозамкнутом выходе испытательного генератора: 50; 100; 150; 200 А в зависимости от степени жесткости испытаний и группы исполнения ТС. Для каждой степени жесткости испытаний подают на ТС по десять импульсов тока положительной и отрицательной полярности	ГОСТ Р 50746-2000 [8]	Помехи, вызываемые в результате воздействия токов микросекундных импульсных помех в цепях защитного и сигнального заземления
Искажения синусоидальности напряжения электропитания	Уровни испытательных сигналов для гармоник: 4,5-1,5; 9-1,5; 12-1,5 % в зависимости от группы исполнения ТС и порядка гармонической составляющей. Уровни испытательных сигналов для интергармоник: 2,5; 5; 3,5; 2; 1,5 и 4; 9; 5; 3; 2 % в зависимости от группы исполнения ТС и полосы частот (16-100, 100-500, 500-750, 750-1000, 1000-2000 Гц). $K_{общ}$: 5, 8, 15, 25 % в зависимости от степени жесткости испытаний.	ГОСТ Р 50746-2000 [8] ГОСТ Р 51317.4.13-2006 [36] ОСТ 36417.4.1-2001 IEC 61000-4-13: 2002+A1: 2009 [37]	Помехи, вызываемые в результате воздействия гармоник и интергармоник питающего напряжения, а также сигналов, передаваемых по электрическим сетям. Рекомендуется для ТС с номинальным потребляемым током не более 16 А (в одной фазе)
Затухающее колебательное магнитное поле	Напряженность затухающего колебательного магнитного поля: 10; 30; 100 А/м в зависимости от степени жесткости испытаний Воздействие на всё ТС	ГОСТ Р 50652-94 [37] IEC 61000-4-10: 1993+A1: 2000 [38]	Помехи, вызываемые в результате воздействия затухающего колебательного магнитного поля

Степень жесткости 3. Такая степень жесткости соответствует защищенной окружающей ЭМО, характеризующейся:

- близким расположением от мест установки ТС шин и кабелей, обладающих повышенными потоками рассеяния, а также заземляющих проводов систем безопасности;
- удалением цепей низкого напряжения и высоковольтных проводов на расстояние нескольких сотен метров от рассматриваемых ТС.

Примерами указанной ЭМО могут служить коммерческие зоны, центры управления, зоны предприятий, не относящихся к тяжелой промышленности, компьютерные залы высоковольтных электрических подстанций.

Степень жесткости 4. Такая степень жесткости соответствует окружающей ЭМО индустриального типа, характеризующейся:

- близким расположением от мест установки ТС коротких участков силовых

цепей (проводов высокого напряжения, силовых кабелей и т.д.), ТС со значительными потоками рассеяния и заземляющих проводов систем безопасности;

- достаточным удалением цепей низкого напряжения и высоковольтных шинопроводов (на несколько десятков метров) от рассматриваемого ТС.

Примерами указанной ЭМО могут служить зоны предприятий тяжелой промышленности и электростанций, залы управления высоковольтных электрических подстанций.

Степень жесткости 5. Таковую степень жесткости устанавливают для жесткой промышленной ЭМО, характеризующейся:

- близким расположением от мест установки ТС токопроводов и линий передачи высокого и низкого напряжения с токами порядка десятков килоампер и заземляющих проводов систем безопасности;

- близким расположением ТС, являющихся мощными источниками МППЧ.

Примерами указанной ЭМО могут служить зоны коммутации электрических подстанций среднего и высокого напряжения, предприятий тяжелой промышленности.

Степень жесткости X. Такая степень жесткости соответствует особым условиям, которые необходимо анализировать. Ее устанавливают по согласованию между производителем и потребителем.

Большие или меньшие удаления источников МППЧ от ТС, а также функциональные и конструктивные особенности ТС могут потребовать применения более высоких или более низких степеней жесткости испытаний, чем указано выше.

Степени жесткости испытаний на устойчивость к воздействию МППЧ приведены в табл. 1.2.

В соответствии с данными табл. 1.2, а также Приложения 2 (обязательного) ДСТУ 2465-94 [7] (см. выше), электрооборудование бытовых зон, промышленных установок и большинства промышленных предприятий относится к степеням жесткости 2 и 3, что определяет

допустимые уровни напряженности и индукции длительно действующего внешнего магнитного поля промышленной частоты, создаваемого электрическими аппаратами и другими ТС.

Таблица 1.2

Степени жесткости испытаний на устойчивость
к воздействию МППЧ [10, 26, 27]

Степень жесткости испытаний	Напряженность МППЧ, А/м	
	Непрерывное магнитное поле	Кратковременное магнитное поле (продолжительность 1-3 с)
1	1	Не применяют
2	3	То же
3	10	"
4	30	300
5	100	1000
X	Напряженность магнитного поля – по согласованию между производителем и потребителем	Напряженность и длительность магнитного поля – по согласованию между производителем и потребителем
Примечание: 1 А/м соответствует индукции в 1,26 мкТл в свободном пространстве.		

Виды МППЧ (постоянное, кратковременное) и степени жесткости испытаний ТС на устойчивость к магнитному полю выбирают в соответствии с требованиями стандартов [12, 13, 20] с учетом условий эксплуатации ТС конкретного типа.

Сведения о напряженности МППЧ для секции типовой подстанции напряжением 6 кВ приведены в табл. 1.3.

В [14] представлены соответствующие испытательные уровни воздействующих ЭМП и критерии качества функционирования, установленные в общих стандартах ЭМС (табл. 2.4) [42, 43].

Таблица 1.3

Результаты прямых измерений поля согласно [12, 13, 20]

Источник МП	Секция 6 кВ			
Поле на расстоянии, м	0,3	0,5	1	1,5
Напряженность МП, А/м	8-13	6,5-9	3,5-4,3	2-2,4

Требования стандарта [31] распространяются на ТС, подключаемые непосредственно к распределительным электрическим сетям низкого напряжения, и ТС, питание которых осуществляется от специально предназначенных для этой цели источников постоянного тока, под-

ключаемых к распределительным электрическим сетям. А также на ТС, питание которых осуществляется от батарей или низковольтных электрических сетей, не являющихся распределительными электрическими сетями низкого напряжения, если указанные ТС предназначены для применения в жилых, коммерческих зонах и производственных зонах с малым энергопотреблением.

Таблица 1.4

Типичные уровни ЭМП. Испытательные уровни
при испытаниях на помехоустойчивость согласно [10, 36, 37]

Вид помехи	Наименование параметра, единица измерения	Жилые, коммерческие зоны и производственные зоны с малым энергопотреблением			Промышленные зоны		
		Типичный уровень ЭМП	Испытательный уровень по [37]	Критерий качества функционирования	Типичный уровень ЭМП	Испытательный уровень по [36]	Критерий качества функционирования
Магнитное поле промышленной частоты по [12]	Н, А/м	0,5-5	3	А	10-30	30	А

Примеры мест размещения ТС в жилых, коммерческих зонах и производственных зонах с малым энергопотреблением: объекты жилищного хозяйства, например, дома, квартиры и т.д.; предприятия торговли, например магазины, супермаркеты и т.д.; учреждения, например офисы, банки и т.д.; объекты культурно-массовых развлечений, например кинотеатры, рестораны, танцевальные залы и т.д.; объекты, расположенные на открытом воздухе, например автозаправочные станции, автостоянки, центры развлечений и спорта и т.д.; производственные и хозяйственные объекты, например мастерские, лаборатории, центры технического обслуживания и т.д.

Места размещения ТС как в помещениях, так и вне их, при подключении ТС к распределительным электрическим сетям низкого напряжения, рассматривают как относящиеся к жилым, коммерческим зонам и производственным зонам с малым энергопотреблением. Требования устойчивости к помехам в [43] установлены так, чтобы обеспечить приемлемый уровень помехоустойчивости ТС, применяемых в жилых, коммерческих зонах и производственных зонах с малым энергопотреблением.

Требования стандарта [43] представляют собой основные требования по ЭМС, относящиеся к устойчивости к помехам.

Примечание: В некоторых случаях уровни помех при эксплуатации ТС могут превышать уровни испытательных воздействий при испытаниях на помехоустойчивость, установленные в [43]. В этих случаях должны быть применены специальные меры по снижению помех.

Требования стандарта [42] распространяются на ТС, применяемые в промышленных зонах, как в помещениях, так и вне их, а также на ТС питание, которых осуществляется от батарей, функционирующих в указанных ниже местах эксплуатации.

К применяемым в промышленных зонах относят ТС [42], предназначенных для подключения к электрическим сетям, получающим питание от силовых трансформаторов высокого или среднего напряжения, предназначенных для электроснабжения установок, питающих электрической энергией промышленное оборудование и оборудование аналогичного назначения, функционирующие в местах эксплуатации, характеризующиеся хотя бы одним из следующих условий: наличием в месте эксплуатации или в непосредственной близости промышленных, научных и медицинских высокочастотных устройств класса А по ГОСТ Р 51318.11; частыми переключениями значительных индуктивных и емкостных нагрузок в электрических сетях; значительными токами, потребляемыми ТС, и связанными с ними уровнями МП.

Требования устойчивости к помехам установлены в [42] так, чтобы обеспечить приемлемый уровень помехоустойчивости ТС, применяемых в промышленных зонах.

Требования стандарта [42] представляют собой основные требования по ЭМС, относящиеся к устойчивости к помехам.

Примечание: В некоторых случаях уровни помех при эксплуатации ТС могут превышать уровни испытательных воздействий при испытаниях на помехоустойчивость, установленные в [42]. В этих случаях должны быть применены специальные меры по снижению помех.

Для ТС, используемых на электростанциях и электрических подстанциях, требования помехоустойчивости к воздействию МППЧ приведены в табл. 1.5.

Требования помехоустойчивости, установленные в табл. 1.5, не применяют для ТС, установленных в условиях "защищенной" ЭМО, не имеющих непосредственного соединения с ТС, размещенными вне "защищенной" ЭМО.

Типичными местами размещения ТС [18] являются электростанции и электрические подстанции среднего и высокого (не менее 36,5

кВ) напряжения с воздушной и газовой изоляцией. Помимо электростанций и подстанций поставщики электрической энергии могут устанавливать ТС в низковольтных распределительных пунктах, расположенных в производственных, коммерческих или жилых зонах, в центрах управления, на ретрансляторах радиосвязи. Требования помехоустойчивости ТС, предназначенных для применения в этих местах размещения, установлены в [42, 43].

В качестве примера ТС, устанавливаемых в низковольтных распределительных пунктах, можно привести автоматические выключатели (АВ) серии А3700 [80-83]. Электрооборудование производственных, коммерческих и жилых зон, в которых эксплуатируются рассматриваемые АВ, относится к степеням жесткости 2 и 3 (см. выше). Анализ, выполненный в данной статье, показывает, что типичный уровень ЭМП для указанных зон составляет 3-30 А/м. Если уровень помех при эксплуатации АВ превышает данную величину помех на объекте, то необходимо применять специальные меры по снижению помех (конструктивные методы компенсации внешнего магнитного поля АВ).

В [84-85] приведены общие технические требования, распространяемые на микропроцессорные устройства и системы релейной защиты и автоматики, применяемые на электростанциях, подстанциях и в электрических сетях 6-1150 кВ. Испытания на устойчивость к МППЧ в соответствии с требованиями стандарта [22] приведены в табл. 1.6. Аппаратура должна подвергаться испытаниям в тех конструкциях (экраны, оболочки), в которых будет эксплуатироваться.

Таблица 1.5

Требования помехоустойчивости к воздействию МППЧ для ТС, применяемых на электростанциях и электрических подстанциях [18]

Вид помехи	ТС, предназначенные для применения на электростанциях и подстанциях среднего и высокого напряжения		Примечание
	Степень жесткости испытаний	Испытательный уровень	
МП промышленной частоты по [26]	2	3 А/м (непрерывное МП)	Применяют для мониторов на ЭЛТ.
	5	100 А/м (непрерывное МП) 1000 А/м (кратковременное МП, 1 с)	Применяют для ТС, содержащих устройства чувствительные к МП.

Примечание: В некоторых случаях для создания "защищенной" ЭМО и снижения требований устойчивости к помехам поставщики электрической энергии применяют специальные меры помехоподавления.

ния (например, специальную прокладку кабелей при монтаже оборудования, экранирование помещений и т.д.).

В [21] приведены рекомендации для ТС всех назначений, использующих электромагнитную энергию, предназначенных для применения в условиях ЭМО, указанных в стандарте и рассмотренных выше. Характеристики ЭМО внутри транспортных средств (автотранспорт, корабли, самолеты) в [21] не приводятся, но их влияние на окружающую ЭМО учитывается.

Таблица 1.6

Требования помехоустойчивости к воздействию МППЧ для микропроцессорных устройств и систем релейной защиты и автоматики, применяемых на электростанциях подстанциях и в электрических сетях 6-1150 кВ [84, 85]

Вид помехи	Степень жесткости испытаний	Нормированный испытательный уровень (напряженность МППЧ)	Критерий качества функционирования
МП промышленной частоты по [22]	4	30 А/м (непрерывное МП)	А

Уровни помехоустойчивости, устанавливаемые для ТС конкретного вида, должны быть не только непосредственно связаны с характеристикой окружающей ЭМО, но также учитывать требования обеспечения безопасности применения или надежности ТС, что может привести к выбору более высоких уровней помехоустойчивости.

Требования помехоустойчивости могут также быть различными при их установлении в стандартах различных категорий, например, в общем стандарте, стандарте на группу ТС и в стандарте на ТС конкретного вида.

В [21] приведены рекомендации для ТС всех назначений, использующих электромагнитную энергию, предназначенных для применения в условиях ЭМО, указанных в стандарте и рассмотренных выше. Характеристики ЭМО внутри транспортных средств (автотранспорт, корабли, самолеты) в [21] не приводятся, но их влияние на окружающую ЭМО учитывается.

МП промышленной частоты 50 Гц создают различные источники: близлежащие кабельные и воздушные линии электропитания; трансформаторы и другое оборудование систем электроснабжения; электрические приборы промышленного и бытового назначения.

В табл. 1.7 приведены уровни ЭМП в части МППЧ без учета аварийных условий в системах электроснабжения.

Требования стандарта [22] являются обязательными.

Таблица 1.7

Уровни ЭМП в части МППЧ 50 Гц
без учета аварийных условий в системах электроснабжения [21]

Степень интенсивности ЭМП ЭМП	Напряженность МППЧ, А/м (непрерывное МП)
А	В соответствии с требованиями к ТС конкретного
1	3
2	10
3	30
4	100
Х	В соответствии с характеристиками места размещения ТС
Примечания: 1. Такие величины напряженности принимаются для воздушных линий при измерениях в 1 м над поверхностью земли. 2. Для жилых и коммерческих зон при измерениях на расстоянии 0,3 м от электрических приборов МП имеет напряженность от 1 до 10 А/м.	

В [22] приведены требования по обеспечению ЭМС для конструктивно завершенных ТС, поставляемых на ядерные и радиационно-опасные объекты народнохозяйственного назначения, в том числе атомные станции. Стандарт [22] не распространяется на токопроводы, плавкие предохранители, устройства подсоединения, аккумуляторы и батареи.

Устойчивость к МППЧ. Степени жесткости испытаний ТС АС на помехоустойчивость при длительном и кратковременном воздействии на порт корпуса МППЧ по [12] устанавливают в соответствии с табл. 1.8.

Требования не устанавливают для ТС АС, имеющих в своем составе измерительные устройства, основанные на измерении параметров магнитного поля.

Для ТС, применяемых на борту транспортного средства, требования помехоустойчивости к воздействию МППЧ приведены в табл. 1.9 [86].

Допускается установка оборудования: класса 1 – на расстоянии 2 м и более от мощного источника ЭМП (шинопровод, групповой трансформатор); класса 2 – на расстоянии 1 м и более от мощного источника

ЭМП; класса 3 – без ограничения расстояния от любого источника ЭМП.

В [87] для оборудования класса 1 напряженность МППЧ составляет 10 А/м.

Таблица 1.8

Требования помехоустойчивости к воздействию МППЧ для ТС АС [12, 22]

Вид испытательного МП	Группа исполнения ТС АС по устойчивости к помехам							
	I		II		III		IV	
	Степень жесткости испытаний	Напряженность МППЧ, А/м	Степень жесткости испытаний	Напряженность МППЧ, А/м	Степень жесткости испытаний	Напряженность МППЧ, А/м	Степень жесткости испытаний	Напряженность МППЧ, А/м
Длительное МППЧ	2	3	3	10	4	30	5	40
Кратковременное МППЧ длительностью 3 с	Требования не устанавливаются	-	4	400	4	400	5	600

Выводы:

1. Проанализированы международные нормативные документы ИЕС и Государственные стандарты Российской Федерации по вопросам ЭМС технических средств в условиях энергетических и промышленных объектов. В этих документах определяются вид помехи, ее характеристики, уровни в зависимости от класса жесткости испытаний на помехоустойчивость технических средств, а также описываются методы проведения испытаний и даются критерии, по которым интерпретируются результаты этих испытаний.

Таблица 1.9

Требования помехоустойчивости к воздействию МППЧ для ТС, применяемых на борту судна [86]

Класс оборудования	Напряженность, А/м	
	Постоянное поле	Переменное поле (50 Гц)
1	100	100
2	400	400
3	1000	1000

2. Рассмотрены основные термины, определения и нормированные значения внешнего МП, создаваемого ТС. Приведена характеристика ЭМО на энергетических и промышленных объектах. Установлено, что любые ТС, установленные на этих объектах, вносят свою долю в ухудшение ЭМО на объекте.

3. Приведены амплитудные и частотные характеристики помех (жесткость ЭМО) и реакция оборудования на воздействие этих помех (критерий качества функционирования), а также классификация электромагнитных помех, характеризующих ЭМО. Дано описание основных видов помех в области ЭМС.

4. Проведен анализ нормативных документов по вопросу устойчивости к МП промышленной частоты. Установлено, что для нормального функционирования ТС необходимо проводить испытания на устойчивость к данному виду помехи. Для этого необходимо оценить ЭМО в месте размещения ТС и выбрать такой уровень испытательный воздействий (степень жесткости испытаний: 1, 2, 3, 4, 5 или X), который характерен для данного объекта. Типичный уровень электромагнитных помех для промышленных, жилых и коммерческих зон составляет 3-30 А/м. Если уровень помех при эксплуатации технического средства превышает заданную величину помех на объекте, то необходимо применять специальные меры по снижению помех.

5. В качестве примера технического средства, создающего МП промышленной частоты, рассмотрены автоматические выключатели серии АЗ700, устанавливаемые в низковольтных распределительных пунктах производственных, коммерческих и жилых зон. Данное ЭО относится к степеням жесткости 2 и 3. Выполненный анализ показывает, что типичный уровень электромагнитных помех для указанных зон составляет 3-30 А/м.

В случае превышения данной величины помех необходимо применять специальные конструктивные методы компенсации внешнего МП автоматических выключателей.

1.2. Электромагнитная обстановка на объектах электроэнергетики

1.2.1. Общее описание электромагнитной обстановки на объектах электроэнергетики

Функционирование любого современного предприятия или организации невозможно без применения различной электронной аппаратуры, в том числе и на основе микропроцессорных устройств. Это по-

Библиография

1. Алпеев А.С. Основные понятия безопасности //Надежность и контроль качества, серия "Надежность", № 7, 1994.
2. Алпеев А.С. Принципы психологической уверенности операторов атомных станций // Атомная энергия, т.77, вып.1, 1994.
3. Алпеев А.С. Автоматизированное управление и безопасность атомных станций // Атомная энергия, 2001, т. 90, вып.2.
4. Аполлонский С.М. Справочник по расчету электромагнитных экранов. - Л.: Энергоатомиздат, 1988. – 224 с.
5. Аполлонский С.М. Внешние Электромагнитные поля электрооборудования и средства их снижения. – СПб.: Изд-во Безопасность «МАНЭБ», 2001. – 620 с.
6. Аполлонский С.М., Электромагнитное поле в неоднородных средах: Учеб. пособие. – СПб.: СЗТУ, 2003. – 292 с.
7. Аполлонский С.М., Горский А.Н. Расчеты электромагнитных полей. – М.: Маршрут, 2006. – 980 с.
8. Аполлонский С. М. Электромагнитная безопасность технических средств и человека: Монография в 3-х томах:
Т. I. Формирование внешней электромагнитной среды: Монография. – СПб.: Изд-во СЗТУ, 2011. – 223 с.
Т. II. Воздействие электромагнитной среды на технические устройства и средства защиты: Монография. – СПб.: Изд-во СЗТУ, 2011. – 439 с.
Т. III. Воздействие внешней электромагнитной среды на человека и средства защиты: Монография. – СПб.: Изд-во СЗТУ, 2011. – 286 с.
9. Аполлонский С. М. Экспертное заключение о причинах аварии на Саяно-Шушенской ГЭС /Вестник МАНЭБ, т. 16, № 1, 2011.
10. Аррилага Дж., Брэдли Д., Боджер П. Гармоники в электрических системах. - М.: Энергоатомиздат, 1990.
11. Асадулаев А.Б. Электроэнергетическая безопасность в условиях ликвидации государственной энергетической монополии // Проблемы современной экономики, N 3 (27), 2008.
12. Бабанов Ю.Н., Силин А.В. Введение в проблему электромагнитной совместимости РТС. - Горький, 1977. – 80 с.
13. Бабанов Ю.Н., Силин А.В. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных систем. - Горький, 1976. - 86 с.
14. Бабенко А.Г., Лапин С.Э., Вильгельм А.В., Оржиховский С.М. /Безопасность информации. Сб. материалов международной конференции. - М.: СИПРИА. 1997.
15. Бадер М.П. Электромагнитная совместимость. – М.: УМК МПС, 2002. – 638 с.

16. Барнс Дж. Электронное конструирование: методы борьбы с помехами. - М.: Мир, 1990. – 238 с.
17. Бартон Т., Шенкир У., Уокер П. Риск-менеджмент. Практика ведущих компаний. - М.: Вильямс, 2008. - 208 с.
18. Безопасность информации. Сборник материалов международной конференции. - М.: СИП РИА, 1997.
19. Белинский С.О. Электромагнитная совместимость электроустановок тягового электроснабжения и обслуживающего персонала. – Екатеринбург: Изд-во Урал. гос. ун-та путей сообщения, 2008. – 142 с.
20. Беляев Р.Ю.. Оптимизация электромагнитной обстановки в электроэнергетических системах на основе нечеткой логики. Дис. канд. техн. наук. – Красноярск, 2009.
21. Богоявленский С.Б. Управление риском в социально-экономических системах". - СПб: Изд-во СПбГУЭФ, 2010. – 147 с.
22. Бозм Б.У. Инженерное проектирование программного обеспечения: Пер. с англ. /Под ред. А.А. Красиловой. - М.: Радио и связь. 1985.
23. Вагин Г.Я. Электромагнитная совместимость в электроэнергетике: учебное пособие / Г.Я. Вагин, А.Б. Лоскутов, А.А. Севостьянов. — Н. Новгород: НГТУ, 2004.
24. Васильев В.В., Коленский Л.Л., Медведев Ю.А. и др. Проводящие оболочки в импульсных электромагнитных полях. - М.: Энергоатомиздат, 1982. – 200 с.
25. Васютинский С.Б., Сорокин В.А., Степанова И.П. Расчет внешнего магнитного поля сухих трансформаторов //Электричество, 1982, № 5, с. 47-50.
26. Виноградов Е.М., Винокуров В.И., Харченко И.П. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств. - Л.: Судостроение, 1986. – 263 с.
27. Вишняков Я.Д., Радаев Н.Н. Общая теория рисков: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений. - М.: Издательский центр "Академия", 2007. - 368 с.
28. Волкова И.Н. Стандартизация научно- технической терминологии. – М.; Изд-во стандартов, 1984.
29. Воршевский А.А. Новые стандарты и нормативные документы по электромагнитной совместимости //Вестник МАНЭБ, 2001, с. 114-124.
30. Воршевский А.А. Электромагнитная совместимость судовых технических средств: учебник / А.А. Воршевский, В.Е. Гальперин. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный морской технический университет, 2006. – 317 с.

31. Воскобович В.В. Актуальность и современное состояние проблемы защиты технических средств от сверхширокополосных импульсов большой мощности //Технологии ЭМС, № 3(10), 2004, с. 17-24.
32. Вэнс Э.Ф. Влияние ЭМП на экранированные кабели. - М.: Радио и связь, 1982. – 118 с.
33. Герасименко В.А. Защита информации в автоматизированных системах обработки данных. Книга 1 и 2. - М.: Энергоатомиздат, 1994.
34. Глуханов Н.П. Передача электромагнитной энергии через проводящие экраны в герметических машинах и аппаратах. Докт. диссертация. - Л.: ЛЭТИ им. В.И. Ульянова (Ленина), 1966.
35. Голант М.Б. Резонансные действия когерентных электромагнитных излучений миллиметрового диапазона волн на живые организмы //Биофизика, 1989, т. 34, вып. 6, с. 1007-1014.
36. Горянов А.К. Электромагнитная совместимость в сетях низкого напряжения и меры борьбы с ее нарушениями: учебное пособие / А.К. Горянов, А.И. Таджибаев, Ф.Х. Халилов - СПб.: ПЭИПК, 2004.
37. ГОСТ Р 51897-2002. Менеджмент риска. Термины и определения.
38. ГОСТ Р 51901.13-2005. (МЭК 61025: 1990). Менеджмент риска. Анализ дерева неисправностей.
39. ГОСТ Р 51901.14-2005. (МЭК 61078: 1991). Менеджмент риска. Метод структурной схемы надежности.
40. ГОСТ Р 51901.15-2005. (МЭК 61165: 1995). Менеджмент риска. Применение Марковских методов.
41. ГОСТ Р ИСО/МЭК 9126-93. Информационная технология. Оценка программной продукции. Характеристика качества и руководства по их применению.
42. Гурвич М.С. Некоторые вопросы защиты цифровых технических средств от импульсных электрических полей //Автоматика и телемеханика, 1980, № 2, с. 182-189.
43. Гурвич М.С. Защита ЭВМ от внешних помех. - М.: Энергоатомиздат, 1984.
44. Гроднев И.И. Электромагнитное экранирование в широком диапазоне частот. - М.: Связьиздат, 1972. - 111 с.
45. Гусева Ю.А. и др. Основы технического регулирования в области электромагнитной совместимости. – М.: Европейский центр по качеству, 2004. – 149 с.
46. Дональд Р., Уайт Дж. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств и непреднамеренные помехи. - М.: Сов. радио, 1977. – 348 с.

47. Джинчарадзе А. «Системы нормативно-технического регулирования в российской электроэнергетике»: <http://www.SmartGrid.ru>.
48. Елохин А.Н. Проблемы риск-менеджмента в энергетике. Практический опыт //Проблемы анализа риска, т. 7, № 3, 2010.
49. Еряшев Д.И. Функциональная безопасность охранных систем телекоммуникаций в условиях воздействия преднамеренных электромагнитных полей. Дис. канд. техн. наук. – М., 2012.
50. Жежеленко И.В. Показатели качества электроэнергетики на промышленных предприятиях. - М.: Энергия, 1977. – 127 с.
51. Засеев А.В., Шатров Э.Г. Противоречия в нормативных документах по электромагнитной совместимости //Технологии ЭМС, 2003, №4(7), с. 37-39.
52. Зимин Е.Ф. Электромагнитная совместимость информационных систем /Е.Ф. Зимин Ю.А. Казанцев, В.А. Кузовкин. - М.: Изд-во МЭИ, 1995.
53. Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций. - М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2004. – 48 с.
54. ИСО 8613-1:1994. Информационные технологии. Открытая структура документа (ODA) и формат обмена. Введение и общие принципы.
55. ИСО 10007:1995. Контроль качества. Руководство по управлению конфигурацией.
56. ИСО / МЭК TR 15846. Информационные технологии. Процессы.
57. Кармашев В.С. Электромагнитная совместимость технических средств: справочник. - М., 2001.
58. Карякин А.М. Энергетическая безопасность России в условиях рыночных отношений в электроэнергетике. – М., 2012. - 224 с.
59. Кужекин И.П. Молния и молниезащита / И.П. Кужекин, В.П. Ларионов, Е.Н. Прохоров. - М.: Знак, 2003.
60. Кульжанова А. М. Риск менеджмент в проектах электроэнергетики Казахстана /Материалы IX Міжнародна конференція "Управління проектами у розвитку суспільства". Київ, 11-12 травня 2012, с.117-119.
61. Кириллов В.Ю. Электростатические разряды и излучаемые электромагнитные помехи //Технологии ЭМС, 2004, № 1(8), с. 43-46.
62. Кириллов В.Ю., Пыхтин А.В. Оценка напряженности электрических и магнитных полей, создаваемых электростатическими разрядами //Технологии ЭМС, 2007, №4 (23), с. 53-57
63. Князев А.Д. Элементы теории и практики электромагнитной совместимости радиоэлектронных систем. - М.: Радио и связь, 1984.

64. Князев А.Д., Кечиев Л.Н., Петров Б.В. Конструирование радио-электронной и электронно-вычислительной аппаратуры с учетом электромагнитной совместимости. - М.: Радио и связь, 1989. – 223 с.
65. Косарев А.Б. Основы теории электромагнитной совместимости систем тягового электроснабжения переменного тока. – М.: ИНТЕКСТ, 2004. – 272 с.
66. Костенко М.В., Гумерева Н.Л. И др. Волновые процессы и перенапряжения в подземных линиях. - Л.: Энергоатомиздат, 1991.
67. Кужекин И.П. Молния и молниезащита / И.П. Кужекин, В.П. Ларионов, Е.Н. Прохоров. - М.: Знак, 2003.
68. Ламакин Г.Н. Основы менеджмента в электроэнергетике: Учебное пособие. Ч.1. 1-е изд. - Тверь: ТГТУ, 2006.
69. Липаев В.В. Методы обеспечения качества крупномасштабных программных средств. - М.: СИНТЕГ, 2003.
70. Липаев В.В. Технологические процессы и стандарты обеспечения функциональной безопасности в жизненном цикле программных средств. М.: Jet Info, № 3, 2004.
71. Липаев В.В. Функциональная безопасность программных средств. - М.: СИНТЕГ, 2004. - 348 с.
72. Липаев В.В. Стандартизация характеристик и оценивания качества программных средств. //Приложение к журналу «Информационные технологии», 2001, № 4.
73. Ма М.Т. Обзор методов для оценки ЭМС и электромагнитных помех //ТИИЭР, 1985, т. 73, № 3, с. 5-32.
74. Маренко В. А. Интеллектуальная система поддержки принятия решений по электромагнитной совместимости средств связи. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2005. – 149 с.
75. МЭК 60300-3-1:2003. Менеджмент риска. Руководство по применению методов анализа надежности.
76. МЭК 60300-3-9:1995. Менеджмент риска. Анализ риска технологических систем.
77. МЭК 61355:1997. Классификация и обозначения документации для установок, систем и оборудования.
78. МЭК 61506:1997. Измерение и управление в промышленных процессах. Документация к прикладному программному обеспечению.
79. МЭК 61508:2010 Функциональная безопасность электрических, электронных и программируемых электронных систем, связанных с безопасностью.
80. МЭК 61511:2004 Функциональная безопасность – инструментальные системы безопасности для непрерывных производств.

81. МЭК 61508-1: 1998. Функциональная безопасность электрических /электронных и программируемых электронных систем. Часть 1. Общие требования.
82. МЭК 61508-2: 2000. Функциональная безопасность электрических /электронных и программируемых электронных систем. Часть 2. Требования к электрическим / электронным и программируемым электронным системам безопасности.
83. МЭК 61508-3: 1998. Функциональная безопасность электрических /электронных и программируемых электронных систем. Часть 3. Требования к программному обеспечению.
84. МЭК 61508-4 Функциональная безопасность. Системы электрические/ электронные/программируемые электронные, связанные с безопасностью. Определения и аббревиатуры терминов.
85. МЭК 61508-5: 1998. Функциональная безопасность электрических /электронных и программируемых электронных систем. Часть 5. Примеры методов определения уровня соответствия комплексу требований безопасности.
86. МЭК 61508-6: 2000. Функциональная безопасность электрических /электронных и программируемых электронных систем. Часть 6. Руководство по применению стандартов IEC 61508-2 и IEC 61508-3.
87. МЭК 61508-7: 2000. Функциональная безопасность электрических /электронных и программируемых электронных систем. Часть 7. Обзор способов и мер.
88. Надежность и эффективность в технике. Справочник в 10-ти томах. - М.: Машиностроение, 1988, т. 5, с. 44.
89. Нивинский В.Е. Особенности расчёта электромагнитной совместимости (ЭМС) в группировках радиоэлектронных средств (РЭС) //Технологии ЭМС, 2003, № 2(5), с. 57-64.
90. Николаев П.А., Николаев А.Д. Исследование распределения электромагнитного поля от транспортных средств //Технологии ЭМС, 2007, №4 (23), с. 46-52.
91. Овсянников А.Г. Электромагнитная совместимость в электроэнергетике. - Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2002.
92. Павлова О.С. Риск-Менеджмент на Российских энергетических предприятиях //Вестник научно-технического развития, № 6 (46), 2011, с. 34-43.
93. Повышение надежности работы электрооборудования и линий 0,4 - 110 кВ нефтяной промышленности при воздействии перенапряжений / Ф.Х. Халилов и др. - М.: Энергоатомиздат, 2006.

94. Принципы построения многофункциональных систем безопасности угольных шахт, опыт и перспективы их использования в Кузбассе //Журнал «Безопасность труда в промышленности», № 1, 2011.
95. Расчёт электрических полей устройств высокого напряжения: учебное пособие для вузов /И.П. Белоедов и др.; под ред. Е.С. Колечицкого. – М.: Издательский дом МЭИ, 2008.
96. Рогожникова О.В. Метод функциональной безопасности для определения структуры защитных функций локомотивной системы управления //Вестник ВНИИЖТ. - М., 2009, № 2, с.26-28.
97. Рябов Ю.Т., Ломаев Г.В., Серeda А.Ф., Васильев М.Ю., Бочков Ю.И. Совместимость технических средств и человека по фактору гипогеомагнитного поля и проблемы разработки магнитометра для измерений по ГОСТ Р 51724-2001 //Технологии ЭМС, 2003, № 2(5), с. 49-56.
98. Салтыков В.М. Электромагнитные поля трансформаторных подстанций промышленных предприятий с позиции электромагнитной безопасности /Салтыков В.М., Самолина О.В., Павлов А.В. // Проблемы электротехники, электроэнергетики и электротехнологии /Тр. Всерос. науч.-техн. конф. Тольятти: ТГУ, 2004-4.1, с. 163-170.
99. Седельников Ю.Е. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств. – Казань: ЗАО «Новое знание», 2006. – 215 с.
100. Совместимость технических средств электромагнитная. Порядок обеспечения ЭМС и правила проведения экспертизы. Руководящий нормативный документ: РД 50-702-91. – М.: Комитет стандартизации и метрологии СССР, 1991. – 20 с.
101. Соловьев С.П., Сурков В.В. Электрическое поле и молнии, возникающие в газопылевом облаке продуктов взрыва //Геомагнетизм и аэрономия, 2000, т. 40, № 1. с. 68-76.
102. Степанов П.В. Элементы ЭМС оборудования интеллектуальных зданий. - М.: МГИЭМ, 1999. – 38 с.
103. Степанов П.В., Смирнов С.В. Вопросы электромагнитной совместимости и экологии при создании интеллектуальных зданий //Журнал «Технологии ЭМС», 2002, №1, с. 33-40.
104. Технические требования к подсистеме технологических защит, выполненных на базе микропроцессорной техники: РД 153-34.1-35.137-00. – [Введены 2000-01-10] – М.: Департамент науки и техники РАО "ЕЭС России", 2000. – 64 с.
105. Трубачев А.П., Долинин М.Ю., Кобзарь М.Т. и др. Оценка безопасности информационных технологий. Общие критерии. Под ред. В.А. Галатенко. М.: СИП РИА. 2001.

106. Уилльямс Т. Электромагнитная совместимость для разработчиков продукции». – М.: Издательский дом «Технологии», 2001. – 540 с.
107. Уилльямс Т., Армстронг К. Электромагнитная совместимость для систем и установок» - М.: Издательский дом «Технологии», 2004. – 508 с.
108. Устинов Г.Н. Основы информационной безопасности систем и сетей передачи данных. - М.: СИНТЕГ. 2000.
109. Фатрелл Р.Т., Шафер Д.Ф., Шафер Л.И. Управление программными проектами: достижение оптимального качества при минимуме затрат. Пер. с англ. - М.: Вильямс. 2003.
110. Федорчук А.А. Разработка модели оценки рисков электроэнергетической компании. Дис. канд. эконом. наук. - М., 2012.
111. Функциональная безопасность. Простое руководство по применению стандарта МЭК 61508 и связанных с ним стандартов / Дэвид Дж. Смит, Кеннет Дж. Симпсон. - М.: Издательский Дом «Технологии», 2004. - 208 с.
112. Халилов Ф.Х. Электромагнитная обстановка в сетях низкого, высокого и сверхвысокого напряжений //Технологии ЭМС, 2007, № 3(22), с. 3-6.
113. Харлов Н.Н. Электромагнитная совместимость в электроэнергетике. – Томск: ТПУ, 2007.
114. Харлов Н.Н. Электромагнитная совместимость в электроэнергетике. – Томск: ТПУ, 2007.
115. Цицикян Г.Н. Сравнение некоторых аналитических оценок для электромагнитных проявлений обратного разряда молнии //Изв. РАН. Энергетика, № 1, 2005, с.44-55.
116. Чернова Г.В., Кудрявцев А.А. Управление рисками: учеб. пособие. - М.: ТК Велби, изд-во Проспект, 2006. - 160 с.
117. Шваб А. Электромагнитная совместимость: Пер. с нем. В. Д. Машина и С. А. Спектора 2-е изд., перераб. и доп. /Под ред. Кужекина. - М.: Энергоатомиздат, 1998. -280 с.
118. Шульгинов Н.Г. Оперативная оценка надежности электроэнергетических систем операционных зон системного оператора. Дис. канд. техн. наук. – Ставрополь, 2010. – 183 с.
119. Электромагнитная безопасность и функционирование отрасли «Связь» /Антипова С.Е. и др. – М.: Радио и связь, 2000. – 77 с.
120. Электромагнитная обстановка на объектах определяет ЭМС цифровой аппаратуры /Новости электротехники, №1-2 (13-14), 2002 г.
121. Электромагнитная совместимость в электроэнергетике: учебное пособие по дисциплине «Электромагнитная совместимость в электроэнергетике» / Н. В. Коровкин и др. – СПб.: ПЭИПК, 2010. -196 с.

122. Электромагнитная совместимость в электроэнергетике и электротехнике / А.Ф. Дьяков и др.; под ред. А.Ф. Дьякова. - М.: Энергоатомиздат, 2003.
123. Электромагнитная совместимость в электроэнергетике (Источники электромагнитных полей и их влияние): учебное пособие / Сост. В.М. Салтыков, А.В. Салтыков, Н.В. Сайдова. - Самара: Изд-во Самар. гос. техн. ун-та, 2007.
124. Электромагнитная совместимость электрической части атомных электростанций /Вершков Э.В. и др.; под ред. И.П. Кужекина, Л.С. Слуцкина - М.: Знак, 2006.
125. Электромагнитная совместимость в электроэнергетике: учебное пособие по дисциплине «Электромагнитная совместимость в электроэнергетике» / Н. В. Коровкин и др. – СПб.: ПЭИПК, 2010. -196 с.
126. Электромагнитная совместимость в электроэнергетике и электротехнике / А.Ф. Дьяков и др.; под ред. А.Ф. Дьякова. - М.: Энергоатомиздат, 2003.
127. Электромагнитная совместимость в электроэнергетике (Источники электромагнитных полей и их влияние): учебное пособие / Сост. В.М. Салтыков, А.В. Салтыков, Н.В. Сайдова. - Самара: Изд-во Самар. гос. техн. ун-та, 2007.
128. ANSI / ISA S 84.1996. Применение систем, оснащенных средствами безопасности в обрабатывающих отраслях.
129. Apollonskii S. M., Erofeenko V. T., Shushkevich G. Ch. Screening of low-frequency electric fields by a set of screens: a thin unclosed ellipsoidal sheath plus a thin-walled penetrable cylinder //Technical Physics, n. 8, 2003.
130. Chun-Yu Lin, Huey-Ru Chaung, Kun-Mu Chen. Steady-State and shock currents induced by ELF Electric Fields in a Human Body and a Nearby Vehicle //IEEE Trans. on Electromagnetic Compatibility, v.32, n. 1, February, 1990, pp. 59-65.
131. EMP Interaction: Principles, Techniques, and Reference data (A handbook of Technology from the EMP Interaction Notes /Ed. by K.S.H. Lee. - Washington, New York, London: Hemisphere publishing corporation, 1986. - 744 pp
132. IEC 61511:2004 Functional Safety – Safety Instrumented Systems for the Process Industry Sector.
133. IEEE Working Group Report Estimating Lightning Performance of Transmission Lines II - Updates to analytical Models //IEEE Trans. on Power Delivery, v.8, n. 3, July 1993. pp. 1254-1267.
134. 224. International Electrotechnical Vocabulary. Chapter 161: Electromagnetic compatibility. First edition: IEC 60050-161: 1990. – [Act. 1990-

- 08] – Geneva, Switzerland: International Electrotechnical Commission, 1990. – 73 p. – (International standard).
135. 234. Kamra A.K. Inadvertent modification of atmospheric electricity //Current science (India), 1991, v. 60, n. 11, pp. 639-646.
136. 239. Peier, D.: Elektromagnetische Vertraglichkeit – Problemstellung und Losung-sansatze. - Heibelberg: Huthig, 1990.
137. 240. Schulz R. B., Plantz V. C., Brush D. R. Shielding theory and practice //IEEE Trans. on EMC, 1988, EMC - 30, n. 3(Pt. 1), pp. 187-201.
- elds and magnetic shields //Int. J. Eng. Sci., 1975, v. 13, n. 1, pp. 107-115.
138. 241. Senior T. B. A., Volakis J. L. Sect simulation of a thin dielectric layer //Radio Sci., 1987, v. 22, n. 7, pp. 1261-1272.
139. 244. Shulman Seth. All aboard the bandwagon //Nature, 1990, bd. 346, N. 6285, s. 490.
140. 245. Sommerville I. Software engineering. Addison - Wesley. Lancaster University. 2000.
141. 247. Veno S. Biological effects of magnetic fields //J. Magn. Soc. Jap., 1991, v. 15, n. 4, pp. 745-749.