



**Министерство образования и науки
Российской Федерации
Рубцовский индустриальный институт (филиал)
ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический
университет им. И.И. Ползунова»**

Кафедра электроэнергетики

Н.И. Задоя

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Учебное пособие для бакалавров направления
«Электроэнергетика и электротехника»

Рубцовск 2014

УДК 621.3

Задоя Н.И. Электромагнитная безопасность: Учебное пособие для бакалавров направления «Электроэнергетика и электротехника» / Рубцовский индустриальный институт. – Рубцовск, 2014. – 108 с.

В учебнике приведены основные сведения об электромагнитной безопасности. Рассмотрено влияние электромагнитных излучений на человека. Изложены вопросы опасного воздействия электрического тока на людей и животных. Особое внимание уделено качеству электрической энергии и электромагнитной обстановке на энергетических и промышленных объектах. Рассмотрены вопросы защиты от влияния электромагнитных излучений и помех.

Пособие предназначено для студентов очной и заочной форм обучения.

Рассмотрено и одобрено
на заседании НМС РИИ.
Протокол №6 от 01.09.14.

Рецензент: профессор, к.ф.- м. н.

В.В. Борисовский

Содержание

Введение	5
Глава 1. Основные сведения об электромагнитной совместимости	6
1.1. Основные понятия. Термины и определения	10
1.2. Классификация источников электромагнитного излучения	13
1.3. Природные источники электромагнитного излучения	14
1.4. Антропогенные источники электромагнитного излучения	16
1.4.1. Источники электромагнитного поля диапазона до 3 кГц	17
1.4.2. Источники электромагнитного поля диапазона 3 кГц – 300ГГц	21
1.5. Классификация электромагнитных помех	26
1.6. Индуктивные (излучаемые) электромагнитные помехи	32
1.7. Кондуктивные электромагнитные помехи	33
1.8. Электромагнитные помехи электрофицированного железнодорожного транспорта	34
1.9. Влияние электромагнитных помех на аппаратуру	35
Глава 2. Влияние электромагнитных излучений на человека	38
2.1. Биофизика взаимодействия электромагнитных излучений и человека	38
2.2. Электромагнитные излучения высоких и сверхвысоких частот	42
2.3. Электромагнитные излучения персонального компьютера	44
2.4. Электромагнитные излучения при пользовании сотовой связью	47
Глава 3. Опасное действие электрического тока на людей и животных	49
3.1. Электротравма и ее виды	49
3.2. Статистика электротравматизма	50
3.3. Первичные критерии электробезопасности	51
3.4. Действие электрического тока на животных	53
Глава 4. Качество электрической энергии	54
4.1. Основные нормы и показатели качества электрической энергии	54
4.2. Отклонение напряжения	58
4.3. Колебания напряжения	60
4.4. Несинусоидальность напряжения	61
4.5. Несимметрия напряжения	62
4.6. Отклонение частоты	62
4.7. Провал напряжения	63

4.8. Импульс напряжения	65
4.9. Временное перенапряжение	66
Глава 5. Электромагнитная обстановка на энергетических и промышленных объектах	69
5.1. Классификация электромагнитной обстановки окружающей среды	69
5.2. Виды испытаний на электромагнитную совместимость и критерии качества функционирования технических средств при испытаниях	71
5.3. Мероприятия по обеспечению электромагнитной совместимости в соответствии с классом жесткости электромагнитной обстановки	75
5.4. Контроль электромагнитной обстановки	78
5.5. Особенности электромагнитной обстановки на энергетических и промышленных объектах	79
5.6. Мероприятия по улучшению электромагнитной обстановки	81
Глава 6. Защита от влияния электромагнитных излучений и помех	86
6.1. Нормирование электромагнитных излучений	86
6.1.1. Электромагнитные излучения промышленной частоты	88
6.1.2. Электромагнитные излучения высоких и сверхвысоких частот	89
6.2. Защита от электромагнитных излучений	89
Приложение. Федеральный закон Российской Федерации «О государственном регулировании в области обеспечения электромагнитной совместимости технических средств»	92
Библиографический список	108

ВВЕДЕНИЕ

Работоспособность оборудования энергообъектов в значительной мере определяется способностью взаимодействия его различных компонентов друг с другом с учетом наличия помех, создаваемых и оказывающих влияние на это взаимодействие. Так, например, на электрических станциях и подстанциях источниками электромагнитных воздействий в нормальных и аварийных режимах являются напряжения и токи промышленной частоты при КЗ на землю, импульсные помехи при коммутациях и КЗ в распределительных устройствах, импульсные помехи при ударах молнии, разряды статического электричества и ряд других источников возмущения. Создаваемые помехи вызывают необходимость решения проблемы *электромагнитной совместимости* (ЭМС), что особенно характерно для цепей устройств автоматизированных систем технологического управления (АСТУ) станций и подстанций, систем телефонной связи, при работе электронного и вычислительного оборудования.

Настоящее учебное пособие ориентировано на специалистов электротехнического профиля и предназначено для базовой подготовки, которая позволила бы в других дисциплинах рассматривать различные аспекты природных и антропогенных источников электромагнитных помех и их влияние на работу аппаратуры, на жизнедеятельность людей и животных.

В первой главе приведены основные сведения об электромагнитной совместимости.

Во второй главе рассмотрено влияние электромагнитных излучений на человека.

Третья глава посвящена изложению вопросов опасного действия электрического тока на людей и животных.

В отдельную главу выделены основные нормы и показатели качества электрической энергии.

В пятой главе излагаются вопросы классификации и контроля электромагнитной обстановки на энергетических и промышленных объектах.

В шестой главе освещена защита от влияния электромагнитных излучений и помех.

Различным аспектам проблемы электромагнитной совместимости посвящена обширная литература как отечественная, так и зарубежная, и число публикаций постоянно растет. Поэтому в списке литературы к учебному пособию даны лишь основные (по мнению автора) работы, в которых отдельные вопросы рассматриваются более подробно, чем в предлагаемом учебном пособии, и с которыми будет целесообразно ознакомиться особо заинтересовавшемуся читателю.

Глава 1. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ

XX век ознаменовался стремительным развитием электротехники и радиотехники. Широкое распространение линий электропередач высокого напряжения, радиоэлектронных устройств и средств связи привело к существенному возрастанию уровней электромагнитных полей различных частотных диапазонов и расширению режимов генерации этих полей в окружающей среде. Было установлено, что электромагнитное поле (ЭМП) представляет серьезную опасность жизни и здоровью человека и оказывает негативное влияние на функционирование радиоэлектронных средств (РЭС). Развитие электроэнергетики и радиотехники стало сдерживаться отрицательными явлениями, порожденными этой техникой, ее количественным ростом. Дальнейший прогресс техники потребовал решения проблемы обеспечения безопасности человека, экологии внешней среды и совместного надежного функционирования различных радио- и электротехнических систем. Новое научное направление, призванное обеспечить одновременную и совместную работу различного радиотехнического, электронного и электротехнического оборудования, получило название электромагнитной совместимости.

Начало 1990-х годов характеризуется интенсивным развитием электротехнологии, телевизионной техники, компьютеров, мобильных средств связи, электронной бытовой и офисной техники, что вызвало появление большого количества искусственных источников электромагнитного поля и обусловило "электромагнитное загрязнение" среды обитания человека. Особенно электромагнитное загрязнение наблюдается вблизи линий электропередач, тепловых сетей, электрифицированных железных дорог, телевизионных станций, спутниковой и сотовой связи, аэродромов и радаров. Электромагнитное загрязнение в крупных городах уже превышает природные уровни в тысячи раз.

Факты свидетельствуют, что обычный уровень низкочастотного электромагнитного поля крупного промышленного города соответствует ситуации природной "магнитной бури". Уже сегодня электромагнитное загрязнение окружающей среды, наряду с химическим и радиационным, – наиболее распространенный вид загрязнения, несущий опасные глобальные последствия и вызывающий большую обеспокоенность как ученых, так и населения. Всемирная организация здравоохранения включила проблему электромагнитного загрязнения окружающей среды в перечень приоритетных проблем человечества.

Стало привычным использование радиоизлучателей на домах и автомашинах и применение радиотелефона как средства связи. Линии электропередачи и радиопередающие центры повсеместно размещаются в жилых районах и в местах отдыха. В настоящее время источники электромагнитных излучений все более распространяются и на производстве, и в быту, поэтому растет число людей, подвергающихся воздействию этих

излучений. Электроэнергетическая отрасль в своем арсенале имеет мощные источники электромагнитных полей промышленной частоты, среди которых высоковольтные подстанции, воздушные линии электропередач высокого, сверхвысокого и ультравысокого напряжения. В квартирах наших граждан используются десятки видов современной бытовой техники, включая электрический подогрев пола, системы микроклимата и т.д., которые создают опасную среду обитания человека и домашних животных.

Среди зарегистрированных последствий воздействия электромагнитного загрязнения на человека самым распространенным является поражение сердечно-сосудистой и пищеварительной систем. Среди последствий электромагнитного загрязнения специалисты называют также нарушения поведения (вплоть до самоубийства), потерю памяти, болезни Паркинсона и Альцгеймера, синдром внезапной смерти у грудных детей, расстройства половой функции и другие серьезные патологические заболевания. По некоторым данным, значительная часть случаев инфаркта миокарда в крупных городах вызвана «скачками» мощных техногенных низкочастотных электромагнитных полей.

Задача преодоления негативного воздействия электромагнитного загрязнения значительно усложняется существованием взаимодействия естественного электромагнитного поля и антропогенного загрязнения. Парадокс заключается в том, что природное электромагнитное поле образует и поддерживает жизнь на Земле, а вызванное деятельностью человека искусственное электромагнитное загрязнение, интенсивность которого во многих случаях превышает естественный фон, угрожает всему живому. Возникшее противоречие между природным и техногенным характером проявления ЭМП может быть преодолено, если изучать проблему электромагнитной совместимости не только с позиции рассмотрения совместимости функционирования радиотехнических и электротехнических устройств, но и в более широком аспекте – «совместимости» техники, человека и среды его обитания.

Основные негативные проявления электромагнитного поля:

1. Нежелательное деструктивное воздействие ЭМП на объекты, проявляющееся в виде помех, которые ухудшают качество функционирования радиоэлектронной аппаратуры. Эти помехи могут быть вызваны как естественными природными электромагнитными процессами, так и деятельностью человека.

Естественные помехи объективно существуют в природе и порождаются электрическими процессами в атмосфере (грозовыми разрядами, северными сияниями, разрядами статического электричества во время пылевых бурь и т.д.), а также тепловыми радиоизлучениями земной поверхности и радиоизлучением внеземных космических источников.

Помехи искусственного происхождения обусловлены различными электромагнитными процессами, протекающими в технических устройствах. Например, помехи (непреднамеренные) могут быть вызваны излучением РЭС или работ различных электротехнических установок. К непреднамеренным

помехам также относят внутренние шумы устройств и приборов, объективно присущие любым электрическим цепям.

Наличие помех, создаваемых при работе различных радиоэлектронных систем, и негативные последствия их влияния, как уже отмечалось, породили в середине XX века проблему электромагнитной совместимости РЭС. В этом случае понятие «*электромагнитная совместимость*» определяется как способность радиоэлектронных средств и электротехнических установок одновременно и совместно функционировать в реальных условиях эксплуатации при воздействии непреднамеренных электромагнитных помех и не создавать недопустимых электромагнитных помех другим устройствам.

2. Опасное воздействие техногенного электромагнитного излучения высоких и сверхвысоких частот на организм человека. Установлено, что влияние ЭМП на организм человека зависит от таких физических параметров, как длина волны, интенсивность излучения, режим облучения – непрерывный и прерывистый, а также от продолжительности воздействия на организм.

Биологическое действие ЭМП в диапазоне радиочастот характеризуется тепловым и нетепловым эффектом. Под тепловым действием подразумевается интегральное повышение температуры тела или отдельных его частей при общем или локальном облучении. Нетепловой эффект связан с переходом электромагнитной энергии в организме человека в нетепловую форму, проявляющуюся в виде молекулярного резонансного процесса, фотохимической реакции и др. В связи с тем, что по своим биофизическим свойствам ткани организма неоднородны, возникает неравномерный нагрев на границе раздела с высоким и низким содержанием воды, что определяет высокий и низкий коэффициент поглощения энергии.

3. Опасное воздействие электроустановок промышленной частоты – линий электропередачи высокого и сверхвысокого напряжения – проявляется в виде электромагнитного загрязнения среды обитания человека, животных и растительного мира. Электрические и магнитные поля могут воздействовать на человека, если он находится кратковременно в непосредственной близости ЛЭП или других установок высокого напряжения (например, при производстве работ) или постоянно на определенном расстоянии при прохождении линии электропередач сверхвысокого напряжения через жилые постройки.

При оценке биологического влияния электрических и магнитных полей основное внимание должно уделяться тем их проявлениям, которые представляют опасность для здоровья людей. На основании многолетних исследований установлено:

а) кратковременное воздействие на людей электрического поля (ЭП) с напряженностью до 20 кВ/м не оказывает вредного влияния на здоровье человека;

б) вызывают определенную угрозу для жизни поверхностные и вторичные эффекты ЭП – разряды и токи, протекающие через тело человека при его прикосновении к металлическим объектам, находящимся под электрическим потенциалом;

в) магнитное поле (МП) – магнитостатическое и переменное – создает в биологических объектах магнитомеханические эффекты, проявляющиеся в виде магнитной ориентации диа- и парамагнитомеханических молекул или клеток.

Возникает также нежелательное электронное взаимодействие между магнитной индукцией МП и биополем человека. При плотности тока 10...50 мкА/см могут возникать стойкие опасные последствия для жизни и здоровья человека, начиная от ощущения неожиданного страха при воздействии поля на нервные волокна мозга, приводящие к параличу или остановке сердца.

4. Опасное действие электрического поля промышленной частоты, возникающее при попадании человека под напряжение. Оно проявляется за счет термического, электролитического, биологического, механического и светового воздействия на организм. Термическое воздействие характеризуется нагревом кожи тела и ткани вплоть до появления крупных ожогов. Электролитическое воздействие заключается в химическом разложении жидкости лимфы и крови. Биологическое действие электрического тока проявляется в нарушении физиологических процессов, протекающих в организме человека, и сопровождается возбуждением или разрушением ткани, судорожным сокращением мышц органов дыхания и сердца. Механическое воздействие приводит к разрыву тканей и органов, а световое – к поражению глаз.

Из всех видов проявления электромагнитного поля электрический ток в силу его массового использования во всех сферах человеческой деятельности в настоящее время представляет наибольшую опасность как для человека, так и для среды его обитания (например, пожары от электроустановок зданий составляют 30-40% общего числа пожаров в России).

5. Негативное влияние на качество электроэнергетики потребителей в системах электроснабжения, обусловленное искажением форм кривых тока и напряжения, появлением высших гармоник от нелинейных нагрузок в электрической цепи. Генерируемые в электроустановках высшие гармоники оказывают также отрицательное влияние на расположенные вблизи линии связи. Кроме того высшие гармоники могут проявляться и при изменениях режимов работы линий высокого напряжения. Так, при замыкании линии накоротко на одном из ее концов появляется пучность тока и, как следствие, увеличиваются гармоники тока. При размыкании в конце линии возникает пучность напряжения, приводящая к увеличению гармоник напряжения.

6. Опасные последствия влияния воздушных линий электропередачи высокого напряжения на находящиеся вблизи трубопроводы, проходящие по территории населенных пунктов. В нормальном или аварийном режиме линии на металлических конструкциях трубопровода могут возникать наведенные электрические потенциалы, тем самым увеличивается зона поражения электрическим током людей и животных.

Таким образом, мешающее и опасное электромагнитное загрязнение окружающей среды является продуктом техногенной деятельности человека. Эволюция жизни на Земле не выработала защиты от техногенных угроз, и

только усилиями человека возможно улучшить техногенную обстановку среды обитания – уменьшить уровень электромагнитного загрязнения до сопоставимого природного его фона. Достичь этого можно путем принятия действенных государственных мер законодательного экономического и технологического характера.

1.1. Основные понятия. Термины и определения

Электромагнитная совместимость (ЭМС) – способность электротехнических или электронных устройств надежно функционировать с заданным качеством в определенной электромагнитной обстановке и не создавать при этом недопустимых электромагнитных помех другим техническим средствам, а также не оказывать вредного воздействия на биологические объекты, в том числе и на организм человека.

Автоматические и автоматизированные системы технологического управления (АСТУ) электросетевыми объектами (энергосистемами) – совокупность систем управления, реагирующих на параметры электрического режима работы оборудования (электрической сети) и предназначенных для реализации функций управления оборудованием электросетевого объекта, электрическим режимом сети (энергосистемы) с целью достижения надежного и экономичного функционирования оборудования в нормальном режиме, обеспечения нормативных показателей качества электрической энергии и сохранения устойчивости функционирования электросетевого объекта (энергосистемы) в аварийных режимах. К таким системам относятся АСДУ (автоматизированные системы диспетчерского управления), АРН (системы автоматического регулирования напряжения), АРЧМ (системы автоматического регулирования частоты и перетока мощности), ПА (системы противоаварийной автоматики), РЗА (системы релейной защиты и автоматики), АСУТП (автоматизированные системы технологического управления на объектах), ССПИ (системы обзора и передачи оперативной и технологической информации, включая телекоммуникационные линии и линии связи).

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

Внешняя помеха – помеха, источник которой находится за пределами вторичных цепей (например, короткие замыкания и коммутационные операции в сети высокого напряжения, молниевые разряды, работа радиосредств).

Внутренняя помеха – помеха, возникающая непосредственно во вторичных цепях (включая цепи питания переменным и постоянным током).

Восприимчивость к электромагнитной помехе (электромагнитная восприимчивость) – неспособность технических средств работать без ухудшения качества функционирования при наличии электромагнитной помехи или недостаточная помехоустойчивость технических средств.

Временное перенапряжение – повышение напряжения в точке электрической сети выше 1,1 Uном продолжительностью более 10 мс,

возникающее в системах электроснабжения при коммутациях или аварийных режимах.

Время восприятия фликера – минимальное время для субъективного восприятия человеком фликера, вызванного колебаниями напряжения определенной формы.

Вторичная цепь – любая цепь с номинальным напряжением ниже 1 кВ, используемая для передачи информации в виде дискретного или аналогового сигнала либо для питания потребителей на территории данной электростанции или подстанции постоянным или переменным током.

Гальваническая связь – связь между различными элементами через активное сопротивление.

Доза фликера – мера восприимчивости человека к воздействию фликера за установленный промежуток времени.

Заземлитель – проводник или совокупность металлических соединенных между собой проводников, находящихся в соприкосновении с землей.

Заземляющее устройство – совокупность заземлителя и заземляющих проводников.

Заземляющий проводник – проводник, соединяющий заземляемые части с заземлителем.

Импульс напряжения – резкое изменение напряжения в точке электрической сети, за которым следует восстановление напряжения до первоначального или близкого к нему уровня за промежуток времени до нескольких миллисекунд.

Индуктивная электромагнитная помеха – электромагнитная помеха (излучаемая электромагнитная помеха), распространяющаяся в виде электромагнитных полей в непроводящих средах.

Качество функционирования технического средства – совокупность характеристик, определяющих работоспособность технического средства в условиях эксплуатации.

Качество электрической энергии – совокупность свойств электрической энергии в электрической сети, определяющих электромагнитную совместимость технических средств, получающих питание от этой сети. Качество электрической энергии характеризуется уровнями электромагнитных помех, представляющих собой отклонения напряжения, формы синусоидальности, частоты и симметрии напряжений от установленных значений.

Кондуктивная электромагнитная помеха – электромагнитная помеха, распространяющаяся по элементам электрической сети, по проводящим конструкциям и в земле.

Коэффициент временного перенапряжения – величина, равная отношению максимального значения огибающей амплитудных значений напряжения за время существования временного перенапряжения к амплитуде номинального напряжения сети.

Молниезащитное устройство – система, предназначенная для защиты зданий или сооружений, оборудования и людей от воздействий молнии.

Потребитель электрической энергии – юридическое или физическое лицо, осуществляющее пользование электрической энергией (мощностью).

Провал напряжения – внезапное понижение напряжения в точке электрической сети ниже 0,9 Uном, за которым следует восстановление напряжения до первоначального или близкого к нему уровня через промежуток времени от десяти миллисекунд до нескольких десятков секунд.

Радиоэлектронное средство – техническое средство, состоящее из одного или нескольких радиопередающих или радиоприемных устройств либо из их комбинации и вспомогательного оборудования, предназначенное для передачи и/или приема радиоволн.

Сертификат электромагнитной совместимости – документ, выданный в соответствии с правилами сертификации для подтверждения соответствия сертифицированного технического средства установленным стандартами требованиям по электромагнитной совместимости.

Сертификация системы качества энергоснабжающей организации – действие организации, независимой от энергоснабжающей организации и потребителей электрической энергии, удостоверяющее, что должным образом идентифицированная система качества энергоснабжающей организации обеспечивает стабильность качества подаваемой потребителям электрической энергии в соответствии с установленными стандартами требованиями.

Система качества энергоснабжающей организации – совокупность организационной структуры, методик, процессов и ресурсов энергоснабжающей организации, необходимая для управления качеством подаваемой потребителям электрической энергии.

Система электроснабжения общего назначения – совокупность электроустановок и электрических устройств энергоснабжающей организации, предназначенных для обеспечения электрической энергией различных потребителей (приемников электрической энергии).

Средство измерения электромагнитных помех – средство измерения, обеспечивающее измерение параметров электромагнитных помех в регламентированных условиях.

Стандарт – нормативный документ, который в соответствии с законодательством Российской Федерации устанавливает обязательные требования к техническим средствам и к качеству электрической энергии (государственный стандарт Российской Федерации, государственные санитарно-эпидемиологические правила и нормативы, строительные нормы и правила и другие документы).

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

Устойчивость технических средств к электромагнитным помехам (помехоустойчивость технических средств) – способность технических средств сохранять заданное качество функционирования при воздействии на них, регламентированных стандартами электромагнитных помех (в качестве

электромагнитной помехи может фигурировать практически любое электромагнитное явление в широком диапазоне частот).

Фликер – субъективное восприятие человеком колебаний светового потока искусственных источников освещения, вызванных колебаниями напряжения в электрической сети, питающей эти источники.

Электромагнитное поле – особая форма материи, посредством которой осуществляется взаимодействие между заряженными частицами. Характеризуется напряжённостями (или индукциями) электрического и магнитного полей.

Электромагнитные волны – электромагнитное поле, распространяющееся в пространстве с конечной скоростью, зависящей от свойств среды. В вакууме скорость распространения электромагнитных волн $c = 300000 \text{ км/с}$.

Электромагнитная обстановка (ЭМО) – совокупность электромагнитных явлений или процессов в данной области пространства или данной проводящей среде в частотном и временном диапазонах.

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

Электрическая сеть общего назначения – электрическая сеть энергоснабжающей организации, предназначенная для подачи электрической энергии различным потребителям электрической энергии или техническим средствам.

Энергообъект – совокупность электроустановок, зданий и сооружений, функционально связанных друг с другом и территориально приближенных.

1.2. Классификация источников электромагнитного излучения

Электромагнитное поле (ЭМП) – это вид материи, определенный во всех точках двумя векторными величинами, которые характеризуют две его стороны, называемые соответственно электрическим полем и магнитным полем, и оказывающий силовое воздействие на заряженные частицы, зависящее от их скорости и заряда. Электромагнитные излучения представляют собой распространяющиеся в пространстве с конечной скоростью взаимосвязанные и не могущие существовать друг без друга переменные электрические и магнитные поля. Они имеют дуальную природу и обладают волновыми и квантовыми свойствами. Каждому виду электромагнитного излучения соответствует определенная частота и, соответственно, длина электромагнитной волны.

Токи различного диапазона частот создают в воздухе излучения, имеющие однотипную электромагнитную природу; различие между этими видами излучений – в длине волны и частоте колебаний, а значит, и в величине энергии кванта, составляющего электромагнитное поле. Электромагнитные волны,

возникающие при колебании электрических зарядов, называются *радиоволнами*.

В таблице 1.1 приведена международная классификация электромагнитных излучений в зависимости от частоты и длины волны. Необходимо отметить, что электромагнитные излучения промышленной частоты также являются частным видом излучений сверхнизкого диапазона (50-60 Гц) частот.

Таблица 1.1

Классификация электромагнитных излучений

№ диапазона	Диапазон радиочастот	Частотные границы	Диапазон радиоволн	Волновые границы
-	Инфразвуковая, ИЗЧ	До 3 Гц	-	Более 105 км
1	Крайне низкая, КНЧ	3-30 Гц	декамегаметровые	105-104 км
2	Сверхнизкая, СНЧ	30-300 Гц	мегаметровые	104-103 км
3	Инфранизкая, ИНЧ	0,3-3 кГц	гектокилометровые	103-100 км
4	Очень низкая, ОНЧ	3-30 кГц	мериаметровые	100-10 км
5	Низкая, НЧ	30-300 кГц	километровые	10-1 км
6	Средняя, СЧ	0,3-3 МГц	гектометровые	1-0,1 км
7	Высокая, ВЧ	3-30 МГц	декаметровые	100-10 м
8	Очень высокая, ОВЧ	30-300 МГц	метровые	10-1 м
9	Ультравысокая, УВЧ	0,3-3 ГГц	дециметровые	1-0,1 м
10	Сверхвысокая, СВЧ	3-30 ГГц	сантиметровые	10-1 см
11	Крайне высокая, КВЧ	30-300 ГГц	миллиметровые	10-1 мм
12	Гипервысокая, ГВЧ	300-3000 ГГц	децимиллиметровые	1-0,1 мм

Все источники электромагнитных излучений по происхождению делятся на природные и антропогенные (техногенные) источники.

1.3. Природные источники электромагнитного излучения

По происхождению природные источники ЭМП делятся на две группы:

- 1) поле Земли: постоянное электрическое и основное геомагнитное поле;
- 2) радиоволны, генерируемые космическими источниками (Солнце, галактики и пр.) при некоторых процессах, происходящих в атмосфере Земли (например, разряды молнии), при возбуждении колебаний в ионосфере Земли.

Первая группа природных электромагнитных полей. Измерения с помощью специальных электрических зондов показали наличие электрического поля у Земли с отрицательным зарядом и переменной во времени напряженностью. В среднем напряженность поля у самой поверхности Земли составляет 130 В/см, убывая с высотой по экспоненциальному закону. Годовые изменения сходны по характеру на всем земном шаре: максимум в январе – феврале (до 150-250 В/м) и минимум в июне – июле (100-120 В/м). Между

точками, находящимися на расстоянии, равном среднему значению роста человека, разность потенциалов оказывается равной примерно 200 В. Человек не чувствует этого электрического напряжения и его не поражает ток потому, что он сам является хорошим проводником электричества. Как и всякий проводник, тело человека сильно искажает электрическое поле. Эквипотенциальные поверхности поля огибают поверхность тела человека так же, как они огибают металлический предмет, и все точки тела человека находятся под одним и тем же потенциалом.

Вторая группа природных электромагнитных полей характеризуется наличием широкого диапазона частот. Частотный спектр простирается в диапазоне от сотен герц до десятков мегагерц. Максимум их интенсивности находится в пределах 10 кГц.

В силу относительно низкого уровня излучения от космических радиоисточников и случайного, нерегулярного характера воздействия источников в атмосфере Земли воздействие на биообъекты этих природных электромагнитных полей незначительно.

Спектр радиоизлучения Солнца и галактик занимает область от 10 МГц до 10 ГГц (видимое, ультрафиолетовое, инфракрасное излучения). Интенсивность солнечного излучения составляет $10^{-10} - 10^{-8}$ Вт/м. Во время вспышек излучение усиливается в несколько десятков раз. Спектр и интенсивность радиоизлучения галактик близки к спектру и интенсивности Солнца.

В таблице 1.2 приведены основные характеристики природных источников электромагнитных излучений.

Таблица 1.2

Основные характеристики природных источников электромагнитных излучений

Постоянное поле Земли			Радиоволны
Электрическое поле	Геомагнитное поле		
	постоянное	переменное	
Основные параметры: 1. Напряженность – от 100 до 250 В/м. 2. Полный заряд Земли – около 600 кКл. 3. Разность потенциалов между поверхностью Земли и верхними слоями атмосферы – 400 кВ. 4. Полный разрядный суммарный ток между Землей и атмосферой – 1800 А.	99% от геомагнитного поля Земли. 1. Напряженность – от 100 до 250 В/м. 2. Полный заряд Земли около 600 кКл. 3. Магнитная индукция от 35 до 65 мкТл.	1% от геомагнитного поля Земли.	1. Радиоволны, генерируемые космическими источниками (интенсивность составляет $10^{-10} - 10^{-1}$ Вт/м). 2. Магнитные бури (магнитная индукция от 200 до 1000 нТл). 3. Излучения при возбуждении колебаний в ионосфере Земли.

Природные электромагнитные излучения в своем большинстве являются основной составляющей жизнедеятельности живых организмов на Земле (исключение – магнитные бури). Однако электромагнитная среда обитания с высоким уровнем электромагнитных излучений антропогенного происхождения представляется как источник электромагнитных помех в отношении жизнедеятельности человека и биоэкосистем. В этой связи возникает проблема биоэлектромагнитной *совместимости* как весьма сложной системы взаимодействия живой природы и технических средств – источников электромагнитных излучений различного диапазона частот.

1.4. Антропогенные источники электромагнитного излучения

В соответствии с международной классификацией антропогенные (техногенные) источники электромагнитного поля делятся на две группы:

1-я группа – генерирующие крайне низкие и сверхнизкие частоты от 0 Гц до 3 кГц;

2-я группа – генерирующие излучение в радиочастотном диапазоне от 3 кГц до 300 ГГц, включая микроволны (СВЧ-излучение) в диапазоне от 300 МГц до 300 ГГц.

К первой группе относятся, в первую очередь, все системы производства, передачи и распределения электроэнергии (линии электропередачи, трансформаторные подстанции, электростанции, системы электропроводки, различные кабельные системы и пр.); различные промышленные технологические установки, бытовая и офисная электро- и электронная техника и т.д.; электрифицированные железные дороги, метро, троллейбусы, трамваи.

Вторая группа источников отличается большим разнообразием как по назначению, так и по режимам излучения. Основную массу составляют так называемые функциональные передатчики – это источники ЭМП в цепях передачи или получения информации, излучающие ее контролируемым образом в окружающую среду, условная классификация приведена в таблице 1.3. Сюда следует отнести различное технологическое оборудование, использующее СВЧ-излучение, переменные (50 Гц – 1 МГц) и импульсные магнитные поля; медицинские терапевтические и диагностические установки (20 МГц – 3 ГГц), бытовое оборудование (СВЧ-печи), средства визуального отображения информации на электронно-лучевых трубках (мониторы ПК, видеодисплейные терминалы, телевизоры и т.п.), офисная техника и пр.

Классификация функциональных передатчиков связи

Коммерческие передатчики	Радиотелефоны	Направленная радиосвязь	Радио-навигация	Радио-локаторы
1. Радио АМ 2. Радио ЧМ 3. Телевидение ВЧ 4. Телевидение УКВ	1. Автомобильные 2. Любительские 3. Производственные 4. Радио СВ	1. Спутниковая 2. Наземные релейные станции	1. Спутники 2. Авиация 3. Судоходство 4. Транспорт	1. Воздушное сообщество 2. Судоходство 3. Транспортные локаторы

1.4.1. Источники электромагнитного поля диапазона до 3 кГц

Параметры ЭМП источников этой группы приведены в таблице 1.4.

Таблица 1.4

Характерные параметры ЭМП источников диапазона до 3 кГц

Источник ЭМП	Напряженность электрического поля, В/м	Характеристика магнитного поля
ЛЭП 6-35 кВ	10-500	Напряженность 0,1-2 А/м
ЛЭП 110 кВ	100-3000	Напряженность 0,1-20 А/м
ЛЭП 330 кВ	1000-5000	Напряженность 10-100 А/м
Открытое распределительное устройство подстанции 500 кВ	100-50000	Напряженность 10-100 А/м
Кабель электропитания подъезда жилого дома (0,4 кВ)	До 300	Магнитная индукция до 20 мкТл
Электроприборы и аппаратура промышленного назначения	До 700	Магнитная индукция до 40 мкТл
Электроприборы и аппаратура бытового назначения	До 400	Магнитная индукция до 12 мкТл
Электрифицированный транспорт (метро, трамваи, троллейбусы, ж/д транспорт)		Магнитная индукция до 200 мкТл

Линии электропередачи (ЛЭП). В России протяженность распределительных и системообразующих сетей напряжением 6-1150 кВ составляет свыше 4,5 млн км. Источником излучения энергии в окружающее пространство являются в данном случае провода ЛЭП. Несмотря на то, что электромагнитная энергия поля промышленной частоты 50 Гц в значительной

мере поглощается почвой, напряженность поля под проводами и вблизи них может быть значительной. Напряженность полей под линией зависит от класса напряжения ЛЭП (электрическое поле), нагрузки (магнитное поле), от высоты подвески, расстояния между проводами, рельефа местности под линией.

Источники ЭМП промышленной частоты в жилых помещениях. Электромагнитная обстановка в диапазоне 50 Гц в жилых помещениях представляет особый интерес для каждого. Источники разнообразны: электропроводка квартиры, бытовая электротехника – холодильники, утюги, пылесосы, электропечи, телевизоры, компьютеры и пр. Кроме того, на электромагнитную обстановку в квартире оказывают влияние электротехническое оборудование здания, в том числе трансформаторы, установленные в смежных помещениях, кабельные линии, подводящие электричество ко всем квартирам и другим потребителям системы жизнеобеспечения здания.

Электрическое поле в жилых домах находится, как правило, в очень умеренных пределах 1-10 В/м. В таблице 1.5 приведены данные о расстоянии, на котором фиксируется величина 0,2 мкТл (предельно допустимый уровень для России) при работе основных бытовых приборов.

Таблица 1.5

Распространение ЭМП от бытовых электрических приборов

Источник ЭМП	Расстояние, на котором фиксируется величина, превышающая ПДУ (0,2 мкТл)
Холодильник, оснащенный системой «No frost» (во время работы компрессора)	1,2 м от дверцы и 1,4 м от задней стенки
Холодильник (во время работы компрессора)	В радиусе 0,1 м от двигателя
Утюг (режим нагрева)	0,25 м от ручки
Телевизор (экран 14 дюймов)	1,1 м от экрана и 1,2 м от боковой стенки
Электрорадиатор	0,3 м
Торшер с двумя лампами по 75 Вт	0,03 м от провода
Электродуховка	0,4 м от передней стенки
Аэрогриль	1,4 м от боковой стенки

Общий уровень ЭМП в жилых помещениях постоянно возрастает в связи с увеличением числа электробытовых приборов. Эти приборы располагаются на относительно малых площадях квартир, следовательно, интенсивность ЭМП в жилой зоне постоянно возрастает. В сочетании с полями более высокого диапазона частот это представляет собой новый для человека фактор долговременного воздействия, которого не существовало даже 15-20 лет назад.

Разряды статического электричества. Накопление заряда статического электричества на теле человека обычно обусловлено трением двух материалов,

один из которых является диэлектриком. Первичные источники статического электричества приведены в таблице 1.6.

Таблица 1.6

Первичные источники статического электричества

Предмет	Материал
Рабочие столы	Покрытые пластиком, лакированные или натертые мастикой поверхности
Рабочие стулья	Пластик, фиберглас, лакированные деревянные поверхности, дедероновые чехлы
Полы	Лакированный бетон, натертое дерево, пластиковые покрытия, каменные плиты, ковры из синтетических материалов
Одежда	Одежда из синтетических материалов, обувь с креповой или резиновой подошвой
Упаковка, тара	Коробки, кляссеры, футляры, чехлы, кожухи и упаковочные материалы из пласмассы
Инструмент	Инструмент с пластмассовыми ручками, незаземленные работающие паяльники, всасывающие патрубки из пластика, щетки и кисти из синтетических материалов
Документация, бумага, письменные принадлежности	Бумага любого вида, фотокопии, фольга, пишущие приборы из пластика

Величина заряда статического электричества зависит от многочисленных факторов, основными из которых являются:

- уровень относительной влажности воздуха;
- сопротивление изоляции и диэлектрическая проницаемость материала, отделяющего заряженный объект от проводящей поверхности;
- электрическая емкость объекта, включая человека, относительно земли;
- ритмичность шагов при движении и скорость перемещения человека;
- сопротивление кожи человека (с учетом потоотделения);
- поверхностное давление между двумя соприкасающимися материалами.

В зависимости от окружающей среды и других указанных выше факторов, потенциал человека может достигать 10-25 кВ, а запасенная энергия при этом достигает нескольких мегаджоулей.

В процессе накопления заряда статического электричества тело человека можно сравнить с конденсатором емкостью 100-200 нФ. Установлено, что человек обладает омическим сопротивлением от 500 до 1500 Ом.

Электромагнитные излучения персонального компьютера (ПЭВМ). Рассматривая электромагнитную обстановку в жилых помещениях, необходимо выделить электромагнитные излучения от ПЭВМ. Как известно, основными составляющими частями ПЭВМ являются системный блок и разнообразные устройства ввода/вывода информации: клавиатура, дисковые накопители,

принтер, сканер, источник бесперебойного питания и другое вспомогательное оборудование, а также – монитор (электронно-лучевая трубка или ЖК). Все элементы ПЭВМ являются источниками электромагнитных излучений, которые характеризуются широким диапазоном частот (от 50 Гц до 1000 МГц). Все эти элементы при работе формируют сложную электромагнитную обстановку на рабочем месте пользователя (табл. 1.7).

Таблица 1.7

Источники электромагнитного излучения ПЭВМ

Источник	Диапазон частот генерируемого электромагнитного поля
Системный блок в сборе (процессор)	50 Гц-1000 МГц
Устройства ввода/вывода	0 Гц, 50 Гц
Источники бесперебойного питания, сетевые фильтры и стабилизаторы	50 Гц, 20-100 кГц
В мониторе: - сетевой трансформатор блока питания - преобразователь напряжения в импульсном блоке питания - блок кадровой развертки и синхронизации - блок строчной развертки и синхронизации	50 Гц 20-100 кГц 48-160 Гц 15-110 кГц

Необходимо отметить, что в настоящее время все больше используются мониторы на основе жидких кристаллов (ЖК-мониторы), которые не генерируют вредных излучений, присущих мониторам с электронно-лучевой трубкой. Электростатическое поле и рентгеновское излучение действительно отсутствуют у ЖК-мониторов. Так, например, пользователи компьютеров типа Notebook уверены в электромагнитной безопасности, однако электронно-лучевая трубка не единственный источник излучения. ЭМП генерирует преобразователь напряжения питания (при работе от сети), схемы управления и формирования информации на дискретных ЖК-мониторах и другие элементы (табл. 1.7). В режиме питания от аккумулятора излучения, естественно, меньше, но присутствуют излучения частотой 1000 МГц (процессор). В режиме питания от сети портативный компьютер излучает электрическую составляющую переменного ЭМП, сравнимую с излучениями ПЭВМ с электронно-лучевой трубкой. А если учесть, что портативный компьютер располагается ближе к пользователю, то интенсивность часто превышает экологические нормативы.

Электромагнитные излучения ПЭВМ имеют сложнейший волновой и спектральный состав и довольно трудно поддаются измерению и количественной оценке. Эти излучения имеют магнитную, электростатическую и лучевую составляющие (в частности, электростатический потенциал сидящего перед монитором человека может колебаться от -3 до +5 В).

Кроме того на рабочем месте довольно часто присутствуют сторонние источники ЭМП: распределительные щитки, электропроводка, бытовые офисные электроприборы и другие (частота по первой гармонике – 50 Гц), телевизоры (0 -15,6 кГц], соседние ПЭВМ (0-1000 МГц), сотовые телефоны и т.д.

1.4.2. Источники электромагнитного поля диапазона 3 кГц-300 ГГц

Антропогенными источниками ЭМП в этом диапазоне частот являются различные радиэлектронные средства, технологическое оборудование, а также офисная и бытовая техника. Примерная классификация этих источников представлена в таблице 1.8. Характерные параметры источников ЭМП этой группы приведены в таблице 1.9.

Таблица 1.8

Классификация источников ЭМП в диапазоне 3 кГц – 300 ГГц

Радиоэлектронные средства	Оборудование
Средства радио- и телевидения	Промышленное оборудование
Средства радиосвязи и навигации	Офисная техника
Средства мобильной связи	Видеодисплейные терминалы
Радиолокационные станции	Радиотелефоны
Спутниковые системы	Медицинское оборудование
Автоматические телефонные станции	Системы охраны

Функциональные передатчики. На территории России в настоящее время размещается значительное количество передающих радиостанций НЧ, СЧ и ВЧ-диапазонов. Только Министерству связи принадлежит более 100 передающих радиостанций РФ (ПРЦ), которые размещаются в специально отведенных для них зонах и могут занимать довольно большие территории (до 1000 га). ПРЦ включают в себя одно или несколько технических зданий, где находятся радиопередатчики, и антенные поля, на которых располагаются до нескольких десятков антенно-фидерных систем (АФС). АФС включают в себя антенну, служащую для излучения радиоволн, и фидерную линию, подводящую к ней высокочастотную энергию, генерируемую передатчиком.

Зону возможного неблагоприятного действия электрических полей, создаваемых ПРЦ, можно условно разделить на две части.

Первая – это собственно территория ПРЦ, где размещены все службы, обеспечивающие работу радиопередатчиков и АФС. Эта территория охраняется, и на нее допускаются только лица, профессионально связанные с обслуживанием передатчиков, коммутаторов и АФС. Вторая часть зоны – это прилегающие к ПРЦ территории, доступ на которые не ограничен, где могут

размещаться различные жилые постройки. В этой части зоны возникает угроза облучения населения.

Таблица 1.9

*Характерные параметры источников ЭМП
в диапазоне 3 кГц – 300 ГГц*

Источник излучения	Частота излучения	Расстояние до точки излучения	Уровень ЭМП	Мощность источника
Радиостанции НЧ	130-285 кГц	300 м	90 В/м	1,8 МВт
Радиостанции СВ	415-1606,5 кГц	50 м	450 В/м	1,8 МВт
Радиостанции КВ	3,95 - 26,1 МГц	50 м	121 В/м	750 кВт
Ручные радиостанции	27 МГц	5 см	Меньше 1000 В/м	Несколько Вт
Радиотелефоны (сотовая связь)	20 МГц-2 ГГц	10 см	300 В/м	-
Телевизионные передатчики	47-68 МГц 174-230 МГц 470-890 МГц	1,5 км	5-20 мВт/м ²	100 кВт
Радиостанции FM	87,5-108 МГц	1,5 км	50 мВт/м ²	-
Системы охраны	0,9-10 ГГц	В зоне действия системы	Менее 2 мВт/м ²	0,2-20 кВт
Радиолокаторы стационарные	1-10 ГГц	0,1-1,0 км	0,1-10 мВт/м ²	0,2-20 кВт
Радиолокационные станции (РЛС)	9-35 ГГц	3 м	Менее 250 мВт/м ²	0,5-1000 кВт

Радиостанции ДВ (30-300 кГц). В этом диапазоне длина волн относительно большая (например, 2000 м для частоты 150 кГц). На расстоянии длины волны или меньше от антенны электромагнитное поле может быть достаточно большое. Например, на расстоянии 30 м от антенны передатчика мощностью 500 кВт, работающего на частоте 145 кГц, электрическое поле может быть выше 630 В/м, а магнитное – выше 1,2 А/м.

Радиостанции СВ (частоты 300 кГц – 3 МГц). Данные для радиостанций этого класса указывают, что напряженность электрического поля на расстоянии 200 м может достигать 10 В/м, на расстоянии 100 м – 25 В/м, на расстоянии 30 м – 275 В/м (приведены данные для передатчика мощностью 50 кВт).

Радиостанции КВ (частоты 3-30 МГц). Передатчики радиостанций КВ имеют обычно меньшую мощность. Однако они чаще размещаются в городах, могут быть размещены даже на крышах жилых зданий на высоте 10-100 м. Передатчики мощностью 100 кВт на расстоянии 100 м могут создавать

напряженность электрического поля до 44 В/м и магнитного поля до $0,12 \text{ А/м}$.

Телевизионные передатчики. Телевизионные передатчики располагаются, как правило, в городах. Передающие антенны размещаются обычно на высоте не менее 110 м . Интерес, с точки зрения оценки влияния на здоровье, представляют уровни поля на расстоянии нескольких десятков метров до нескольких километров. Типичные значения напряженности электрического поля могут достигать 15 В/м на расстоянии 1 км от передатчика мощностью 1 МВт . В России в настоящее время проблема оценки уровня ЭМП телевизионных передатчиков особенно актуальна в связи с ростом числа телевизионных каналов и передающих станций за последнее время.

Системы сотовой связи. Интенсивное развитие подвижных систем радиосвязи, в том числе сотовых радиотелефонов, приводит к значительному увеличению уровней электромагнитных полей и неблагоприятному воздействию, которому подвергается все большее количество населения. За последние 15 лет количество абонентов увеличилось от нескольких тысяч до $1,3 \text{ млрд}$. Для огромного числа людей сотовый телефон стал незаменимым как в личной жизни, так и в вопросах, связанных с профессиональной деятельностью.

Сотовые сети стандарта (GSM в России появились более 10 лет назад и сегодня заняли доминирующее положение на рынке сотовой связи. В последние годы по динамике наращивания абонентской базы сотовых сетей Россия вышла на первое место в мире, а по итогам 2006 года заняла второе место в мире по числу новых сотовых абонентов ($17,5 \text{ млн}$), уступив лишь Китаю. Сегодня в российских сетях сотовой связи насчитывается более 60 млн абонентов, что заметно превышает число абонентов телефонной сети общего пользования. Сотовые сети в России продолжают интенсивно развиваться.

Сотовая сеть состоит из сети базовых станций и ручных персональных радиотелефонов. Базовые станции расположены на расстоянии от 1 до 40 км друг от друга, образуя между собой посредством радиорелейной связи так называемые соты. Базовые станции обеспечивают связь с персональными ручными радиотелефонами на частотах от 453 до 1880 МГц . Частота и вид модуляции зависят от типа систем сотовой связи. Основные системы в России: NMT-450, AMPS, D-AMPS, GSM. Мощность передатчиков базовых станций находится в диапазоне от $0,125$ до 100 Вт . Краткие технические характеристики систем сотовой радиосвязи приведены в таблице 1.10.

Антенны базовых станций устанавливаются на высоте $15-100 \text{ м}$ от поверхности на уже существующих постройках (общественных, служебных, производственных и жилых зданиях) или на специально сооруженных мачтах. В случаях, когда антенна базовой станции установлена на жилом доме, необходим обязательный контроль электромагнитной обстановки.

Типичные уровни излучения базовых станций приведены в таблице 1.11. Антенны базовых станций имеют переменный график излучения, определяемый нагрузкой, т.е. количеством работающих телефонов. Мощность излучения телефона также изменяется и зависит от состояния канала связи «телефон – базовая станция». Наибольшие излучения в режиме «поиск сети».

Антенна сотового телефона располагается на расстоянии 2-5 см от головы человека, находясь, таким образом, в ближней зоне, где не сформировалась электромагнитная волна.

Таблица 1.10

Краткие технические характеристики систем сотовой радиосвязи, действующей в России

Наименование стандарта	Диапазон базовой станции, МГц	Диапазон мобильного телефона, МГц	Максимальная мощность базовой станции, Вт	Максимальная мощность мобильного телефона, Вт	Радиус соты, км
NMT-450 аналоговый	463-467,5	453-457,5	100	1,0	1-40
AMPS аналоговый	869-894	824-849	100	0,6	2-20
D-AMPS цифровой	869-894	824-849	50	0,2	0,5-20
CDMA цифровой	869-894	824-849	100	0,6	2-40
GSM-900 цифровой	925-965	890-915	40	0,25	0,5-35
GSM-1800 цифровой	1805-1880	1710-1785	20	0,125	0,5-35

Таблица 1.11

Максимальные значения напряженности поля базовых станций

Система	Выходная мощность, Вт	Число каналов	Напряженность электрического поля E, В/м	Напряженность магнитного поля H, А/м
NACS (Великобритания)	20	40	53	0,14
GSM	40	10	38	0,1
DCS-1800	20	10	27	0,07

В связи с этим методы прямого измерения излучения сотового телефона постоянно совершенствуются. Кроме того существует ряд расчетных методов оценки, в том числе и поглощенной дозы, а также напряженности поля в голове человека.

Системы спутниковой связи состоят из приемо-передающей станции, находящейся на Земле, и спутника, находящегося, как правило, на

геостационарной орбите. Диаграмма направленности антенны станций спутниковой связи имеет ярко выраженный узконаправленный основной луч – главный лепесток. В настоящее время станции спутниковой связи получили большое распространение.

Значения плотности потока энергии (ППЭ) в главном лепестке диаграммы направленности могут достигать значений нескольких сотен $Вт/м^2$ вблизи антенны, создавая также значительные уровни ППЭ и на большом удалении. Например, станция мощностью $225 кВт$, работающая на частоте $2,38 ГГц$, создает на расстоянии $100 км$ $ППЭ = 2,8 Вт/м^2$. Однако рассеяние энергии от основного луча очень невелико и большая часть энергии рассеивается в районе установки антенны. Таким образом, возможно два опасных случая облучения: непосредственно в районе антенны и при приближении к оси главного луча на всем его протяжении.

Радиорелейная связь также использует узконаправленные диаграммы излучения в системах телекоммуникаций и связи. Эти системы имеют относительно невысокую мощность ($10-30 Вт$) с диапазоном частот от 5 до $40 ГГц$. Величины плотности потока энергии могут достигать $4-7 Вт/м^2$ в районе размещения антенны.

Радиолокационные станции. Радиолокационные станции оснащены, как правило, антеннами зеркального типа и имеют узконаправленную диаграмму излучения в виде луча, направленного вдоль оптической оси. Радиолокационные системы обычно работают на частотах от $500 МГц$ до $100 ГГц$. Создаваемый ими сигнал принципиально отличается от излучения иных источников. Связано это с тем, что периодическое перемещение антенны в пространстве приводит к пространственной прерывистости облучения. Временная прерывистость облучения обусловлена цикличностью работы радиолокатора на излучение. Время наработки в различных режимах работы радиотехнических средств может исчисляться от нескольких часов до суток. Так, у метеорологических радиолокаторов с временной прерывистостью $30 мин.$ – излучение, $30 мин.$ – пауза, суммарная наработка не превышает $12 ч$, в то время как радиолокационные станции аэропортов в большинстве случаев работают круглосуточно. Ширина диаграммы направленности в горизонтальной плоскости обычно составляет несколько градусов, а время облучения за период обзора составляет десятки миллисекунд.

Радары метеорологические могут создавать на удалении $1 км$ ППЭ порядка $100 Вт/м^2$ каждый цикл облучения. Радиолокационные станции аэропортов создают ППЭ порядка $0,5 Вт/м^2$ на расстоянии $60 м$. Морское радиолокационное оборудование устанавливается на всех кораблях. Обычно они имеют мощность передатчика на порядок меньшую, чем у аэродромных радаров, поэтому в обычном режиме сканирования ППЭ, создаваемая на расстоянии нескольких метров, не превышает $10 Вт/м^2$.

1.5. Классификация электромагнитных помех

В качестве электромагнитной помехи, проявляющейся в ухудшении рабочих показателей технических средств, вызванном электромагнитным возмущением, может фигурировать практически любое электромагнитное явление в широком диапазоне частот.

В общем случае техническое средство (электронные системы, электроэнергетические объекты, электрические приборы, радиоэлектронная аппаратура и пр.) предназначено для того, чтобы при определенных условиях эксплуатации в течение срока его использования реализовывать требуемую функцию. При этом, с одной стороны, эти устройства постоянно подвергаются электрическим и неэлектрическим воздействиям, и, с другой стороны, сами оказывают электрические и неэлектрические воздействия на окружающую среду.

Негативное проявление помехи наблюдается только при взаимодействии с приемником помех (рецептором помех). Источники и приемники помех могут иметь различные механизмы связи, т.е. характеризоваться различными физическими принципами передачи энергии электромагнитных процессов от источника к приемнику помех. Общее представление о принципиально возможных механизмах связи источников и приемников помех приведено на рисунке 1.1.

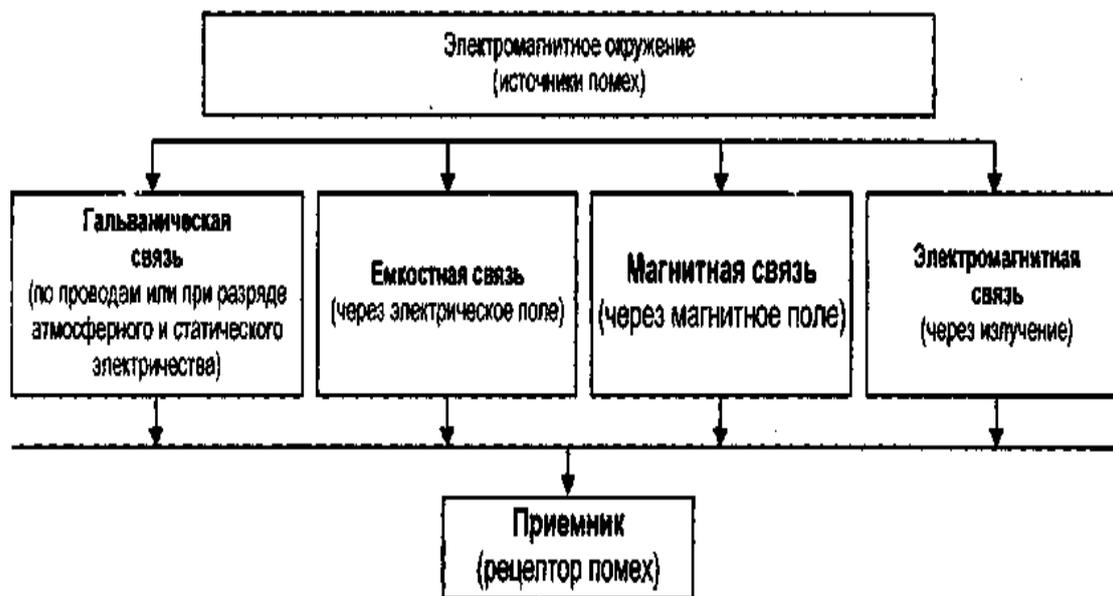


Рис. 1.1. Механизмы связи источников и приемников помех

Гальваническая связь реализуется через ток или напряжение. Емкостная и магнитная связи осуществляются посредством электрического или магнитного поля, которые независимы друг от друга. Связь посредством излучения осуществляется в случае, когда приемник находится в «дальней зоне», а составляющие электромагнитного поля (электрическое и магнитное) связаны между собой и оказывают взаимное влияние друг на друга.

Помимо механизмов связи различают также пути связи. Электромагнитные помехи могут проникать в устройство или, наоборот, передаваться в окружающую среду различными путями:

- в виде гальванической связи через сеть электроснабжения, информационные входы и выходы, через систему заземления, через разряды атмосферного или статического электричества, так называемые кондуктивные помехи;

- в виде емкостной (электрической), индуктивной (магнитной) связей через соответствующие поля в окружающем пространстве, так называемые индуктивные помехи.

В зависимости от источника электромагнитные помехи можно разделить на *естественные* и *искусственные*. Наиболее распространенными естественными электромагнитными помехами являются электромагнитные импульсы при ударе молнии. Искусственные помехи можно разделить на *создаваемые функциональными источниками* и *создаваемые нефункциональными источниками*. Функциональным источником помех будем называть источник, если для него самого создаваемая электромагнитная помеха является полезным сигналом. К таким источникам относятся, прежде всего, передающие устройства радиосвязи, а также аппаратура, использующая цепи питания для передачи информации. Нефункциональными будем называть источники, которые создают электромагнитные помехи в качестве побочного эффекта в процессе работы. К ним можно отнести любые проводные коммуникации, создающие электромагнитные поля, коммутационные устройства, импульсные блоки питания аппаратуры и т.п. Электростатический разряд с тела человека также может рассматриваться как создаваемые нефункциональным источником электромагнитные помехи. Принципиальное различие между функциональными и нефункциональными источниками состоит в том, что для нефункциональных уровень электромагнитных помех часто можно снизить путем пересмотра конструкции источника, в то время как для функциональных электромагнитных помех такой путь обычно исключается.

Классификация электромагнитных помех приведена на рисунке 1.2.

Условность деления помех на индуктивные и кондуктивные наглядно проявляется, например, в ходе анализа пути проникновения высокочастотных помех внутрь электронной аппаратуры. Часто выясняется, что реальный путь проникновения помехи представляет собой комбинацию металлических проводников и «дорожек» на платах аппаратуры («кондуктивные» участки) и паразитных емкостных и индуктивных связей («индуктивные» участки). В результате помеха достигает высокочувствительных цифровых контуров аппаратуры, минуя защитные элементы типа фильтров и варисторов, установленные в расчете на чисто кондуктивный характер помехи.

Деление помех на индуктивные и кондуктивные можно считать относительно строгим лишь в низкочастотной (до десятков килогерц) области, когда емкостные и индуктивные связи обычно малы.

По степени влияния на технические средства электромагнитные помехи можно разделить на следующие виды помех:

1. *Помеха допустимая* – наблюдаемая или прогнозируемая помеха, удовлетворяющая количественным критериям помехи и критериям совместного использования частот.



Рис. 1.2. Классификация электромагнитных помех в зависимости от источника помех и среды распространения

2. *Помеха опасная (вредная)* – помеха, которая мешает действию радионавигационной службы или других служб безопасности или существенно ухудшает качество, затрудняет или неоднократно прерывает работу службы радиосвязи.

3. *Помеха приемлемая* – помеха с более высоким уровнем, чем та, которая определяется как допустимая, и которая согласована между двумя или несколькими администрациями без ущерба для других администраций.

Следующие два способа классификации помех основываются на их спектральных характеристиках. Во-первых, электромагнитные излучения делят на периодические, непериодические и шумы. Периодические и непериодические помехи – на *узкополосные* и *широкополосные*. Шумы характеризуются широкополосными помехами. Несмотря на значительное разнообразие вариантов помех по спектральным характеристикам, можно выделить наиболее характерные типы (рис. 1.3).

К узкополосным помехам обычно относят помехи от систем связи на несущей частоте, систем питания переменным током и т.п. Их отличительной особенностью является то, что характер изменения помехи во времени является синусоидальным или близок к нему.

Широкополосные помехи имеют существенно несинусоидальный характер и обычно проявляются в виде либо отдельных импульсов, либо их последовательности. Для периодических широкополосных сигналов спектр состоит из большого набора пиков на частотах, кратных частоте основного сигнала. Для аperiodических помех спектр является непрерывным и описывается спектральной плотностью.

Другой спектральной характеристикой является область частот, в которой лежит основная часть спектра помехи. Условно принято делить все помехи на *низкочастотные* и *высокочастотные*. К первым обычно относят помехи в диапазоне 0-9 кГц. В большинстве случаев они создаются силовыми электроустановками и линиями. Высокочастотные узкополосные помехи (с частотой выше 9 кГц) обычно создаются различными системами связи. Высокочастотными являются все распространенные типы импульсных помех. Иногда также вводят понятия *радиочастотной помехи* (диапазон – от 150 кГц до 1-2 ГГц) и *СВЧ-помехи* (порядка нескольких гигагерц).

Для определения электромагнитной обстановки все электромагнитные помехи, вызываемые электромагнитными возмущениями, делятся на три основные категории:

- низкочастотные ЭМП (кондуктивные и излучаемые), вызываемые любым источником, кроме электростатических разрядов;

- высокочастотные ЭМП (кондуктивные и излучаемые), вызываемые любым источником, кроме электростатических разрядов;

- электростатические разряды.

В каждой категории рассматриваются следующие виды электромагнитных помех. **Кондуктивные низкочастотные** электромагнитные помехи:

- гармоники и интергармоники напряжения электропитания;

- напряжения сигналов, преднамеренно передаваемых по системам электропитания;

- колебания напряжения электропитания:

- провалы и кратковременные прерывания напряжения электропитания;

- несимметрия напряжений в трехфазных системах электроснабжения;

- изменения частоты питающего напряжения;

- наведенные низкочастотные напряжения;

постоянные составляющие в сетях электропитания переменного тока.

- **Индуктивные низкочастотные** электромагнитные помехи:

- магнитные поля;

- электрические поля.

Кондуктивные высокочастотные электромагнитные помехи:

- наведенные напряжения или токи непрерывных колебаний;

- аperiodические переходные процессы;

- колебательные переходные процессы.

- **Индуктивные высокочастотные** электромагнитные помехи:

- магнитные поля;

- электрические поля;

- электромагнитные поля, в том числе вызываемые непрерывными колебаниями и переходными процессами;

- электростатические разряды.

Обобщенная классификация электромагнитных помех приведена на рис. 1.4.

Периодические		Непериодические		Шумы
Узкополосные	Широкополосные	Узкополосные	Широкополосные	Широкополосные
Временная область				
Частотная область				
Спектральные амплитуды		Спектральные плотности амплитуд		
Радиопередатчики, высокочастотные генераторы, сеть частотой 50 Гц	Тактовые импульсы ПЭВМ, тиристорные выпрямители, искра зажигания автомобиля	Коммутации в сетях электропитания, разряды статического электричества, короткие замыкания	Грозовые разряды, разряды статического электричества	Космический шум, совместное действие искр зажигания автомобилей на перекрестке, корона воздушных линий

Рис. 1.3. Классификация электромагнитных помех по спектральным характеристикам



Рис. 1.4. Обобщенная классификация электромагнитных помех

1.6. Индуктивные (излучаемые) электромагнитные помехи

Как уже было сказано ранее, индуктивными называют электромагнитные помехи, распространяющиеся в виде электромагнитных полей в непроводящих средах.

Индуктивные электромагнитные помехи делятся на низкочастотные излучаемые электромагнитные помехи (магнитные поля и электрические поля) и высокочастотные излучаемые электромагнитные помехи (электромагнитные поля), в том числе вызываемые непрерывными колебаниями и апериодическими процессами.

Работа любых силовых электроустановок сопровождается образованием электрических и магнитных полей, частоты которых определяются промышленной частотой 50 Гц и ее гармониками. Нужно учитывать, что, поскольку длина волны на этих частотах велика, аппаратура и ее кабели всегда оказываются в ближней зоне, где электрическое и магнитное поля непосредственно не связаны друг с другом.

Обычно опасность представляют наводки промышленной частоты в информационных кабелях. Хотя коэффициент взаимной индукции обычно мал вследствие малости частоты, высокая напряженность электрического и магнитного полей на энергообъектах обеспечивает значительный уровень наводок.

Влияние низкочастотных наводок в кабелях на подключенную к ним аппаратуру аналогично влиянию аварийных потенциалов на элементах заземляющего устройства. Нередко происходит совместное влияние этих двух факторов, что значительно увеличивает уровень помех на входе аппаратуры.

Непосредственное воздействие низкочастотных электрических и магнитных полей на аппаратуру сравнительно редко приводит к ее отказу или сбою вследствие малости коэффициентов индуктивной связи и, следовательно, малости величин ЭДС, наводимых во внутренних цепях аппаратуры. Исключением являются, пожалуй, лишь средства отображения информации на основе электронно-лучевой трубки, в первую очередь – мониторы компьютеров. Воздействие значительных магнитных полей часто полностью искажает изображение на мониторе, причем искажения сохраняются еще некоторое время после исчезновения породившего их воздействия (за счет остаточной намагниченности элементов конструкции).

Уровни электрических и магнитных полей промышленной частоты существенно зависят от режима работы силового электрооборудования. Особенно высокий уровень магнитных полей наблюдается при коротких замыканиях по схеме «фаза - земля». Это объясняется как большой величиной протекающих токов, так и значительной степенью несимметрии схемы. Действительно, при протекании даже значительных токов по симметричной схеме (при нормальной работе электрооборудования или при коротком замыкании «фаза - фаза» или «фаза - ноль») поля, создаваемые токами в соседних проводах, векторно складываются. Поскольку эти токи текут в противоположных направлениях, векторная сумма полей от них оказывается

соответственно мала. При этом она будет тем меньше, чем меньше расстояние между проводами.

1.7. Кондуктивные электромагнитные помехи

Кондуктивные помехи распространяются непосредственно по электрической сети при протекании тока.

Типичным для проявления нарушений функционирования является случайная картина их появлений: моментов поступления, продолжительности, формы проявления, степени повторяемости и интенсивности. Как и помехи, они точно не определены и не предсказуемы. Это объясняется, с одной стороны, разнообразием механизмов появления помех, с другой – статистическим характером помехоустойчивости большинства средств автоматизации. Например, поступающие из сети помехи (перенапряжения, провалы, выбросы напряжения) имеют случайный характер, так как зависят от коммутаций, аварий, разрядов атмосферного электричества.

Причинами появления кондуктивных помех в системе, т.е. взаимного влияния приборов или конструктивных элементов, являются:

- напряжение питания с частотой 50 Гц;
- сигналы в проводах управления или линиях передачи данных;
- высокочастотные и низкочастотные тактовые сигналы;
- коммутационные процессы в индуктивностях, например в герконах на печатных платах;
- искровые разряды при замыкании и размыкании контактов.

Кондуктивные помехи в цепях, имеющих более одного проводника, принято также делить на помехи «провод - земля» (синфазные помехи) и «провод - провод» (противофазные помехи).

Синфазные помехи обусловлены разностью потенциалов в цепях заземления устройств. Эти помехи могут быть вызваны токами в земле (аварийные токи или токи молнии) или магнитными полями. Синфазные помехи не вызывают мешающих напряжений на приемнике, но воздействуют на изоляцию проводов относительно земли и могут вызвать пробой изоляции.

Противофазные помехи возникают через гальванические связи, посредством передачи электромагнитным полем, или вследствие преобразования синфазной помехи в противофазную. Противофазные помехи суммируются с полезным сигналом и могут вызывать ошибочное функционирование систем, кроме того эти помехи также воздействуют на линейную изоляцию между проводами.

Реальные помехи обычно представляют собой комбинацию синфазных и противофазных помех.

1.8. Электромагнитные помехи электрифицированного железнодорожного транспорта

Электрифицированный железнодорожный транспорт характеризуется широким спектром электромагнитных помех. Необходимо разграничить электромагнитные влияния электротехнических устройств друг на друга и влияния отдельных цепей или устройств на другие цепи или устройства, т.е. внешние и взаимные влияния. *Внешние влияния* – это влияния на низковольтные цепи со стороны высоковольтных (или сильноточных) цепей, а *взаимные* – влияния от соседних цепей одной или однотипной линии. Так, внешними будут влияния со стороны тяговой сети на линии связи, а взаимными – влияния друг на друга разных пар многопроводной линии связи.

По механизму влияния различают следующие виды:

1. *Электрическое влияние*, появляющееся за счет электрического поля контактной сети или, по-другому, за счет емкостной связи между линиями.

Это напряжение не зависит от длины системы, если смежная линия находится полностью в зоне влияния. Наличие утечки по изоляции смежной линии приводит к тому, что при строго постоянном напряжении влияющей линии электрическое влияние отсутствует. Система электрической тяги постоянного тока в нормальном режиме оказывает влияние на смежные линии только из-за пульсаций выпрямленного напряжения.

2. *Магнитное влияние*, обусловленное наведением ЭДС в замкнутых контурах при пересечении их переменным магнитным полем. Ток, протекающий в контактной сети, создает магнитное поле в окружающем пространстве. В контуре смежный провод - земля переменным магнитным полем наводится ЭДС.

В этом случае можно говорить о существовании воздушного трансформатора, первичная обмотка которого образована контактной сетью и землей, а вторичная обмотка – это контур смежная линия - земля. Наибольшее магнитное влияние создается контактной сетью при системе 1x25 кВ. При электротяге постоянного тока магнитное влияние обусловлено только пульсациями тока в контактной сети, а строго постоянный ток создает постоянное магнитное поле, от которого ЭДС не возникает. Система тяги 2x25 кВ занимает промежуточное положение по степени опасности.

3. *Гальваническое влияние*, возникающее за счет токов, протекающих в земле, на объекты, имеющие заземления.

Влияющие линии могут быть разделены на четыре основные группы:

- тяговые линии;
- линии, расположенные на опорах контактной сети;
- трехфазные линии внешнего электроснабжения;
- разрядный ток молний.

Наиболее важной группой влияющих линий с профессиональной точки зрения являются провода тяговой сети и линии, расположенные на опорах контактной сети. Наибольшее влияние оказывает тяговая сеть переменного тока

1x25 кВ, являющаяся полностью несимметричной цепью и характеризуемая токами в сотни ампер. Влияние тяговой сети 2x25 кВ в несколько раз меньше, а тяговая сеть постоянного тока оказывает влияние только из-за пульсаций выпрямленного напряжения.

Из *линий, расположенных на опорах контактной сети* или на отдельных опорах, значительное влияние оказывают линии систем два провода - рельс (ДПР) и провод - рельс (ПР). У этих линий рабочее напряжение такое же, как и напряжение контактной сети, однако протекающие токи значительно меньше, соответственно меньше и магнитное влияние этих линий.

Значительное влияние могут оказывать *трехфазные линии внешнего электроснабжения* ввиду больших напряжений и токов. Практически влияние этих линий сказывается редко из-за большого расстояния до этих линий и более-менее симметричного режима в них.

Из природных факторов немало неприятностей приносят *разряды молнии*, которые вызывают появление больших импульсных напряжений и токов.

Таким образом, тяговая сеть электрифицированной железной дороги оказывает электрическое, магнитное и гальваническое влияния на смежные линии. Электрическое влияние обусловлено емкостными связями между контактной сетью и смежным проводом, магнитное влияние возникает из-за переменного магнитного поля, создаваемого током контактной сети, а гальваническому влиянию подвержены цепи, имеющие заземления.

1.9. Влияние электромагнитных помех на аппаратуру

Влияние электромагнитных помех на аппаратуру бывает разнообразным – от непредсказуемых временных ухудшений характеристик канала передачи информации, сбоев цифровой техники и искажения изображения на экранах мониторов до физического повреждения и даже возгорания аппаратуры и ее кабелей. Иногда при анализе той или иной неисправности очень сложно обнаружить, что ее источником являются проблемы электромагнитной совместимости.

Рассмотрим физические механизмы влияния электромагнитных помех на аппаратуру. Условно можно выделить следующие основные сценарии электромагнитного воздействия на аппаратуру:

1. Искажение сигналов во внешних информационных цепях.
2. Искажение сигналов в антенных цепях.
3. Попадание помех на входы питания аппаратуры.
4. Протекание токов помех по металлическим корпусам аппаратуры и экранам кабелей.
5. Непосредственное воздействие внешних полей на внутренние цепи аппаратуры.

1. *Искажение сигналов во внешних информационных цепях.* Можно выделить две основных причины возникновения электромагнитных помех в информационных цепях:

- действие индуктивных ЭМП, наводящих индуктивные помехи в информационных цепях;

- наличие гальванической связи между подверженной влиянию цепью и источником внешних помех – кондуктивный механизм.

В качестве такой гальванической связи очень часто выступает общее для различных устройств сопротивление заземления: потенциал, созданный падением напряжения на сопротивлении заземления, оказывается приложенным к корпусу аппаратуры и через сопротивления между входными цепями этой аппаратуры и корпусом прикладывается к информационным цепям.

Помехи, появившись в проводных коммуникациях, достигают входов аппаратуры. Далее механизм воздействия помех зависит от их частот. Особенно опасны составляющие спектра помех, лежащие в той же полосе частот, что и рабочие сигналы. Обычно такие составляющие беспрепятственно минуют входные фильтры и далее обрабатываются так же, как если бы они были полезными сигналами. В результате повышается число ошибок в канале передачи информации.

Сравнительно низкочастотные (до 10-20 МГц) составляющие помех, лежащие вне рабочей полосы частот канала связи, обычно воздействуют на ближайшие к входам схемные элементы. В этом случае основной угрозой является возможность физического повреждения этих элементов. Обычно это бывает, если амплитуда помехи значительно превышает ту, на которую защитные элементы были рассчитаны.

Высокочастотные составляющие спектра помехи вне рабочей полосы частот отличаются тем, что из-за наличия паразитных индуктивных и емкостных связей оказываются способными «обходить» защитные элементы и проникать глубоко внутрь аппаратуры. Особенно опасно их воздействие на элементы внутренних цифровых схем аппаратуры. Поскольку обмен данными по внутренним системным шинам часто производится без использования протоколов с обнаружением и коррекцией ошибок, искажение только одного бита информации уже способно полностью заблокировать работу системы.

2. *Искажение сигналов в антенных цепях.* Относится к радиоаппаратуре. Электромагнитное поле помехи индуцирует в антенных цепях ЭДС помехи. Обычно амплитуды помех, наводимых таким образом, малы для того, чтобы повредить входные фильтры аппаратуры. Поэтому основную угрозу для приема представляют помехи, значительная часть спектра которых лежит в рабочей полосе частот радиоаппаратуры.

3. *Попадание помех на входы питания аппаратуры.* Существует множество механизмов возникновения помех в цепях питания аппаратуры. Это связано с тем, что обычно сеть питания имеет большую протяженность и объединяет самых разных потребителей.

Среди низкочастотных помех наибольшую опасность представляют перенапряжения при авариях электропитания. К временной потере работоспособности аппаратуры также приводят полные отключения питания на длительное время. Отказы хорошо спроектированной аппаратуры по причине появления других низкочастотных (до нескольких сотен герц) помех в цепях

питания случаются относительно редко. Такая устойчивость объясняется тем, что современные блоки питания аппаратуры обычно представляют собой систему автоматического регулирования (САР), способную поддерживать заданное значение напряжения на выходе даже в случае значительного отклонения формы кривой напряжения на входе от номинальной.

При сдвиге спектра частот помехи в высокочастотную область ее опасность обычно возрастает. Для частот до нескольких десятков мегагерц это объясняется двумя факторами.

Во-первых, импульсные помехи даже сравнительно небольшой энергии могут иметь значительную амплитуду по напряжению.

Таким образом, при меньшей длительности импульс той же энергии может иметь большую амплитуду. Большие значения пикового напряжения импульса могут приводить к пробое элементов блока питания, не рассчитанных на слишком высокое напряжение. Возникающая при пробое дуга может сохраняться и после окончания импульса, поддерживаемая за счет обычного напряжения питания.

Второй фактор, обуславливающий повышение опасности помех в цепях питания с ростом их частоты, – динамические характеристики самого блока питания. Выше уже отмечалось, что современные блоки питания имеют структуру систем автоматического регулирования (САР), причем с нелинейными элементами. Обычно такая система проектируется в расчете на относительно низкочастотные возмущения на входе. Попадание на вход высокочастотных помех может вызвать нежелательную реакцию системы (резонансные эффекты, автоколебания и т.п.). В результате стабильность напряжения на выходе блока питания может нарушиться, что вызовет отказ аппаратуры.

С дальнейшим ростом частоты помехи (от десятков мегагерц до гигагерц) большое значение начинают играть паразитные емкостные и индуктивные связи. В результате составляющие помехи могут, в обход установленных защитных элементов, проникнуть вглубь аппаратуры и нарушить работу ее цифровых узлов.

4. Протекание токов помех по металлическим корпусам аппаратуры и экранам кабелей. Источников таких помех может быть множество. Заземленные металлические корпуса и шасси аппаратуры, а также экраны кабелей образуют часть пути стекания в землю токов помех. Внешние электромагнитные поля также наводят токи помех в экранирующих корпусах аппаратуры и экранах кабелей. При электростатическом разряде с тела человека также происходит протекание тока по металлическим конструкциям аппаратуры.

Опасность со стороны протекающих по металлическим частям шасси аппаратуры и экранам кабелей токов возрастает с ростом частоты.

5. Непосредственное воздействие внешних полей на внутренние цепи аппаратуры. Такая ситуация обычно имеет место при отсутствии у аппаратуры экранирующего корпуса, либо когда экранирующие свойства такого корпуса недостаточны. При этом по закону электромагнитной индукции во внутренних контурах аппаратуры наводится ЭДС помехи. Если эта ЭДС помехи

достаточно велика, возможно нарушение функционирования аппаратуры. Поскольку коэффициенты индуктивной связи пропорциональны частоте, особенно высокую опасность представляют высокочастотные поля. Принято считать, что относительно низкочастотные поля (не более 80 МГц) воздействуют в основном не на саму аппаратуру, а на ее проводные коммуникации.

Глава 2. ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ЧЕЛОВЕКА

2.1. Биофизика взаимодействия электромагнитных излучений и человека

Термин «глобальное электромагнитное загрязнение окружающей среды» официально введен в 1995 году Всемирной организацией здравоохранения (ВОЗ), включившей эту проблему в перечень приоритетных для человечества.

Живые организмы в процессе эволюции приспособились к определенному уровню ЭМП, однако резкое значительное повышение (в историческом аспекте) уровня ЭМП вызывает напряжение адаптационно-компенсаторных возможностей организма, долговременное действие этого фактора может привести к их истощению, что повлечет необратимые последствия на системном уровне.

В связи с увеличением числа источников ЭМП возрастает опасность их воздействия на человека. Домашняя электросеть, бытовые электроприборы, видеодисплейные терминалы, линии электропередач, телевизионные и радиосредства связи и информации, радиолокационные и навигационные станции - это только часть перечня источников, которые излучают ЭМП самой различной частоты, модуляции и интенсивности. Большинство населения фактически живет в весьма сложном ЭМП, которое становится все труднее и труднее характеризовать, а его интенсивность в миллионы раз превосходит уровень естественного магнитного поля.

Электромагнитные излучения существенно влияют на развитие патологических реакций организма, что определяется следующими факторами:

- объем поглощенной энергии;
- длительность воздействия;
- возраст человека и состояние его здоровья;
- факторы внешней среды;
- область облучения (например, в случае с сотовым телефоном это прежде всего головной мозг и периферические рецепторы вестибулярного, зрительного и слухового анализатора).

Электромагнитные излучения характеризуются весьма сложной структурой (электрические, магнитные, электромагнитные), кроме того излучение происходит в большом диапазоне частот, интенсивностей и др.

Определяющими в оценке опасности воздействия ЭМП на организм человека являются не только время воздействия и интенсивность, но и модуляция электромагнитных излучений.

Проблема электромагнитного загрязнения усложняется существованием взаимодействия естественного электромагнитного поля и антропогенного загрязнения. Парадокс заключается в том, что природные электромагнитные поля - фактор существования жизни на Земле, а вызванное деятельностью человека искусственное электромагнитное загрязнение, интенсивность которого превышает естественный фон, угрожает живым организмам и растениям.

При взаимодействии электромагнитных излучений с биологическими объектами лишь часть энергии поглощается и вызывает негативные последствия.

Воздействие ЭМП на биоткань вызывает поляризацию, что приводит к возникновению ионных токов, которые протекают только по межклеточной жидкости, так как мембраны клеток – диэлектрики.

При частоте менее 10 кГц период электромагнитных колебаний достаточно высок и клеточные мембраны успевают перезарядиться за счет ионов внутри и вне клетки (двойной электрический слой). Это объясняет наличие удельной ионной проводимости для тканей с высоким содержанием воды. При этом полный заряд и диэлектрическая проницаемость ткани за период колебаний достаточно велики. Последующий рост удельной проводимости происходит вследствие снижения емкостного сопротивления мембран с увеличением частоты. Неполная перезарядка изолированных мембран вовлекает внутриклеточную жидкость в процесс образования ионных токов, проводимость ткани при этом плавно возрастает, а ее диэлектрическая проницаемость падает.

Лавинное вовлечение внутриклеточной среды в процесс образования ионных токов на частотах $10\text{-}100 \text{ кГц}$ вызывает резкий рост удельной проводимости. Кроме того, поляризация молекул тканей, в основном молекул воды, приводит к возникновению токов смещения, увеличивающих токи в тканях при тех же амплитудах напряженности электрического поля, т.е. падает их удельное сопротивление.

При частотах $100 \text{ кГц} - 10 \text{ МГц}$ мембраны практически не перезаряжаются, а емкостное сопротивление тканей падает. Содержимое клеток все активнее включается в процесс образования ионных токов, т.е. проводимость ткани продолжает возрастать, а ее диэлектрическая проницаемость падает. При этом значительно возрастает поляризация молекул и наблюдается увеличение токов смещения.

При частотах выше 10 МГц емкостное сопротивление достаточно мало и клетку можно считать короткозамкнутой. Поляризация молекул и токи смещения становятся доминирующими. Возбужденные молекулы приходят в колебательное движение, сталкиваются с псевдовозбужденными молекулами и передают им свою энергию, что проявляется в виде нагрева тканей и в различных химических преобразованиях.

В это время проводимость резко возрастает, а диэлектрическая проницаемость остается практически неизменной.

ЭМП наиболее интенсивно воздействуют на органы с большим содержанием воды. Перегрев же особенно вреден для тканей со слабо развитой сосудистой системой или с недостаточным кровообращением (почки, мозг), так как кровеносную систему можно уподобить системе водяного охлаждения. Облучение глаз вызывает помутнение хрусталика, которое проявляется достаточно быстро (через несколько дней или недель после облучения).

Интенсивное электромагнитное поле промышленной частоты вызывает нарушение функционального состояния центральной нервной и сердечно-сосудистой системы. При этом наблюдается повышенная утомляемость, снижение точности движений, изменение кровяного давления и пульса, возникновение болей в сердце, сопровождающихся сердцебиением и аритмией, и т.п. Особого внимания требуют оценки возможного развития у населения отдельных последствий после длительного контакта с ЭМП: развитие рака (включая лейкемию), болезней, связанных прежде всего с деградацией нервных клеток.

Наиболее ранними клиническими проявлениями последствий воздействия электромагнитных излучений на человека являются функциональные нарушения со стороны нервной системы, проявляющиеся прежде всего в виде вегетативных дисфункций неврастенического и астенического синдрома. Лица, длительное время находившиеся в зоне воздействия ЭМП, отмечают слабость, раздражительность, быструю утомляемость, ослабление памяти, нарушение сна. Нередко к этим симптомам присоединяются расстройства вегетативных функций. Нарушения со стороны сердечно-сосудистой системы проявляются, как правило, нейроциркуляторной дистонией: лабильность пульса и артериального давления, склонность к гипотонии, боли в области сердца и др.

За последние годы в России резко увеличивается использование средств персональной беспроводной коммуникации: ручные радиостанции разного типа, сотовая связь. Широкое использование сотовых телефонов, электромагнитные излучения которых воздействуют на головной мозг и ряд периферических рецепторов, выдвигает необходимость проведения комплексных медико-гигиенических исследований и разработку мер по снижению этого воздействия.

Расчёты французских ученых показали, что на уровне жизненно важного образования мозга - гипоталамуса - поглощенная энергия электрического поля, излучаемая сотовым телефоном, будет соответствовать напряженности 20-30 В/м, при этом следует учитывать, что на пути ЭМП лежат ближе к телефонному аппарату такие образования, как рецепторы слухового и вестибулярного аппарата, сетчатка глаза. В этой ситуации существующие в России нормы для сотовых телефонов, равные 100 мкВт/см^2 , вызывают обеспокоенность специалистов, так как имеется достаточно большое число экспериментальных работ, в которых получены неблагоприятные эффекты при меньших энергиях и в условиях кратковременных воздействий.

Все бытовые приборы, работающие с использованием электрического тока, также являются источниками электромагнитных полей. Наиболее мощными следует признать СВЧ-печи, аэрогрили, холодильники с системой «No frost», кухонные вытяжки, электроплиты, телевизоры. Реально создаваемое ЭМП в зависимости от конкретной модели и режима работы может сильно различаться среди оборудования одного типа.

Опасность воздействия ЭМП на организм может усугубляться в случаях:

- использования сложных режимов генерации ЭМП;
- при воздействии на людей, страдающих аллергическими заболеваниями или имеющих генетическую склонность к развитию опухоли;
- при облучении организмов в период эмбриогенеза и в детском возрасте;
- при совместном действии ЭМП и других факторов внешней среды обитания человека.

Таким образом, воздействие электромагнитных полей вредно для человека. Данные биофизических исследований позволяют сделать вывод, что основные патологические изменения возникают при непрерывном длительном облучении полем с плотностью мощности $1-10 \text{ мВт/см}^2$ и более.

Некоторые данные о воздействии ЭМП на организм человека с учетом интенсивности излучения представлены в таблице 2.1.

Однако механизм воздействия неионизирующих электромагнитных излучений изучен недостаточно глубоко, поэтому, сопоставляя опасность для населения облучения ионизирующим и неионизирующим электромагнитным излучением, можно утверждать, что воздействие ЭМП является потенциально даже более опасным, чем радиационные аварии, по следующим причинам:

- ЭМП воздействует практически на все население, включая детей, подростков, женщин.
- уровень ЭМП загрязнений непрерывно растет.
- практически полностью отсутствует контроль над этим облучением и не разрабатываются защитные и профилактические мероприятия для всего населения.

Таблица 2.1

Возможные изменения в организме человека под влиянием электромагнитных излучений различной интенсивности

Плотность потока энергии (ППЭ), $\mu\text{Вт}/\text{см}^2$	Возможные изменения в организме
500-800	Болевое ощущение при облучении
200	Угнетение окислительно-восстановительных процессов в тканях
100	При включении – повышение кровяного давления с последующим резким спадом; при длительном воздействии – стойкая гипотония, двухсторонняя катаракта
40	Ощущение тепла; расширение сосудов; при облучении более 0,5 часа – повышение кровяного давления на 20-30 <i>мм рт. ст.</i>
20	Стимуляция окислительно-восстановительных процессов в тканях
10	Изменения условно-рефлекторной деятельности; изменения биоэлектрической активности головного мозга; астенизация после 15 минут облучения
8	Неопределенные сдвиги со стороны крови с общим временем облучения 150 часов; изменение свертываемости крови
6	Электрокардиографические изменения; изменения в рецепторном аппарате
4-5	Изменение артериального давления при многократных облучениях; непродолжительная лейкопения
3-4	Замедление электропроводимости сердца
2-3	Выраженный характер снижения артериального давления; учащение пульса; незначительные колебания объема сердца
1	Снижение артериального давления; тенденции к учащению пульса
0,4	Слуховой эффект при воздействии импульсными электромагнитными излучениями
0,3	Некоторые изменения со стороны нервной системы при хроническом воздействии в течение 5-10 лет
0,1	Электрокардиографические изменения
До 0,05	Тенденции к понижению артериального давления при хроническом воздействии

2.2. Электромагнитные излучения высоких и сверхвысоких частот

Из всех видов загрязнений окружающей среды электромагнитные излучения высокой и сверхвысокой частоты самые мало ощутимые и, конечно же, невидимые.

Высокочастотные электромагнитные излучения ионизируют атомы или молекулы в соматических клетках и, следовательно, нарушают идущие в них

процессы. Электромагнитные колебания этого диапазона частот не выбивают электроны из внешних оболочек атомов и молекул, но способны нагревать органику, приводить молекулы в тепловое движение. Причем тепло это внутреннее – находящиеся на коже чувствительные датчики его не регистрируют. Чем меньше тело, тем лучше оно воспринимает коротковолновое излучение, чем больше – тем лучше воспринимает длинноволновое.

Высокочастотное электромагнитное излучение негативно влияет на проницаемость клеточных мембран. Это связано с интеграцией естественного электрического поля, которое возникает при активном транспорте ионов через биологическую мембрану, с ионизирующим полем под действием электромагнитного излучения. Подобные изменения приводят к недостаточности поступления веществ через мембрану, а следовательно, к нарушению обмена веществ.

Особенно чувствительны к неблагоприятному воздействию электромагнетизма эмбрионы и дети. Первичным проявлением действия высокочастотной электромагнитной энергии является нагрев, который может привести к изменениям и даже к повреждениям тканей и органов. Механизм поглощения энергии достаточно сложен. Наиболее чувствительными к действию электромагнитных полей являются центральная нервная система (субъективные ощущения при этом – повышенная утомляемость, головные боли и т.п.) и нейроэндокринная система.

С нарушением нейроэндокринной регуляции связывают эффект со стороны сердечно – сосудистой системы, системы крови, иммунитета, обменных процессов, воспроизводительной функции и др. Возможны также изменение частоты пульса, сосудистых реакций. Описаны изменения кроветворения, нарушения со стороны эндокринной системы, метаболических процессов, заболевания органов зрения (тепловое воздействие радио- и микроволн приводит к нагреванию хрусталика до температуры, превышающей физиологическую норму; развитие катаракты является одним из специфических поражений ЭМП в диапазоне частот 1,5-10 ГГц).

Высокочастотные электромагнитные волны влияют на биологические процессы, разрывая водородные связи, что приводит к переориентации макромолекул ДНК и РНК.

Еще в 60-е годы XX века было установлено, что клинические проявления воздействия радиоволн (радиоволновая болезнь) наиболее часто характеризуются астеническими, астеновегетативными и гипоталамическими синдромами.

1. Астенический синдром. Этот синдром, как правило, наблюдается в начальных стадиях заболевания и проявляется жалобами на головную боль, повышенную утомляемость, раздражительность, нарушение сна, периодически возникающие боли в области сердца.

2. Астеновегетативный, или синдром нейроциркулярной дистонии. Этот синдром характеризуется ваготонической направленностью реакций (гипотония, брадикардия и др.).

3. Гипоталамический синдром. Больные повышено возбудимы, эмоционально лабильны, в отдельных случаях обнаруживаются признаки раннего атеросклероза, ишемической болезни сердца, гипертонической болезни.

Не стоит забывать, что человеческий организм на 70% состоит из воды, в которой растворены различные ионы, в том числе и ионы кальция. Под действием электромагнитных полей изменяются число и размеры кальциевых аквакомплексов, в результате чего изменяется и концентрация кальция в крови, сердечной мышце, межклеточной жидкости. Как следствие – повышенный риск возникновения сердечно-сосудистых заболеваний.

2.3. Электромагнитные излучения персонального компьютера

Рассматривая электромагнитную обстановку в жилых помещениях, необходимо выделить электромагнитные излучения от ПЭВМ. Как известно, основными составляющими частями ПЭВМ являются системный блок и разнообразные устройства ввода/вывода информации: клавиатура, дисковые накопители, принтер, сканер, источник бесперебойного питания и другое вспомогательное оборудование, а также – монитор (электронно-лучевая трубка или ЖК). Все элементы ПЭВМ являются источниками электромагнитных излучений, которые характеризуются широким диапазоном частот (от 50 Гц до 1000 МГц). Все эти элементы при работе формируют сложную электромагнитную обстановку на рабочем месте пользователя (табл. 2.2).

Таблица 2.2

Источники электромагнитного излучения ПЭВМ

Источник	Диапазон частот генерируемого электромагнитного поля
Системный блок в сборе (процессор)	50 Гц – 1000 МГц
Устройства ввода/вывода (принтеры, сканеры, дисководы и др.)	0 Гц, 50 Гц
Источники бесперебойного питания, сетевые фильтры и стабилизаторы	50 Гц, 20 – 100 кГц
Монитор: - сетевой трансформатор блока питания - статический преобразователь напряжения в импульсном блоке питания - блок кадровой развертки и синхронизации - блок строчной развертки и синхронизации - ускоряющее анодное напряжение монитора (только для мониторов с электронно-лучевой трубкой)	50 Гц 20 – 100 кГц 48 – 160 Гц 15 – 110 кГц 0 Гц

Необходимо отметить, что в настоящее время все больше используются мониторы на основе жидких кристаллов (ЖК-мониторы), которые не

генерируют вредных излучений, присущих мониторам с электронно-лучевой трубкой. Электростатическое поле и рентгеновское излучение действительно отсутствуют у ЖК-мониторов. Так, например, пользователи компьютеров типа Notebook уверены в электромагнитной безопасности, однако электронно-лучевая трубка не единственный источник излучения. ЭМП генерирует преобразователь напряжения питания (при работе от сети), схемы управления и формирования информации на дискретных ЖК-мониторах и другие элементы (табл. 2.2). В режиме питания от аккумулятора излучения, естественно, меньше, но присутствуют излучения частотой 1000 МГц (процессор). В режиме питания от сети портативный компьютер излучает электрическую составляющую переменного ЭМП, сравнимую с излучениями ПЭВМ с электронно-лучевой трубкой. А если учесть, что портативный компьютер располагается ближе к пользователю, то интенсивность часто превышает экологические нормативы.

Электромагнитные излучения ПЭВМ имеют сложнейший волновой и спектральный состав и довольно трудно поддаются измерению и количественной оценке. Эти излучения имеют магнитную, электростатическую и лучевую составляющие (в частности электростатический потенциал сидящего перед монитором человека может колебаться от -3 до +5 В).

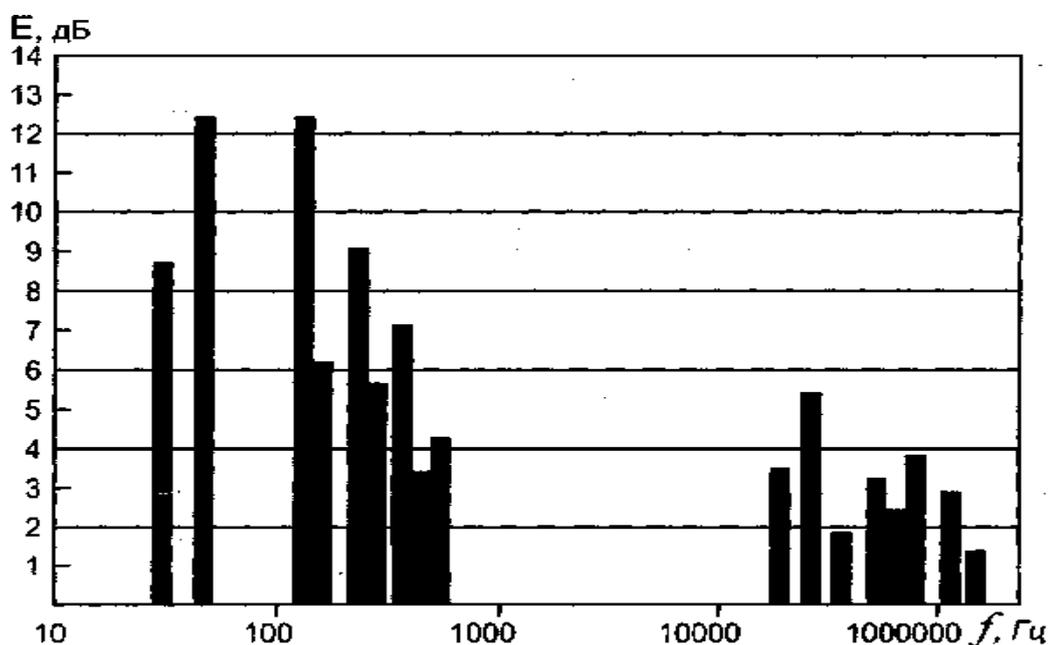


Рис. 2.1. Спектральная характеристика ЭМИ ПЭВМ

Из анализа спектральной характеристики излучений ПЭВМ (рис. 2.1) следует, что интенсивность излучений наибольшая в низкочастотной области электромагнитного спектра (до 1000 Гц). Электромагнитные излучения ПЭВМ вызывают патологические реакции организма, обусловленные, вероятно, воздействием электромагнитного излучения крайне низкой частоты. Эти излучения не настолько энергетически сильны, чтобы изменить или разрушить связи в клетках на молекулярном уровне, но, по-видимому, имитируют электрические изменения, которые обычно происходят в клетках организма.

Эта имитация обычных внутриклеточных процессов может лежать в основе потенциальной способности низкочастотных полей ускорять рост раковых опухолей. Некоторые ученые отмечают, что участки мембраны, на которые воздействовало электромагнитное излучение низкой частоты, ведут себя как рецептор для химических веществ, ускоряющих рост раковых клеток. Кроме того, низкочастотные поля разрушают функции соединения клеток организма, что также крайне негативно сказывается на общем состоянии здоровья.

Некоторые эксперименты обнаружили существование так называемых оконных эффектов, т.е. некоторые биологические эффекты проявлялись только при определенной напряженности ЭМП низкой частоты и не проявлялись при большей или меньшей напряженности. Эти проявления, по-видимому, зависели от наличия и ориентации статических полей, таких как магнитное поле Земли.

Необходимо отметить, что биологическое воздействие низкочастотных электромагнитных полей зависит от вида модуляции. Наиболее активными считаются импульсные излучения с пилообразной характеристикой, которые генерируются видеодисплейными терминалами на основе электронно-лучевой трубки.

Пользователям ПЭВМ не рекомендуется работать в вечернее и ночное время, так как интенсивный свет действует на эпифиз, вследствие этого угнетается синтез мелатонина (гормона эпифиза), что может повлечь за собой различные заболевания. Свет угнетает синтез мелатонина, поэтому его концентрация максимальна ночью, а утром и днем – минимальная. Интенсивное облучение электромагнитным полем низкой частоты с другими отрицательными факторами могут инициировать злокачественные новообразования.

Длительная работа за компьютером приводит к снижению внимания, ухудшению восприятия и переработки информации, возникновению негативно-эмоциональных состояний, депрессий.

С учетом указанных негативных воздействий на организм человека можно сформулировать следующие основные рекомендации по снижению электромагнитных излучений от ПЭВМ:

- обязательно выполнить заземляющий контур в помещении и на рабочем месте пользователя ПЭВМ;
- рекомендуемый объем, приходящийся на одно рабочее место пользователя ПЭВМ, должен составлять не менее 20 м³;
- исключить вариант одной линии электропитания, обходящей помещение по всему периметру помещения с ПЭВМ;
- места группового подключения ПЭВМ оборудовать экранированными щитками, обеспеченными достаточным количеством розеток и размещенными с учетом возможной наибольшей удаленности их от рабочих мест пользователей ПЭВМ и других сотрудников, постоянно работающих в этом помещении;
- провода электропитания в помещениях с высоким уровнем электромагнитных излучений промышленной частоты проложить в заземленных экранирующих металлических оболочках или в трубах;

- с целью предотвращения накопления статических зарядов и аэроионов рекомендуется увлажнять воздух в помещениях с ПЭВМ;

- если на окнах помещений имеются металлические решетки, то они должны быть заземлены;

- групповые рабочие места желательно размещать на нижних этажах зданий, что значительно снижает общий электромагнитный фон за счет снижения значений сопротивления заземления и протяженности силовых кабелей.

В связи с увеличением числа пользователей портативных компьютеров типа Notebook необходимо отметить негативное влияние этих ПЭВМ на организм человека. Здесь ЭМИ различают по интенсивности и частотному диапазону (от 5 кГц до 2 кГц и от 2 до 100 кГц). Излучения существенно превышают предельно допустимые значения: 25 В/м для частоты 5 Гц - 2 кГц и 2,5 В/м для частоты 2-100 кГц.

При питании от аккумулятора у большинства портативных компьютеров напряженность электрического поля в первом диапазоне заметно превышает норму, а во втором – превышение отмечается только справа и сзади от экрана.

Таким образом, интенсивность ЭМИ портативных компьютеров типа Notebook не ниже обычных ПЭВМ.

2.4. Электромагнитные излучения при пользовании сотовой связью

В связи с тем, что в последнее время все более широкое распространение получает сотовая (мобильная) связь, наиболее остро стоит вопрос рассмотрения механизмов действия высокоэнергетических ЭМП, относящихся к микроволновому диапазону. К 2000 году в России число лиц (абонентов), пользовавшихся мобильными сотовыми телефонами, составляло 1 млн. По составленным тогда прогнозам к 2010 году в России должно было насчитываться уже 3 млн. абонентов. Однако по состоянию на декабрь 2006 года число абонентов превысило 70 млн.

Исследованием влияния радиочастотного излучения на здоровье человека начали заниматься несколько десятилетий назад после того, как стали интенсивно развивать и внедрять мощную радиопередающую и локационную технику.

Однако накопленные знания о действии СВЧ не слишком применимы, когда речь идет о сотовых телефонах, имеющих несравнимо более низкий уровень излучения. Биологические эффекты использования радиотелефонов делят на тепловые – катарактогенные, и нетепловые – неврологические, канцерогенные и эпидемиологические. Изучение каждого из перечисленных факторов позволило выявить ряд последствий от воздействия излучений слабой мощности, характеризуемых показателем удельного поглощения энергии меньшим, чем 2 Вт/кг.

Во-первых, такие излучения отрицательно влияют на нервную систему. Во-вторых, к серьезным нарушениям зрения может приводить даже незначительное – всего на полградуса – повышение температуры клеток головного мозга,

находящихся в непосредственной близости от источника излучения. Кроме того, эти явления не проходят бесследно, а как бы накапливаются в организме. Более того, цифровые радиотелефоны угрожают здоровью больше, чем аналоговые аппараты, поскольку цифровой сигнал как бы бомбардирует живые клетки, вызывая в них более выраженные изменения. Исследования еще не завершены, поскольку пока неясно, как зависит рассматриваемый эффект от различных параметров СВЧ – излучения малой мощности.

Специалисты напрямую связывают возможность появления онкологических заболеваний, катаракт, болезней Паркинсона и Альцгеймера с изменениями в тканях мозга под действием микроволнового излучения. Впрочем, доказать эту гипотезу на основе только результатов экспериментов на животных нельзя, так как полученные данные прямо не могут быть распространены на человека. Скорее всего, проявление эффекта зависит от времени непрерывного облучения, т.е. продолжительности разговора. Как показывают эксперименты, лишь 30% излучения радиотелефона служат для установления связи с базовой станцией соты. Остальные 70% поглощаются телом абонента.

Особому риску подвергаются люди, разговаривающие по сотовому телефону внутри автомашины. Если антенна аппарата находится внутри автомашины, то ее корпус является резонатором и в несколько раз усиливает дозу поглощенного излучения. Локальное воздействие ЭМП частотой $10 \text{ МГц} - 10 \text{ ГГц}$ ведет к интенсивному нагреванию структур головного мозга, что может приводить к развитию рака.

Величина электромагнитного излучения сотовой связи сопоставима с величинами, которые возникают при работе радарных, радиолокационных станций, приборов СВЧ – нагрева.

С учетом указанных негативных воздействий на организм человека можно сформулировать следующие основные положения, которые необходимы для снижения уровня облучения электромагнитными излучениями пользователя сотового радиотелефона:

- пользователь должен знать уровень воздействия ЭМП телефона (в том числе в режиме поиска сети) и предупрежден о его возможном негативном влиянии на здоровье;
- должен быть предупрежден об опасности пользования радиотелефоном детьми и женщинами в состоянии беременности;
- должен иметь возможность контроля уровня излучения ЭМП и экспозиции своего телефона;
- должен иметь возможность самостоятельно ограничивать мощность своего аппарата (в том числе в режиме поиска сети).

Кроме того, необходимо вводить ограничения на пользование сотовым телефоном в местах массового скопления населения.

Глава 3. ОПАСНОЕ ДЕЙСТВИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА НА ЛЮДЕЙ И ЖИВОТНЫХ

3.1. Электротравма и ее виды

Под **электротравмой** следует понимать нарушение анатомических соотношений и функций тканей и органов, сопровождающееся местной и общей реакцией организма.

Тяжесть электротравмы зависит от множества факторов и условий, как правило, подразделяющихся на внешние и внутренние (параметров электроустановки, условий окружающей среды, времени воздействия тока и пути его прохождения через тело человека, физического состояния организма и индивидуальных его психофизиологических особенностей).

Разработанная отечественными и зарубежными учеными современная теория электробезопасности, объясняя процессы, происходящие в теле человека при действии электрического тока, рассматривает их как рефлекторные, вызванные реакцией нервной системы в ответ на раздражение током. Одновременно электрический ток может оказывать непосредственное тепловое и динамическое воздействие, вызывать электролизные процессы в организме. В этой связи следует выделить пять видов электротравм: электрический удар, электрический ожог, электрический знак, металлизация кожи и механическое повреждение.

Электрический удар – электротравма, вызванная рефлекторным действием электрического тока, т.е. действием через нервную систему. Ток, проходя через тело человека, раздражает периферические окончания чувствительных нервов, в результате чего наступают судороги мышц и других тканей, шок, паралич дыхания, нарушение деятельности сердца и кровообращения.

Электрический ожог – результат теплового воздействия электрического тока в месте контакта тела человека с электродом.

Количество тепла, выделяемое в ткани тела человека при прохождении электрического тока, в соответствии с законом Джоуля-Ленца пропорционально сопротивлению человека, квадрату протекающего тока и времени его действия. При всех прочих равных условиях количество выделенного тепла и ожог будут тем больше, чем больше переходное сопротивление в месте контакта человека с электродом. Поэтому ожоги могут быть поверхностными и глубинными. Однако вследствие значительного сопротивления кожи наблюдаются преимущественно поверхностные ожоги.

Ожоги с тяжелым исходом имеют место, как правило, при контакте человека с токоведущими частями электроустановок выше 1000 В. Безболезненность контактных ожогов обусловлена поражением нервов.

Электрические ожоги нельзя отождествлять с термическими (например, с ожогами электрической дугой), так как при электрических ожогах выделение тепла происходит в тканях, при термических тепло действует извне.

Кроме того при электрических ожогах человек подвергается рефлекторному воздействию тока.

Электрический знак – специфическое поражение кожи, вызванное механическим и химическим воздействиями тока. В отличие от ожогов электрические знаки обычно возникают при хорошем контакте кожи с электродом. По внешнему виду электрические знаки представляют собой круглые или эллиптические образования серого или желтоватого цвета с резко очерченными краями. Размеры их обычно не превышают 5-10 мм. Электрические знаки могут возникать как в момент прохождения тока, так и спустя некоторое время после контакта с электродом. Болезненных ощущений они не вызывают и со временем исчезают.

Металлизация кожи – повреждение участка кожи в результате проникновения в нее частиц металлического электрода. Пораженный участок кожи имеет шероховатую, жесткую поверхность. Окраска металлизированного участка кожи зависит от металла электрода: зеленая – при контакте с красной медью, сине-зеленая – при контакте с латунью, серо-желтая – при контакте со свинцом.

С течением времени металлизированная кожа обычно отслаивается, пораженный участок приобретает нормальный вид, болезненные ощущения исчезают.

Механические повреждения – следствие резких произвольных сокращений мышц под действием тока. В результате могут произойти разрывы кожи, кровеносных сосудов и нервов, а также вывихи суставов и переломы костей.

3.2. Статистика электротравматизма

На основании оценки публикуемых в ряде стран обзоров статистики электротравм можно сделать вывод, что число погибающих от электрического тока в год в мире достигает 22-5 тыс. человек. При этом электротравмы со смертельным исходом составляют 10-15% от общего числа травм с тяжелым исходом.

В России на долю электротравматизма среди населения приходится от 30 до 70% общего числа регистрируемых электротравм и тенденция к их снижению пока не наблюдается. Ежегодно от поражения электрическим током только в электроустановках зданий погибает более 4,5 тыс. человек. При этом следует иметь в виду, что в электроустановках напряжением 380/220 В происходит 70-80% несчастных случаев от общего числа электротравм, остальная часть приходится на электроустановки выше 1000 В (предприятия энергетики, электрифицированный транспорт).

Учитывая отсутствие упорядоченной статистической информации об электротравматизме в России, ниже приведем сведения, полученные в результате обобщения статистического материала для различных регионов страны в период с 1988 по 1997 год.

Данные по электротравматизму по отраслям приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Распределение электротравматизма по отраслям на примере Алтайского края за период с 1988 по 1997 г.

Отрасль	% от числа электротравм во всех отраслях
Промышленность	5,2
Сельское хозяйство, фермерство	15,6
Строительство	4,0
Транспорт, связь	2,1
Коммунальное хозяйство	14,8
Торговля и бытовое обслуживание	8,9
Образование и культура	0,9
Здравоохранение	2,0
Быт (городской и сельский)	46,5
Итого	100

Из данных таблицы 3.1 следует, что наибольший электротравматизм имеет место в сельском хозяйстве, в сфере обслуживания и коммунальном хозяйстве. Большой удельный вес электротравматизма приходится на непроизводственную сферу: торговлю и бытовое обслуживание.

3.3. Первичные критерии электробезопасности

Первичными критериями электробезопасности называются предельно допустимые значения токов, вызывающие качественно новую реакцию организма. С учетом последних достижений в области электропатологии выделяют три первичных критерия электробезопасности:

- при длительном воздействии (более 30 с) – пороговый ощутимый ток;
- при времени воздействия от 1 до 30 с – пороговый неотпускающий ток;
- при времени воздействия менее 1 с – пороговый фибрилляционный ток.

Наименьшее значение ощутимого тока называют пороговым ощутимым током. Его значение зависит от рода тока, состояния человека, способа включения в электрическую цепь и других факторов. У отдельных людей величина порогового ощутимого тока различна и характеризуется нормальным законом распределения. Для токов промышленной частоты (50 Гц) его величина составляет около 1 мА.

Ток величиной немногим более 1 мА вызывает легкое покалывание и небольшое сокращение мышц. При токе 3-5 мА раздражающее действие ощущается кистью руки, а при токе 6-10 мА мышцы руки уже непроизвольно сокращаются и возникает чувство сильной боли. Человек здесь теряет

способность контролировать действие руки, в частности, он не может самостоятельно освободиться от зажатого в руке проводника. Минимальное значение такого тока называется пороговым неотпускающим. Для различных людей его значение подчиняется нормальному распределению, а численное значение принимается равным 6 мА.

Если величина тока достигает значения 25-50 мА, то воздействие проявляется уже на грудную клетку – органы дыхания и кровообращения. Возникает сильное сокращение дыхательных мышц грудной клетки, в результате чего может наступить смерть от удушья (асфиксия). Причем вероятность поражения здесь в значительной степени зависит от длительности протекания тока.

Токи промышленной частоты выше 50 мА, протекающие через тело человека, представляют опасность для сердца. Эти токи могут вызывать вентрикулярную (желудочковую) фибрилляцию сердца: хаотичное, судорожное сокращение волокон сердечной мышцы, приводящее к остановке сердца и прекращению кровообращения. Опасность возникновения фибрилляции в значительной степени определяется значением протекающего тока и временем его воздействия. С уменьшением времени воздействия тока на организм человека вероятность возникновения фибрилляции уменьшается. Поэтому пороговое значение фибрилляционных токов определяется для малой длительности протекания тока (до 1 с).

Вентрикулярная фибрилляция является главной причиной, вызывающей смертельное поражение электрическим током, так как сердце человека (в отличие от животных, например собаки) не может самостоятельно выйти из этого состояния. Поэтому пороговое значение тока фибрилляции и принято в качестве третьего критерия электробезопасности. Возможны также смертельные исходы в результате асфиксии (удушья) или рефлекторного механизма остановки сердца.

Знание первичных критериев электробезопасности позволяет обоснованно подойти к выбору технических средств электрозащиты, в частности устройств защитного отключения (УЗО).

Важным фактором, определяющим исход электротравмы, является момент включения человека в цепь тока. Деятельность сердца человека циклична, причем полный цикл носит название кардиоцикла. Для анализа сердечной деятельности используются электрокардиограммы.

Электрокардиограмма – это кривая изменения электрической активности сердца, характеризующая деятельность сердечной мышцы в функции времени за период от поступления крови в предсердие до поступления ее в аорту.

Каждый цикл сердечной деятельности состоит из двух периодов:

- 1) диастола – когда желудочки сердца, находясь в расслабленном состоянии, заполняются кровью;
- 2) систола – когда сердце, сокращаясь, выталкивает кровь в артериальные сосуды.

3.4. Действие электрического тока на животных

Животные, как и человек, восприимчивы к действию электрического тока. С далеких времен известно, что молния поражает животных. В литературе описан случай, когда во время грозы погибли 2000 овец. От удара молнии гибнут также лошади и коровы. При одной из гроз из стада в 152 коровы погибли 126.

В первые годы создания сетей напряжением 110 кВ и выше начали появляться сведения о том, что животные в поле поражаются электрическим током. Поражение, как правило, происходит в зоне оборвавшегося провода линий электропередач высокого напряжения. Известны случаи поражения животных, находящихся в сотне метров от упавшего провода. Зарегистрированы также поражения животных при коротких замыканиях вблизи плохо выполненных заземлений.

Следует отметить, что поражение животных электричеством отличается от поражения людей. Одной из причин этого является, в частности, меньшее значение удельного (приходящегося на один метр) шагового поражающего напряжения из-за того, что шаг человека почти в два раза меньше расстояния между ногами крупного животного.

Величина тока, способная вызвать нарушение сердечной деятельности, возрастает в зависимости от размера и веса животного. Сопротивление тела животного не равно сопротивлению тела человека. Поэтому напряжение, не опасное для жизни человека, может вызвать гибель животного. Так, по данным отечественных и зарубежных авторов, поражающий ток составляет: для телят – 0,2-0,3 А, для коров – 0,3-0,4 А, для овец и свиней – 0,15-0,2 А. При этом поражающее напряжение составляет от 30 до 40 В.

Отмеченное обстоятельство послужило основанием для разработки специальной методики определения критериев электробезопасности сельскохозяйственных животных. Для изучения механизма воздействия электрического тока на животных в Алтайском крае были проведены опыты на 150 коровах. При этом было установлено, что дойные коровы проявляют высокую чувствительность к электрическому току. При продолжительном воздействии на них малых напряжений (1 В) обнаружено снижение удоев на 7%, жирности молока на 7,3%, а также снижение содержания белка в молоке на 20%.

Установленные данные легли в основу отраслевого стандарта «Защита сельскохозяйственных животных от поражения электрическим током. Выравнивание электрических потенциалов. Общие технические требования».

Глава 4. КАЧЕСТВО ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

4.1. Основные нормы и показатели качества электрической энергии

Под термином *качество электрической энергии* понимается соответствие основных параметров энергосистемы установленным нормам производства, передачи и распределения электрической энергии.

Электрическая энергия как товар используется во всех сферах жизнедеятельности человека, обладает совокупностью специфических свойств и непосредственно участвует при создании других видов продукции, влияя на их качество. Понятие качества электрической энергии отличается от понятия качества других видов продукции. Каждый электроприемник предназначен для работы при определенных параметрах электрической энергии – номинальных частоте, напряжении, токе и т.п., поэтому для нормальной его работы должно быть обеспечено требуемое качество электрической энергии. Таким образом, **качество электрической энергии (КЭЭ)** определяется совокупностью ее характеристик, при которых электроприемники (ЭП) могут нормально работать и выполнять заложенные в них функции.

КЭЭ на месте производства не гарантирует ее качество на месте потребления. КЭЭ до и после включения ЭП в точке его присоединения к электрической сети может быть различно. КЭЭ в промышленности оценивается по технико-экономическим показателям, которые представляются в виде технологического и электромагнитного ущерба.

Технологический ущерб учитывает негативные последствия, возникающие в результате:

- порчи материалов и оборудования;
- расстройств технологического процесса;
- ухудшения качества выпускаемой продукции;
- снижения производительности труда.

Электромагнитный ущерб от некачественной электроэнергии характеризуется:

- увеличением потерь электроэнергии;
- выходом из строя электротехнического оборудования;
- нарушением работы автоматики, телемеханики, связи, электронной техники и т.д.

КЭЭ тесно связано с надежностью электроснабжения, поскольку нормальным режимом электроснабжения потребителей является такой режим, при котором потребители получают электроэнергию бесперебойно в количестве, заранее согласованном с энергоснабжающей организацией, и нормированного качества. Статья 542 Гражданского кодекса Российской Федерации требует поставлять электроэнергию, качество которой соответствует требованиям государственных стандартов и иных обязательных правил или договорам энергоснабжения.

В соответствии с Законом Российской Федерации «О защите прав потребителей» (ст. 7) и Постановлением Правительства Российской Федерации от 13 августа 1997 г. №1013 электрическая **энергия подлежит обязательной сертификации** по показателям качества электроэнергии, установленным ГОСТ 13109-97 «Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения». Это значит, что каждая электроснабжающая организация наряду с лицензией на производство, передачу и распределение электроэнергии должна получить сертификат, удостоверяющий, что качество поставляемой ею энергии отвечает требованиям данного ГОСТ. ГОСТ 13109-97 является межгосударственным стандартом и действует в Российской Федерации с 1 января 1999 года.

При соблюдении норм, указанных в ГОСТ 13109-97, обеспечивается электромагнитная совместимость электрических сетей систем электроснабжения общего назначения и электрических сетей потребителей электрической энергии (приемников электрической энергии). Эти нормы являются обязательными во всех режимах работы систем электроснабжения общего назначения, кроме режимов, обусловленных:

- исключительными погодными условиями и стихийными бедствиями (ураган, наводнение, землетрясение и т.п.);
- непредвиденными ситуациями, вызванными действиями стороны, не являющейся энергоснабжающей организацией и потребителем электроэнергии (пожар, взрыв, военные действия и т.п.);
- условиями, регламентированными государственными органами управления, а также связанными с ликвидацией последствий, вызванных исключительными погодными условиями и непредвиденными обстоятельствами.

Нормы, установленные в ГОСТ 13109-97, обязательно применяют при проектировании и эксплуатации электрических сетей, а также при установлении уровней помехоустойчивости приемников электрической энергии и уровней кондуктивных электромагнитных помех, вносимых этими приемниками.

Нормы КЭЭ в электрических сетях, находящихся в собственности потребителей электрической энергии, регламентируемые отраслевыми стандартами и иными нормативными документами, не должны быть ниже норм КЭЭ, установленных в ГОСТ 13109-97 в точках общего присоединения. При отсутствии указанных отраслевых стандартов и иных нормативных документов нормы ГОСТ 13109-97 являются **обязательными** для электрических сетей потребителей электрической энергии.

Основные и вспомогательные показатели КЭЭ приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1

Показатели качества электрической энергии

№ п/п	Наименование показателя КЭЭ	Условное обозначение
ОСНОВНЫЕ		
1	Отклонение напряжения: – установившееся отклонение напряжения	δU_v
2	Колебания напряжения: – размах изменения напряжения – доза фликера	δU_t P_f
3	Несинусоидальность напряжения: – коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения – коэффициент n -й гармонической составляющей напряжения	K_U $K_{U(n)}$
4	Несимметрия напряжения: – коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности – коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности	K_{2U} K_{0U}
5	Отклонение частоты	Δf
6	Провал напряжения: – длительность провала напряжения	Δt_n
7	Импульс напряжения: – импульсное напряжение	$U_{имп}$
8	Временное перенапряжение: – коэффициент временного перенапряжения	$K_{пер U}$
ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ		
1	Частота повторений изменений напряжения	$F_{\delta U t}$
2	Интервал между изменениями напряжения	$\Delta t_{i,i+1}$
3	Глубина провала напряжения	δU_n
4	Частота появления провалов напряжения	F_n
5	Длительность импульса по уровню 0,5 его амплитуды	$\Delta t_{имп 0,5}$
6	Длительность временного перенапряжения	$\Delta t_{пер U}$

Характеристика и причины нарушения показателей КЭЭ приведены в таблице 4.2.

Характеристика и причины нарушения показателей КЭЭ

Показатель КЭЭ	Характеристика показателя КЭЭ	Наиболее вероятная причина	Возможное решение
Установившееся отклонение напряжения: – нормально допустимое – предельно допустимое	Характеризуется отклонением напряжения в % от номинального. 5% от 220 В (209... 231 В) 10% от 220 В (198... 242 В)	Энергоснабжающая организация	Предъявление претензий энергоснабжающей организации. Установка стабилизатора напряжения
Провал напряжения	Внезапное снижение напряжения ниже 198 В на время от 10 мс до десятков секунд и восстановление напряжения до первоначального значения. Характеризуется глубиной и частотой	Энергоснабжающая организация. Провалы напряжения не нормируются, они неизбежны, так же как и короткие замыкания	Установка стабилизатора с диапазоном входного напряжения от 110 В в большинстве случаев полностью или частично решают проблему
Временное перенапряжение	Повышение напряжения в сети выше 242 В на время больше 10 мс. Характеризуется коэффициентом временного перенапряжения	Энергоснабжающая организация. Неизбежное следствие рабочих и аварийных режимов работы электросети	Стабилизатор напряжения защищает от всех перенапряжений, длительность которых больше времени реакции стабилизатора
Импульс напряжения	Резкое изменение напряжения, за которым следует восстановление до первоначального значения за несколько миллисекунд. Характеризуется амплитудой и длительностью импульса	Энергоснабжающая организация. Удары молнии в элементы сети, коммутация различного электрооборудования, короткие замыкания	Использование технических средств, ограничивающих перенапряжения до предельно допустимого уровня
Колебания напряжения, фликер	Множественно повторяющиеся изменения напряжения. Характеризуются размахом в % от U и частотой повторения	Потребитель с резкопеременной нагрузкой, например сварочный аппарат	Предъявление претензий энергоснабжающей организации. Применение специальных стабилизаторов напряжения для освещения
Несимметрия трехфазной системы напряжений	Искажение трехфазной системы напряжений. Разброс значений фазных и междупазных напряжений. Характеризуется коэффициентом несимметрии по обратной последовательности и коэффициентом несимметрии по нулевой последовательности	Потребитель с несимметричной нагрузкой, неравномерное распределение нагрузки между фазами, недостаточное сечение PEN- или N-проводника	Предъявление претензий энергоснабжающей организации. Рациональное распределение однофазных нагрузок между фазами. Регулирование напряжения при помощи однофазных стабилизаторов напряжения
Несинусоидальность напряжения	Искажение синусоидальной формы кривой напряжения. Характеризуется коэффициентом искажения синусоидальности кривой напряжения	Потребитель с нелинейной нагрузкой	Предъявление претензий энергоснабжающей организации

Часть показателей характеризует установившиеся режимы работы электрооборудования электроснабжающей организации и потребителей электрической энергии и дает количественную оценку по КЭЭ особенностям технологического процесса производства, передачи, распределения и потребления электрической энергии. К этим показателям КЭЭ относятся:

- установившееся отклонение напряжения;
- коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения;

- коэффициент n-й гармонической составляющей напряжения;
- коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности;
- коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности;
- отклонение частоты;
- размах изменения напряжения.

Оценка всех показателей КЭЭ, относящихся к напряжению, производится по его действующим значениям. Для характеристики вышеперечисленных показателей стандартом установлены численные нормально и предельно допустимые значения показателей КЭЭ, или нормы.

Другая часть показателей КЭЭ характеризует кратковременные помехи, возникающие в электрической сети в результате коммутационных процессов, грозовых атмосферных явлений, работы средств защиты и автоматики и в послеаварийных режимах. К ним относятся:

- провалы напряжения;
- импульсы напряжения;
- кратковременные перенапряжения.

Для этих показателей КЭЭ стандарт не устанавливает допустимых численных значений. Для количественной оценки этих показателей КЭЭ должны измеряться амплитуда, длительность, частота их появления и другие характеристики, установленные, но не нормируемые стандартом. Статистическая обработка этих данных позволяет рассчитать обобщенные показатели, характеризующие конкретную электрическую сеть, с точки зрения вероятности появления кратковременных помех.

4.2. Отклонение напряжения

Отклонения напряжения от номинальных значений происходят из-за суточных, сезонных и технологических изменений электрической нагрузки потребителей, изменения мощности компенсирующих устройств, регулирования напряжения генераторами электростанций и на подстанциях энергосистем, изменения схемы и параметров электрических сетей,

Отклонение напряжения – разность между фактическими значениями напряжения и его номинальным значением для сети, возникающая при сравнительно медленном изменении режима работы, когда скорость изменения напряжения меньше 1% в секунду:

$$\delta U = U - U_{\text{н}} \text{ или } \delta U\% = \frac{U - U_{\text{н}}}{U_{\text{н}}} 100\% . \quad (4.1)$$

В условиях нормальной работы допускается отклонение напряжения в следующих пределах:

-5 +10% – на зажимах электродвигателей и аппаратов для их пуска и управления;

- 2,5 ...+5 % – на зажимах приборов рабочего освещения;
- ±5 % – на зажимах остальных приемников электрической энергии.

В точках общего присоединения потребителей электрической энергии пределы отклонения напряжения должны быть установлены в договорах энергоснабжения для часов минимума и максимума нагрузок в энергосистеме с учетом необходимости выполнения норм стандарта на выводах приемников электрической энергии в соответствии с нормативными документами.

Основными причинами отклонения напряжения в системах электроснабжения предприятий являются изменения режимов работы приемников электроэнергии, изменения режимов энергосистемы, значительные индуктивные сопротивления линий 6-10 кВ.

Обеспечить требования ГОСТ 13109-97 можно двумя способами: снижением потерь напряжения и регулированием напряжения.

Снижение потерь напряжения достигается:

- выбором сечения проводников линий электропередач;
- применением продольной емкостной компенсации реактивного сопротивления линии;
- компенсацией реактивной мощности для снижения ее передачи по электросетям помощью конденсаторных установок и синхронных электродвигателей, работающих в режиме перевозбуждения;
- кроме снижения потерь напряжения это является эффективным методом энергосбережения, уменьшающим потери электроэнергии в сетях.

Среди способов **регулирования напряжения** в системах электроснабжения промышленных предприятий можно выделить:

а) регулирование на шинах электростанций и подстанций. На шинах электростанций изменением тока возбуждения генераторов повышают напряжение в часы максимума нагрузки и снижают напряжение в часы минимума нагрузок. Регулирование напряжения на шинах понизительной подстанции 6-10 кВ может осуществляться при помощи трансформаторов, статических конденсаторов, синхронных компенсаторов и т.д.;

б) регулирование на отходящих линиях. Индивидуальное регулирование напряжения на каждой отходящей от шин подстанции линии является эффективным способом. В этом случае могут быть использованы трансформаторы с РПН, ВДТ и конденсаторы для продольной компенсации;

в) совместное регулирование напряжения – включает в себя первый и второй способы регулирования;

г) дополнительное регулирование напряжения – применяется в том случае, когда не удастся обеспечить требуемое качество напряжения у определенной части потребителей электрической энергии;

д) регулирование изменением схемы электроснабжения. В схеме электроснабжения осуществляют мероприятия, позволяющие изменить величину и направление реактивной мощности и сопротивления отдельных участков, в результате чего изменяются уровни напряжения в отдельных точках сети.

Для поддержания уровней напряжения в допустимых пределах используют различные методы, которые можно разделить на две группы: не требующие затрат на установку специальных регулирующих устройств и связанные с установкой таких устройств.

Первая группа мероприятий включает в себя:

1. Рациональное построение системы электроснабжения (применение повышенного напряжения для линий, питающих предприятие, глубоких вводов, трансформаторов с оптимальным коэффициентом загрузки, токопроводов для распределительных сетей и т.д.).

2. Правильный выбор ответвлений обмоток у трансформаторов, имеющих устройство переключения обмоток без возбуждения (ПБВ).

3. Использование перемычек на напряжении до 1 кВ между цеховыми трансформаторами.

4. Снижение сопротивления системы внутривозовского электроснабжения включением на параллельную работу трансформаторов ГПП.

5. Регулирование напряжения генераторов собственных источников питания предприятия.

6. Использование регулировочных возможностей синхронных электродвигателей.

Ко второй группе мероприятий по регулированию напряжения относят:

1) установку на ГПП трансформаторов, имеющих устройство регулирования напряжения под нагрузкой (РПН);

2) применение компенсирующих устройств;

3) применение специальных регуляторов напряжения.

4.3. Колебания напряжения

Колебания напряжения оцениваются следующими показателями:

- размахом изменения напряжения δU , т.е. разницей между наибольшим и наименьшим действующими значениями напряжения в процессе достаточно быстрого изменения параметров режима, когда скорость изменения напряжения не менее 1% в секунду:

$$\delta U\% = \frac{U_{\max} - U_{\min}}{U_H} 100\% ; \quad (4.2)$$

- частотой изменений напряжения – дозой фликера ($1/с$, $1/мин$, $1/ч$)

$$P = m/T. \quad (4.3)$$

где m - количество изменений напряжения со скоростью изменения более 1% в секунду за время T .

Фликер – это субъективное восприятие человеком колебаний светового потока искусственных источников освещения, вызванных колебаниями напряжения в электрической сети, питающей эти источники.

Кратковременную дозу фликера определяют на интервале времени наблюдения, равном 10 минут. Длительную дозу фликера определяют на интервале времени наблюдения, равном 2 часа.

4.4. Несинусоидальность напряжения

Несинусоидальность напряжения характеризуется следующими показателями:

K_u - коэффициентом искажения синусоидальности напряжения;

U_n/U - коэффициентом n -й гармонической составляющей напряжения.

Коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения определяется по формуле

$$K_u = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} U_n^2}}{U_1} \cdot 100\% \approx \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} U_n^2}}{U} \cdot 100\%, \quad (4.4)$$

где U_n - действующее значение напряжения n -й гармоники;

U_1 - действующее значение первой или основной гармоники.

Коэффициент несинусоидальности напряжения не должен превышать 5% на зажимах любого приемника электроэнергии.

На современных промышленных предприятиях значительное распространение получили нагрузки, вольт-амперные характеристики которых нелинейны. К их числу относятся тиристорные преобразователи, установки дуговой и контактной сварки, электродуговые сталеплавильные и рудотермические печи, газоразрядные лампы и др. Эти нагрузки потребляют из сети ток, кривая которого оказывается несинусоидальной, в результате возникают нелинейные искажения кривой напряжения сети, или несинусоидальные режимы.

Несинусоидальные режимы неблагоприятно сказываются на работе силового электрооборудования, систем релейной защиты, автоматики, телемеханики и связи. Возникающие при этом экономические ущербы обусловлены, главным образом, ухудшением энергетических показателей, снижением надежности функционирования электросетей и сокращением срока службы электрооборудования.

Существуют следующие способы уменьшения несинусоидальности напряжения в электрических сетях:

- 1) увеличение числа фаз выпрямления;

- 2) многофазный эквивалентный режим работы преобразователей;
- 3) снижение уровней гармоник средствами питающей сети;
- 4) фильтры высших гармоник.

4.5. Несимметрия напряжения

Под несимметрией напряжения понимают неравенство фазных или линейных напряжений по амплитуде и углам сдвига между ними (несимметрия трехфазной системы напряжений).

Несимметрия напряжения происходит только в трехфазной сети под воздействием неравномерного распределения нагрузок по ее фазам. В качестве вероятного виновника несимметрии напряжения ГОСТ 13109-97 указывает потребителя с несимметричной нагрузкой.

Наиболее распространенными источниками несимметрии напряжения являются: индукционные и дуговые сталеплавильные печи, тяговые подстанции переменного тока, электросварочные аппараты, однофазные электротермические установки, осветительные установки и другие однофазные, двухфазные и несимметричные трехфазные потребители электроэнергии, в том числе бытовые. Так, суммарная нагрузка отдельных предприятий содержит 85-90% несимметричной нагрузки, а коэффициент несимметрии напряжения по нулевой последовательности одного 9-этажного жилого дома может составлять 20%, что на шинах трансформаторной подстанции (точке общего присоединения) может превысить нормально допустимые 2%.

Мероприятия по снижению несимметрии напряжения:

1. Равномерное распределение нагрузки по фазам.
2. Применение симметрирующих устройств.

4.6. Отклонение частоты

Отклонение частоты – это разность, усредненная за 10 минут между фактическим значением основной частоты и ее значением. Отклонение частоты от номинального значения в нормальном режиме работы допускается в пределах $\pm 0,1$ Гц. Кратковременные отклонения могут достигать $\pm 0,2$ Гц.

$$\Delta f\% = \frac{f_{н\sigma} - f_{н.н}}{f_{нон}} 100\%;$$

$$\Delta f = f_{н\sigma} - f_{н.н} \quad (4.5)$$

Основной причиной возникновения колебаний частоты являются мощные приемники электроэнергии с резкопеременной активной нагрузкой (тиристорные преобразователи главных приводов прокатных станов). Активная мощность этих приемников изменяется от нуля до максимального значения за время менее 0,1 с, вследствие чего колебания частоты могут достигать больших значений.

Изменения частоты даже в небольших пределах влияют на работу электросетей и приемников электроэнергии. Понижение частоты тока приводит к увеличению потерь мощности и напряжения в электросетях и к недовыработке продукции. Влияние снижения частоты на потребляемую мощность электроприемников различно.

1. Потребляемая мощность приемниками электроосвещения, электропечами сопротивления и дуговыми электропечами практически незначительно зависит от частоты.

2. Мощность, забираемая механизмами с постоянным моментом на валу (металлорежущие станки, поршневые насосы, компрессоры и др.), пропорциональна частоте.

3. Потери мощности в сети пропорциональны квадрату частоты.

4. Потребляемая механизмами с вентиляторным моментом сопротивления (центробежные насосы, вентиляторы, дымососы и др.) мощность пропорциональна частоте в третьей степени.

5. У центробежных насосов, работающих на сеть с большим статическим напором (противодавлением), например у питательных насосов котельных, потребляемая мощность пропорциональна частоте в степени выше третьей.

Изменение частоты существенно влияет на работу приборов и аппаратов, применяемых в телевидении, вычислительной технике.

Разгрузка энергосистемы при образовавшемся недостатке мощности осуществляется устройствами автоматической частотной разгрузки (АЧР) или вручную персоналом энергосистемы путем отключения потребителей по питающим линиям (трансформаторам) в соответствии со специально разработанным так называемым аварийным графиком (АГ). Устройства АЧР предназначены для разгрузки энергосистемы при авариях, вызванных большим дефицитом мощности. Величина АЧР принимается не менее 50% нагрузки энергосистемы с разбивкой на очереди с различными объемами разгрузки и различными уставками автоматов по частоте и выдержке времени.

Частотная разгрузка применяется совместно с частотным автоматическим повторным включением (ЧАПВ), восстанавливающим электроснабжение отключенных потребителей.

Устройства автоматического включения резерва АВР используются на предприятиях без учета общих интересов электроснабжения потребителей при возникающих дефицитах мощности в энергосистеме.

Правильное использование АВР в сетях потребителей может быть обеспечено за счет рационального размещения АВР и согласования действия АВР с действиями АЧР.

4.7. Провал напряжения

Провал напряжения (рис. 4.1) характеризуется показателем длительности провала напряжения, для которого установлена следующая норма – предельно допустимое значение длительности провала напряжения в электрических сетях

напряжением до 20 кВ включительно равно 30 с. Длительность автоматически устраняемого провала напряжения в любой точке присоединения к электрическим сетям определяется выдержками времени релейной защиты и автоматики.

Провалы напряжения – внезапное и значительное снижение напряжения (менее 90% $U_{НОМ}$) длительностью от нескольких периодов до нескольких десятков секунд с последующим восстановлением напряжения.

Причинами провалов напряжения является срабатывание средств защиты и автоматики при отключении грозовых перенапряжений, токов короткого замыкания, а также при ложных срабатываниях защит или в результате ошибочных действий оперативного персонала. ГОСТ 13109-97 не нормирует провал напряжения, он ограничивает его продолжительность 30 с. Правда, эти явления длительностью больше 30 с практически не случаются – напряжение автоматически устраняемого провала напряжения в любой точке присоединения к электрическим сетям определяется выдержками времени релейной защиты и автоматики.

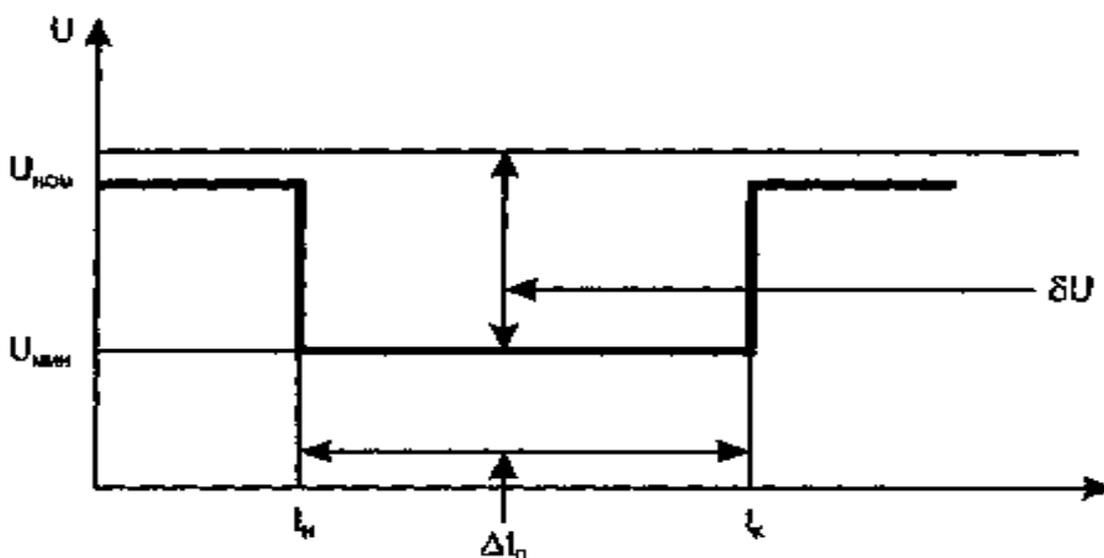


Рис. 4.1. Провал напряжения

Характеристикой провала напряжения является его длительность $\Delta t_{П}$, равная

$$\Delta t_{П} = t_{К} - t_{Н}, \quad (4.6)$$

где $t_{Н}$ и $t_{К}$ начальный и конечный моменты времени провала напряжения. Провал напряжения характеризуется также глубиной провала напряжения $\Delta U_{П}$, $\delta U_{П}$ – разностью между номинальным значением напряжения и минимальным действующим значением напряжения, выраженной в единицах напряжения или в процентах от его номинального значения. Провал напряжения вычисляется по выражениям

$$\Delta U_{\Pi} = U_{\text{НОМ}} - U_{\text{МИН}}, \quad (4.7)$$

$$\delta U_{\Pi} = (U_{\text{НОМ}} - U_{\text{МИН}}) / \sqrt{2} U_{\text{НОМ}}. \quad (4.8)$$

4.8. Импульс напряжения

Импульс напряжения характеризуется показателем импульсного напряжения.

Искажение формы кривой питающего напряжения может происходить за счет появления высокочастотных импульсов при коммутациях в сети, работе разрядников и т.д. Импульс напряжения – резкое изменение напряжения в точке электрической сети, за которым следует восстановление напряжения до первоначального или близкого к нему уровня. Величина искажения напряжения при этом характеризуется показателем импульсного напряжения (рис. 4.2).

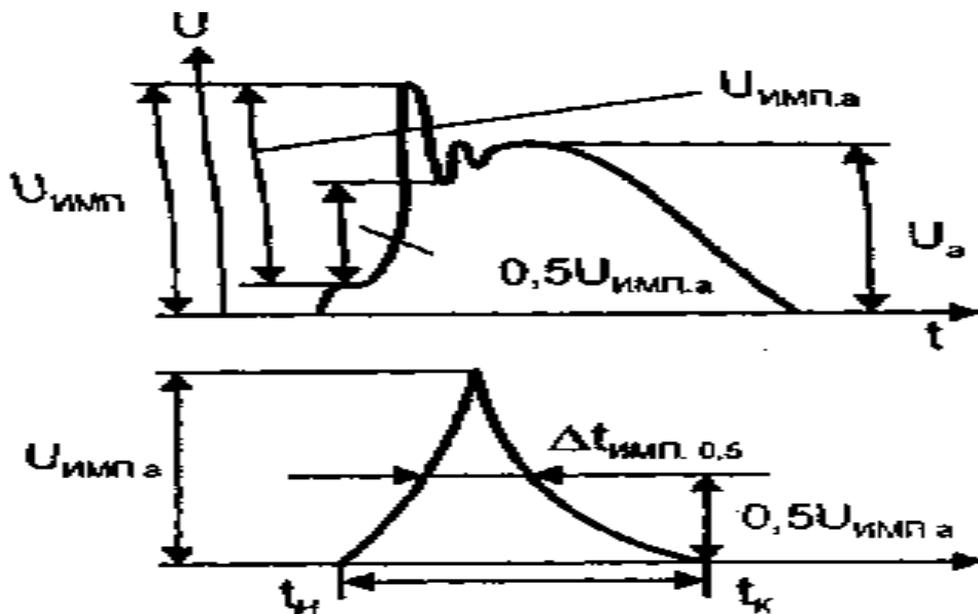


Рис. 4.2. Параметры импульсного напряжения

Импульсное напряжение в относительных единицах равно

$$\delta U_{\text{ИМП}} = U_{\text{ИМП}} / \sqrt{2} U_{\text{НОМ}}, \quad (4.9)$$

где $U_{\text{ИМП}}$ - значение импульсного напряжения, В.

Амплитудой импульса называется максимальное мгновенное значение импульса напряжения. Длительность импульса – это интервал времени между начальным моментом импульса напряжения и моментом восстановления мгновенного значения напряжения до первоначального или близкого к нему уровня. Показатель «импульсное напряжение» стандартом не нормируется.

Величина импульса перенапряжения зависит от многих условий, но всегда значительна и может достигать многих сотен тысяч вольт. ГОСТ 13109-97 приводит справочные значения импульсного перенапряжения при коммутациях для разных типов сетей.

4.9. Временное перенапряжение

Временное перенапряжение – повышение напряжения в точке электрической сети выше $1,1 U_{НОМ}$ продолжительностью более 10 мс, возникающее в системах электроснабжения при коммутациях или коротких замыканиях (рис. 4.3).

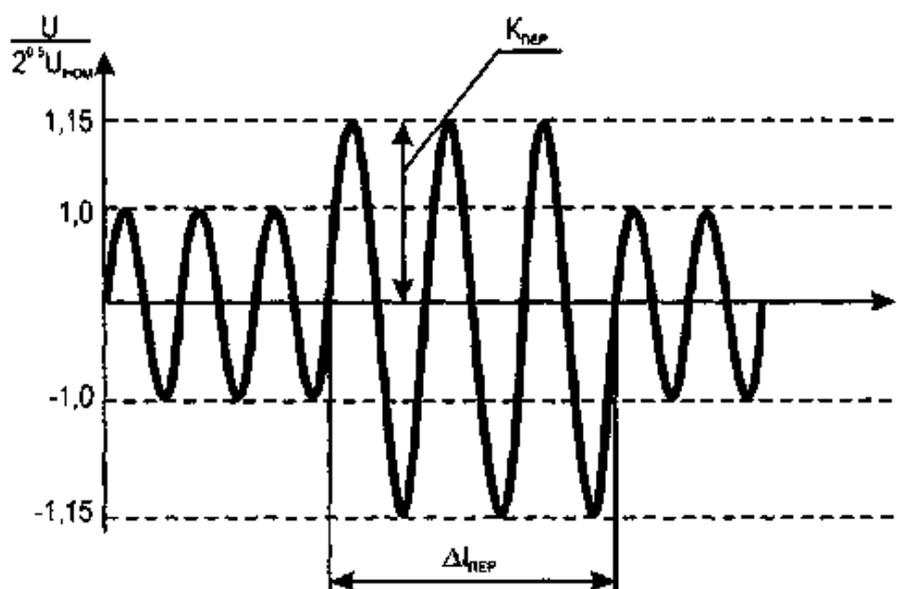


Рис. 4.3. Временное перенапряжение

Временное перенапряжение характеризуется коэффициентом временного перенапряжения $K_{перU}$ – это величина, равная отношению максимального значения огибающей амплитудных значений напряжения за время существования временного перенапряжения к амплитуде номинального напряжения сети:

$$K_{перU} = U_{макс} / \sqrt{2} U_{НОМ}, \quad (4.10)$$

Длительностью временного перенапряжения называется интервал времени между начальным моментом возникновения временного перенапряжения и моментом его исчезновения:

$$\Delta t_{перU} = t_{к пер} - t_{н пер}, \quad (4.11)$$

Коэффициент временного перенапряжения стандартом не нормируется.

Значения коэффициента временного перенапряжения в точках присоединения электрической сети общего назначения в зависимости от длительности временных перенапряжений не превышают значений, приведенных в таблице 4.3. В среднем за год в точке присоединения возможны около 30 временных перенапряжений.

Таблица 4.3

Зависимость коэффициента временного перенапряжения от длительности перенапряжения

Длительности временных перенапряжений $\Delta t_{пер U}$, с	до 1	до 20	до 60
Коэффициент временного перенапряжения $K_{пер U}$, о.е.	1,47	1,31	1,15

При обрыве нулевого проводника в трехфазных электрических сетях напряжением до 1 кВ, работающих с глухозаземленной нейтралью, возникают временные перенапряжения между фазой и землей. Уровень таких перенапряжений при значительной несимметрии фазных нагрузок может достигать значений междуфазного напряжения, а длительность – нескольких часов.

Нормированные значения коэффициента несимметрии напряжений по нулевой последовательности в точке общего присоединения к четырехпроводным электрическим сетям с номинальным напряжением 0,4 кВ также равны 2,0 и 4,0%.

Значения погрешности измерений показателей КЭЭ должны находиться в интервале, ограниченном предельно допускаемыми значениями. Сведем показатели КЭЭ, нормы КЭЭ и пределы допустимых погрешностей измерений показателей КЭЭ в таблицу 4.4.

Нормы и пределы допустимых погрешностей качества электрической энергии

Показатель качества электрической энергии, ед. изм.	Нормы КЭЭ		Пределы допустимых погрешностей измерений показателя КЭЭ	
	нормально допустимые	предельно допустимые	абсолютной	относительной, %
Установившееся отклонение напряжения δU_p , %	± 5	± 10	$\pm 0,5\%$	–
Размах изменения напряжения δU_z , %	–	кривые 1, 2 на рис. 10.7	–	± 8
Доза фликера, отн. ед., – кратковременная P_{St} – длительная P_{Lt}	– –	1,38; 1,0 1,0; 0,74	– –	± 5 ± 5
Коэффициент искажения синусоидальности напряжения K_U , %	По табл. 10.5	По табл. 10.5	–	± 10
Коэффициент n -й гармонической составляющей напряжения $K_{U(n)}$, %	По табл. 10.6	По табл. 10.6	$\pm 0,05\%$ при $K_{U(n)} < 1,0$	± 5 при $K_{U(n)} \geq 1,0$
Коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности K_{2U} , %	2	4	$\pm 0,3\%$	–
Коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности K_{0U} , %	2	4	$\pm 0,5\%$	–
Отклонение частоты Δf , Гц	$\pm 0,2$	$\pm 0,4$	$\pm 0,03$ Гц	–
Длительность провала напряжения Δt_n , с	–	30	± 10 мс	–
Импульсное напряжение $U_{имп}$, кВ	–	–	–	± 10
Коэффициент временного перенапряжения $K_{пер U}$, отн. ед.	–	–	–	± 10

Глава 5. ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ОБСТАНОВКА НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ И ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТАХ

5.1. Классификация электромагнитной обстановки окружающей среды

Совокупность уровней помех на объекте называется электромагнитной обстановкой (ЭМО). Следует отметить большой разброс параметров ЭМО (например, уровней помех при коммутационных операциях, коротких замыканиях, грозových разрядах и пр.), которые проявляются в различных количественных и качественных интенсивностях электромагнитных воздействий. На основании предпроектных изысканий, расчетов, моделирования и анализа ЭМО определяют классы ЭМО для энергообъектов, устанавливают классы жесткости испытаний устройств автоматизированных систем технологического управления (АСТУ) по условиям помехоустойчивости. Помехоустойчивость аппаратуры, устройств, различных элементов системы обуславливает надежность функционирования этих технических средств в определенной электромагнитной обстановке. Для выявления требований, предъявляемым к различным устройствам в отношении электромагнитной совместимости, необходимо классифицировать окружающую среду по видам и уровням электромагнитных воздействий.

По критериям МЭК 61000-2-5-2002 определяют электромагнитную обстановку окружающей среды следующим образом:

Класс 1 – легкая электромагнитная обстановка.

Класс 2 – электромагнитная обстановка средней жесткости.

Класс 3 – жесткая электромагнитная обстановка.

Класс 4 – крайне жесткая электромагнитная обстановка.

Для каждого класса по критериям МЭК 61000-2-5-2002 определены мероприятия, выполнение которых обеспечивает соответствующую ЭМО окружающей среды.

Класс 1 – легкая электромагнитная обстановка. В этом классе ЭМО должны быть выполнены следующие мероприятия:

- осуществлены оптимизированные и скоординированные мероприятия по подавлению помех, защите от перенапряжений во всех цепях;
- электропитание отдельных элементов устройства резервировано, силовые и контрольные кабели проложены отдельно;
- выполнение заземляющего устройства, прокладка кабелей, экранирование произведены в соответствии с требованиями ЭМС;
- климатические условия контролируются и приняты специальные меры по предотвращению разрядов статического электричества.

Класс 2 – электромагнитная обстановка средней жесткости. В этом классе ЭМО наблюдается следующее:

- 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 АСТУ осуществляется от сетевых стабилизаторов напряжения;

- имеется тщательно выполненное заземляющее устройство;

- токовые контуры разделены гальванически;

- предусмотрено регулирование влажности воздуха;

- материалы, способные электризоваться трением, отсутствуют;

- применение радиопереговорных устройств, передатчиков запрещено.

Класс 3 – жесткая электромагнитная обстановка. В этом классе ЭМО допускается следующее:

- защита от перенапряжений в силовых цепях и цепях управления не предусмотрена;

- повторного зажигания дуги в коммутационных аппаратах не происходит;

- имеется заземляющее устройство;

- силовые, контрольные кабели и коммутационные цепи разделены;

- контрольные кабели линий передачи данных, сигнализации, управления разделены;

- относительная влажность воздуха поддерживается в определенных пределах;

- нет материалов, электризуемых трением;

- использование переносных радиопереговорных устройств ограничено (установлены ограничения приближения к приборам на определенное расстояние).

Класс 4 – крайне жесткая электромагнитная обстановка. ЭМО этого класса жесткости характеризуется следующим:

- защита в цепях управления и силовых контурах от перенапряжений отсутствует;

- имеются коммутационные устройства, в аппаратах которых возможно повторное зажигание дуги;

- существует неопределенность в выполнении заземляющего устройства;

- нет пространственного разделения силовых, контрольных кабелей и коммутационных цепей;

- допустимы любая влажность воздуха и наличие электризуемых трением материалов;

- возможно неограниченное использование переносных радиопереговорных устройств;

- в непосредственной близости могут находиться мощные радиопередатчики;

- вблизи могут находиться мощные технологические устройства (электропечи, сварочные машины и т.п.).

По результатам классификации ЭМО по видам воздействий устанавливаются степени жесткости испытаний устройств АСТУ, при этом

порядковые номера класса ЭМО и степеней жесткости испытаний должны совпадать.

5.2. Виды испытаний на ЭМС и критерии качества функционирования технических средств при испытаниях

В соответствии с классом ЭМО окружающей среды устанавливают состав и степень жесткости испытаний технических средств. Все испытания на ЭМС следует разделить на следующие:

- испытания на помехоэмиссию;
- испытания на помехоустойчивость.

При испытаниях на помехоэмиссию рассматривают индуктивные (излучаемые) и кондуктивные электромагнитные помехи, гармоники тока и фликер.

Испытания на помехоустойчивость осуществляют к кондуктивным и индуктивным помехам. Все виды испытаний необходимо проводить в соответствии с нормативными документами (таблица 5.1).

Следующие ТС в соответствии с ГОСТами подлежат обязательному испытанию на ЭМС:

1. Технические средства, применяемые в жилых домах, коммерческих зонах и производственных зонах с малым энергопотреблением (ГОСТ Р 51317.6.1-99).
2. Телевизоры, радиоприемники и другая бытовая радиоэлектронная аппаратура (ГОСТ Р 51515-99).
3. Профессиональная аудио-, видео- и аудиовизуальная аппаратура (ГОСТ Р 51408-99).
4. Световое оборудование общего назначения (ГОСТ Р 51514-99).
5. Бытовые электрические приборы, электрические инструменты и аналогичные устройства (ГОСТ Р 51318.14.2-99).
6. Системы бесперебойного питания, устройства защиты от сетевых помех (ГОСТ Р 50745-99).
7. Оборудование информационных технологий (ГОСТ Р 51318.24-99).
8. Электрическое оборудование для измерения, управления и лабораторного применения (ГОСТ Р 51522-99).
9. Технические средства, применяемые в жилых домах, коммерческих зонах и производственных зонах с малым энергопотреблением (ГОСТ Р 51317.6.1-99).
10. Телевизоры, радиоприемники и другая бытовая радиоэлектронная аппаратура (ГОСТ Р 51515-99).
11. Профессиональная аудио, видео и аудиовизуальная аппаратура (ГОСТ Р 51408-99).
12. Технические средства, применяемые в жилых домах, коммерческих зонах и производственных зонах с малым энергопотреблением (ГОСТ Р 51317.6.1-99).

Виды испытаний электромагнитной совместимости и соответствующие нормативные документы

Наименование помехи. Вид испытаний	Обозначение ГОСТа, МЭКа
1. Электростатические разряды	ГОСТ 51317.4.2-99 (МЭК 61000-4-2-95) ISO 7816-1(01/07/1997) ГОСТ 20.39.308-98
2. Излучаемое радиочастотное электромагнитное поле	ГОСТ 51317.4.3-99 МЭК 61000-4-3-95
3. Наносекундные импульсные помехи	ГОСТ 51317.4.4-99 МЭК 61000-4-4-95
4. Микросекундные импульсные помехи большой энергии	ГОСТ 51317.4.5-99 МЭК 61000-4-5-95
5. Кондуктивные помехи, созданные радиочастотными электромагнитными полями	ГОСТ 51317.4.6-99 МЭК 61000-4-6-95
6. Магнитное поле промышленной частоты	ГОСТ 50648-94 МЭК 1000-4-8-93
7. Динамические изменения напряжения электропитания	ГОСТ 51317.4.11-99 МЭК 61000-4-11-95
8. Импульсное магнитное поле	ГОСТ 50649 МЭК 1000-4-9-93 ГОСТ 50746-95 п. 5,10
9. Затухающие колебания магнитного поля	ГОСТ 51317.4.12-99 МЭК 61000-4-12-97
10. Колебательные затухающие помехи, в том числе: - одиночные колебательные затухающие помехи; - повторяющиеся колебательные затухающие помехи	ГОСТ 51317.4.12-99 МЭК 61000-4-12-97
11. Низкочастотные гармоники и интергармоники, включая сигналы, передаваемые по силовым линиям	МЭК 61000-4-13 МЭК 870-2-1-95 ГОСТ 50009-92
12. Колебания напряжения электропитания	ГОСТ 51317.4.14-2000 МЭК 61000-4-14-99
13. Кондуктивные помехи в полосе частот от 0 до 150 кГц	ГОСТ 51317.4.16-2000 МЭК 61000-4-16-98
14. Микросекундные импульсные помехи 100/1300 мкс	ГОСТ 51179-98, ГОСТ 29280-92 п. 2.1, МЭК 1000-4-92
15. Изменение частоты питающего напряжения	ГОСТ 51317.4.28-2000 (МЭК 61000-4-28-99)

13. Телевизоры, радиоприемники и другая бытовая радиоэлектронная аппаратура (ГОСТ Р 51515-99).

14. Профессиональная аудио, видео и аудиовизуальная аппаратура (ГОСТ Р 51408-99).

15. Световое оборудование общего назначения (ГОСТ Р 51514-99).

16. Бытовые электрические приборы, электрические инструменты и аналогичные устройства (ГОСТ Р 51318.14.2-99).
17. Системы бесперебойного питания, устройства защиты от сетевых помех (ГОСТ Р 50745-99).
18. Оборудование информационных технологий (ГОСТ Р 51318.24-99).
19. Электрическое оборудование для измерения, управления и лабораторного применения (ГОСТ Р 51522-99).
20. Медицинские электрические изделия (ГОСТ Р 50627.0.2-95).
21. Оборудование проводной связи (ГОСТ Р 50932-95).
22. Технические средства радиосвязи (ГОСТ Р 50799-95).
23. Персональные ЭВМ (ГОСТ Р 50628-2000).
24. Средства вычислительной техники и информатики (ГОСТ Р 50839-2000).
25. Контрольно-кассовые машины (ГОСТ Р 50747-2000).
26. Оборудование распределительных сетей приемных систем телевидения и радиовещания (ГОСТ Р 51513-99).
27. Охранная сигнализация (ГОСТ Р 51699-2000, ГОСТ Р 50009-2000).
28. Оборудование атомных станций (ГОСТ Р 50746-2000).
29. Технические средства, применяемые в промышленных зонах (ГОСТ Р 51317.6.2-99).
30. Измерительные реле и устройства защиты (ГОСТ Р 51516-99, ГОСТ Р 51525-99).
31. Электрическое оборудование для измерения, управления и лабораторного применения (ГОСТ Р 51522-99).
32. Системы электрического привода с регулируемой скоростью вращения (ГОСТ Р 51524-99).
33. Оборудование для дуговой сварки (ГОСТ Р 51526-99).
34. Устройства и системы телемеханики (ГОСТ Р 51179-98).
35. Устройства защитного отключения (ГОСТ Р 51329-99).

При испытаниях технических средств на помехоустойчивость применяют критерии качества функционирования аппаратуры. Эти критерии (табл. 5.2) используются для формализации описания поведения аппаратуры под воздействием различных электромагнитных помех. Рассмотрим эти критерии:

Критерий А – воздействие электромагнитных помех никак не отражается на функциональных характеристиках аппаратуры, работа которой во время и после воздействия помехи происходит в полном соответствии с техническими условиями или стандартами. Обычно выполнение критерия *А* требуется для аппаратуры, используемой при выполнении функций высокой важности в реальном масштабе времени. В первую очередь, это аппаратура защиты и противоаварийной автоматики.

Критерий В – допускается временное ухудшение функциональных характеристик аппаратуры в момент воздействия помехи. После прекращения воздействия электромагнитных помех функционирование полностью восстанавливается *без вмешательства обслуживающего персонала*. Этот критерий обычно используется для аппаратуры, выполняющей задачи высокой

важности, однако не в реальном масштабе времени. Однако здесь не определено четко допустимое время восстановления функциональных характеристик после воздействия помехи. Это важно, например, когда речь идет о цифровой аппаратуре, воздействие электромагнитных помех на которую приводит к перезагрузке.

Таблица 5.2

Критерии качества функционирования устройств, технических средств и аппаратуры при испытаниях

Критерии качества функционирования	Качество функционирования технических средств
А	Нормальное функционирование с параметрами в соответствии с техническими условиями
В	Кратковременное нарушение функционирования или ухудшение параметров с последующим восстановлением нормального функционирования без вмешательства оператора
С	Нарушение функционирования или ухудшение параметров, требующее для восстановления нормального функционирования вмешательство оператора
Д	Нарушение функционирования или ухудшение параметров, требующее ремонта из-за выхода из строя оборудования или компонентов

Критерий С – аналогичен *В*, но, в отличие от него, допускает вмешательство персонала для восстановления работоспособности аппаратуры (например, перезагрузки «зависшей» цифровой системы, повторного набора номера и т.п.). Обычно используется для аппаратуры, не предназначенной для выполнения ответственных задач.

Критерий С – физическое повреждение аппаратуры под действием помехи. По понятным причинам, этот критерий не может использоваться для формулировки требований к устойчивости аппаратуры.

Несмотря на высокий уровень формализации, применение этих критериев часто требует дополнительной информации. Такая конкретизация обычно отражается в стандартах на виды продукции, технических условиях и программах испытаний на ЭМС.

Кроме того, для достижения требуемого уровня ЭМС необходимо, с одной стороны, обеспечить определенный уровень **собственной устойчивости** технических средств или аппаратуры к помехам, а с другой, – ЭМО на объекте должна поддерживаться в таком состоянии, чтобы действующие на аппаратуру помехи не превышали уровней устойчивости этой аппаратуры в строгом соответствии с классом жесткости.

5.3. Мероприятия по обеспечению электромагнитной совместимости в соответствии с классом жесткости электромагнитной обстановки

Все мероприятия по обеспечению ЭМС в соответствии с классом жесткости ЭМО подразделяют на:

- нормативные;
- организационные;
- инженерно-технические.

Нормативные мероприятия заключаются в следующем:

проектирование, монтаж и эксплуатация выполняются в соответствии с нормативно-техническими требованиями (законы, ГОСТы, СанПиНы, стандарты МЭК, ПУЭ и пр.).

Организационные мероприятия подразумевают:

- а) разработку плана проведения мероприятий по контролю за ЭМО;
- б) разработку методики проведения обследований по ЭМС;
- в) разработку мероприятий по снижению уровня электромагнитных помех.

Инженерно-технические мероприятия включают в себя:

- а) оценку эксплуатационного состояния заземляющего устройства, включая заземление средств грозозащиты;
- б) определение трасс растекания токов при грозовом разряде и КЗ;
- в) оценку качества напряжения питания от основных и резервных источников;
- г) оценку уровней электромагнитных полей.

Все мероприятия по обеспечению ЭМС должны выполняться в соответствии с Методическими указаниями «Требования по выполнению условий электромагнитной совместимости на объектах электроэнергетики» (2005 г.).

Мероприятий по обеспечению ЭМС делят на следующие этапы:

1. Проектирование.
2. Строительство, монтаж, пусконаладочные работы.
3. Эксплуатация.

На каждом этапе должны строго выполняться нормативные, организационные и инженерно-технические мероприятия в части обеспечения ЭМС технических средств и аппаратуры в строгом соответствии с классом жесткости ЭМО.

Проектирование – это не только выполнение проекта какого-либо объекта, но и в том числе выбор аппаратуры и кабельных линий АСТУ. АСТУ включает следующие устройства:

- релейной защиты и автоматики (РЗА) элементов сети;
- противоаварийной автоматики (ПА);
- автоматизированной системы управления (АСУ) оборудованием;
- автоматического регулирования напряжения (АРН);
- системы сбора и передачи технологической информации (ССПИ);
- автоматизированной системы коммерческого учета электрической энергии и мощности (АСКУЭ).

На этом этапе (этап проектирования) необходимы следующие исходные данные:

- техническое задание на проектирование, в том числе электросетевого объекта с учетом требований по ЭМС АСТУ;
 - нормативно-техническая документация по проектированию объектов электроэнергетики с учетом ЭМС АСТУ;
 - данные об ЭМО проектируемого объекта и потенциальных источниках помех;
 - рекомендуемые мероприятия по обеспечению ЭМС АСТУ объекта;
 - технические условия на аппаратуру АСТУ с учетом требований к характеристикам ЭМС (к классам жесткости испытаний в зависимости от ЭМО в местах установки аппаратуры);
 - технические условия на кабельные линии АСТУ (вторичной коммутации) с учетом требований по ЭМС;
 - раздел проекта в части обеспечения ЭМС АСТУ на объекте;
 - техническое задание на разработку тендерной документации поставки оборудования АСТУ с учетом требований по ЭМС;
 - сертификационные материалы по ЭМС на оборудование АСТУ объекта.
- Организационные требования на этапе проектирования по условиям обеспечения ЭМС включают контроль:
- за разработкой технического задания на проектирование в части вопросов ЭМС;
 - выбором оборудования по помехоустойчивости;
 - соответствием ЭМО объекта параметрам проектируемых устройств АСТУ по помехоустойчивости;
 - выполнением требований нормативно-технической документации по обеспечению ЭМС;
 - разработкой мероприятий по улучшению ЭМО на объекте за счет применения современных устройств АСТУ;
 - разработкой мероприятий по защите устройств АСТУ от электромагнитных воздействий. При проведении надзора за разработкой проектной документации исходят из следующего:
 - техническое задание на проектирование АСТУ содержит требования по обеспечению условий ЭМС;
 - технический проект содержит технико-экономическое обоснование решений по условиям обеспечения ЭМС.

Строительство, включая монтаж, испытания и сдачу в эксплуатацию.

На этом этапе необходимо:

- выполнение рабочей проектной документации в части требований по ЭМС АСТУ при строительстве, в том числе электросетевого объекта, и монтаже силового и электротехнического оборудования;
- экспериментальная проверка ЭМО и проверка выполнения условий ЭМС АСТУ объекта после завершения монтажных и наладочных работ.

Диагностику состояния заземляющего устройства выполняют в соответствии с методическими указаниями (РД 153-34.0-20.525-00, МЭК77В/168/CDV) исходя из следующих условий:

- потенциал заземляющего устройства при коротком замыкании на землю не должен превышать допустимого значения;
- разность потенциалов между распределительным щитом и местом короткого замыкания не должна превышать испытательного значения для изоляции контрольных кабелей вторичной коммутации;
- уровни импульсных помех, связанных с подъемом потенциала при коротком замыкании, при коммутации силового оборудования и ударах молнии не должны превышать допустимых для аппаратуры значений.

Кроме того, проводят диагностику ЭМО, анализируя следующие виды электромагнитных воздействий:

- помехи, обусловленные токами и напряжениями промышленной частоты при коротком замыкании на землю;
- импульсные помехи, вызванные подъемом потенциала заземлителя при коротких замыканиях на землю и коммутациях силового оборудования;
- импульсные излучаемые помехи при коротких замыканиях и коммутациях силового оборудования;
- импульсные индуктивные (излучаемые) помехи, вызванные ударами молнии;
- электростатический потенциал тела оператора;
- электромагнитные поля радиочастотного диапазона;
- магнитные поля промышленной частоты;
- импульсные магнитные помехи;
- кондуктивные помехи радиочастотного диапазона;
- кондуктивные помехи в цепях постоянного оперативного тока;
- взаимное влияние кабелей на низкой частоте.

При необходимости по результатам диагностики разрабатывают мероприятия по улучшению ЭМО с указанием степени жесткости испытаний в соответствии с классом ЭМО, которые должны быть выполнены в обязательном порядке.

Эксплуатация. На этом этапе необходимо выполнять:

- периодическую проверку ЭМО на электросетевом объекте;
- периодическую проверку состояния заземляющего устройства электросетевого объекта по условиям ЭМС АСТУ;
- периодическую проверку системы молниезащиты, коммутационной аппаратуры и средств ограничения перенапряжений по условиям ЭМС;
- проведение работ по устранению дефектов, обнаруженных при проведении периодических проверок ЭМО, заземляющих и молниезащитных устройств.

5.4. Контроль электромагнитной обстановки

Функционирование любого современного предприятия или организации невозможно без применения различной электронной аппаратуры, в том числе и на основе микропроцессорных устройств. Это позволяет эффективно организовать производственные процессы, обеспечить выполнение сложных алгоритмов (в том числе диспетчеризации на транспорте), повысить эффективность контроля качества продукции, автоматизировать многие трудоемкие операции, улучшить обслуживание потребителей и т.д. Поэтому электронная аппаратура широко внедряется в области, где на нее возлагаются все более и более ответственные задачи. Но при этом, к сожалению, она может подвергаться внешним электромагнитным воздействиям, способным вызвать сбои в работе или вообще вывести аппаратуру из строя. Отказ электронного оборудования может привести к очень серьезным последствиям.

Для нормального функционирования современных электронных устройств необходимо обеспечивать их ЭМС с электромагнитной обстановкой на объекте.

Оценку ЭМО на различных объектах, в том числе и объектах электроэнергетики, необходимо начинать с выявления характерных признаков неблагоприятной электромагнитной обстановки. Наиболее частые признаки неблагоприятной ЭМО показаны на рисунке 5.1. Все приведенные признаки неблагоприятной ЭМО являются результатом воздействия различного уровня и всевозможного характера электромагнитных помех.

С целью оценки ЭМО для существующих объектов производится комплекс измерений, позволяющих оценить состояние заземляющего устройства по условиям ЭМС, уровни импульсных помех при коммутациях электрооборудования, уровни магнитных полей и электростатических потенциалов в нормальном режиме работы объекта и т.п. Сложнее оценить помехи и поля от источников, прямые измерения для которых фактически невозможны. Так, прямые измерения полей и помех при молниевых разрядах и коротких замыканиях в высоковольтной сети удается произвести достаточно редко. Поэтому здесь необходимо применять методы расчетного и имитационного моделирования.

Оценивая ЭМО на стадии проектирования новых объектов, приходится всецело полагаться на существующую нормативную документацию (к сожалению, не всегда достаточную и иногда противоречивую), а также на расчетные методы, позволяющие производить достаточно точный анализ.

Принято считать, что, имея результаты оценки ЭМО и данные по помехоустойчивости аппаратуры, можно чуть ли не автоматически определить, обеспечивается ЭМС устройств релейной защиты и автоматики (РЗА) на данном объекте или нет. Однако интерпретация результатов оценки ЭМО и «привязка» их к уровням помехоустойчивости аппаратуры – задачи довольно сложные.



Рис. 5.1. Признаки неблагоприятной электромагнитной обстановки

Для комплексного решения проблемы ЭМС с ЭМО необходимо после оценки ЭМО на объекте определить достоверные данные о помехоустойчивости используемой аппаратуры, далее разработать мероприятия по обеспечению ЭМС, осуществить реализацию разработанных мероприятий и провести итоговый контроль ЭМО на предприятии.

5.5. Особенности электромагнитной обстановки на энергетических и промышленных объектах

Электромагнитная обстановка на энергетических и промышленных предприятиях является достаточно жесткой. Однако уровни помех даже на однотипных предприятиях могут быть совершенно разными. Существенную роль играют такие факторы, как отклонения от проекта в ходе его реализации, старение заземляющего устройства, проведенные модернизации и т.п. Поэтому оценка ЭМО на любом конкретном предприятии требует индивидуального

подхода. Обычно ЭМО тем хуже, чем выше энерговооруженность предприятия. Следовательно, установка оборудования на основе микропроцессорной технологии на энергоемких производствах и объектах электроэнергетики требует тщательного подхода к защите от электромагнитных помех. При этом следует учитывать также и электромагнитные помехи внешнего происхождения как природного, так и техногенного характера (например, грозовые разряды или излучение близко расположенной радиостанции).

Опыт, накопленный в процессе определения ЭМО на промышленных и энергетических объектах, показывает, что в большинстве своем проблемы ЭМС были созданы еще при проектировании электрических станций и подстанций. Среди наиболее распространенных существующих в настоящее время проблем можно назвать следующие:

- неудовлетворительные характеристики заземляющих устройств по условиям ЭМС;
- молниезащита выполняется без учета влияния импульсных разностей потенциалов и электромагнитных полей на вторичные цепи и аппаратуру;
- экранирование вторичных цепей осуществляется произвольно без учета реальной необходимости;
- устройства защиты от импульсных перенапряжений (УЗИП) практически не используются во вторичных цепях энергетических и промышленных объектов.

Поэтому решение большей части проблем ЭМС должно происходить именно при проектировании новых и реконструируемых объектов. Применение современных расчетных методов определения ЭМО позволяет получить достаточно полную информацию по уровням помех уже *на стадии проектирования* объектов. Для существующих объектов, подлежащих реконструкции, определение электромагнитной обстановки происходит, в основном, методами прямого измерения и имитационного моделирования. Следует, однако, отметить, что даже при тщательном учете вопросов ЭМС на стадии проектирования существует необходимость последующей экспериментальной проверки ЭМО. Связано это с невозможностью учета всех влияющих факторов на стадии проектирования объекта, неизбежными дефектами монтажных работ, недокументированными изменениями конструкции объекта в ходе его эксплуатации, коррозией заземлителей и т.п. Практика показывает, что для полного решения проблемы ЭМС необходим *комплексный подход*.

Различные воздействующие факторы вызывают ухудшение ЭМО на предприятиях, но в качестве основных необходимо выделить источники электромагнитных помех, определяющих уровень ЭМС с ЭМО. Рассмотрим наиболее характерные причины ухудшения ЭМО. Оценивая ЭМО энергетических и промышленных объектов, можно выделить некоторые особенности, которые отражают ЭМС функционирования аппаратуры. Характерные особенности ЭМО и результат воздействия представлены в таблице 5.3.

Особенности ЭМО на объектах

Особенности ЭМО	Воздействие
Помехи при коротких замыканиях на землю	1. Приводит к возникновению перепадов в пределах ЗУ. 2. Создает магнитное поле, амплитуда которого часто составляет сотни ампер на метр. 3. Воздействие обоих факторов вызывает значительные перенапряжения, опасные для аппаратуры и даже изоляции кабелей.
Помехи при грозовых разрядах	1. Растекание тока молнии по элементам систем заземления и питания информационной техники. 2. Непосредственное воздействие импульсного электромагнитного поля на аппаратуру.
Импульсные помехи при коммутационных операциях выключателями и разъединителями	Возникает высокочастотный переходный процесс, в результате которого создаются электромагнитные поля, способные вызывать наводки во вторичных кабелях и даже во внутренних цепях аппаратуры.
Импульсные помехи при работе электромеханических устройств	1. Переключения сопровождаются коммутационными помехами. 2. Работа традиционных электромеханических реле может приводить к генерации помех до 2-3 кВ.
Протекание значительных токов по ЗУ в нормальном режиме работы объекта	На ЗУ этих объектов постоянно присутствует значительный потенциал, воздействие которого на аппаратуру редко бывает разрушительным, но малейшая несимметрия вызывает сильное повышение уровней шумов в каналах проводной связи.
Низкочастотные магнитные поля при нормальной работе силового электрооборудования	1. Негативное влияние на дисплеи (дрожание изображения), что приводит к быстрой утомляемости оперативного персонала. 2. Оказываются превышенными требования Санитарных правил и норм.
Высокочастотные электромагнитные поля, излучаемые радиосредствами	Отказ в работе электронной аппаратуры.
Низкое качество напряжения питания	Включение мощных потребителей способно вызывать броски напряжения питания и последующие переходные процессы с амплитудой порядка киловольт.

5.6. Мероприятия по улучшению электромагнитной обстановки

Одним из первых шагов к улучшению ЭМО на ответственном объекте является выполнение работ по ее оценке. При этом проводится комплексное обследование систем электроснабжения, заземления и молниезащиты. С помощью современной аппаратуры производится мониторинг характеристик качества питания, определение уровней постоянно действующих и импульсных

полей и помех. Разрабатываются мероприятия, обеспечивающие длительную и надежную работу цифровой аппаратуры защиты и автоматики, оборудования информационных технологий. Особое внимание уделяется вопросам электромагнитной безопасности персонала, обеспечению соблюдения действующих норм электро- и пожарной безопасности.

В результате обследования и анализа полученных результатов разрабатываются мероприятия по улучшению ЭМО.

Эти мероприятия можно условно разбить на две группы.

К первой группе мероприятий следует отнести выполнение систем заземления, питания, молниезащиты объекта и других элементов инфраструктуры в соответствии с требованиями ЭМС. Без этого защитить аппаратуру практически невозможно, так как велика вероятность пробоя изоляции внешних цепей под действием помех, зашумления цепей связи и т.п.

Вторая группа мероприятий - применение специальных средств или устройств, предназначенных для подавления помех.

В настоящее время применяются различные специальные средства, позволяющие снизить помехи в цепях управления, информации, питания до допустимых величин; широко используются следующие средства и устройства:

1. Гальваническая развязка и изоляция.
2. Применение устройства подавления импульсных перенапряжений.
3. Фильтрация (фильтры частот).
4. Контроль параметров сети (стабилизаторы питания, источники бесперебойного питания (ИБП), реле контроля фаз).
5. Экранирование кабелей и оборудования и т.д.

Довольно часто необходимо применение нескольких видов защиты одновременно. Так, например, стабилизаторы, ИБП и т.п. часто сами нуждаются в защите, так как импульсные помехи способны вывести из строя их системы управления.

Для всех источников электромагнитных помех необходимо определить возможные наибольшие уровни электромагнитных воздействий, при этом:

- на стадии проектирования нового энергообъекта уровни электромагнитных воздействий определяются расчетными методами или методами имитационного моделирования, при этом на этапе приемо-сдаточных работ выполняется проверка принятых мер по обеспечению ЭМС;

- при техническом перевооружении энергообъектов данные о возможных наибольших уровнях электромагнитных воздействий получают расчетно-экспериментальным путем в соответствии с СО 34.35.311.2004, кроме того используются современные методы имитационного моделирования.

На действующих объектах (энергообъектах, промышленных предприятиях, узлах управления, связи и т.п.) необходимо осуществлять контроль ЭМО по классам жесткости перед размещением на них современной цифровой аппаратуры защиты, автоматики, АСУ, АСКУЭ и связи.

В процессе эксплуатации необходимы:

1. Выполнение периодического контроля ЭМО.

2. Выполнение периодического контроля состояния заземляющего устройства и системы молниезащиты.

3. Устранение дефектов, установленных по результатам контроля ЭМО, заземляющего устройства и системы молниезащиты.

4. Анализ случаев нарушения нормального функционирования АСТУ из-за невыполнения условий ЭМС.

5. Своевременность определения мест нарушения условий ЭМС и принятие мер по их устранению.

Оценка эксплуатационного состояния заземляющего устройства, включая заземление средств грозозащиты. Помимо классической процедуры проверки сопротивления растеканию заземляющего устройства имеется необходимость контроля качества электрических связей между элементами больших ЗУ. В проводимых работах авторами использовалась следующая методика: в пределах контурного заземлителя объекта выбирается опорная точка. Связь остальных точек с опорной точкой проверяется организацией токовой петли между заземлением проверяемого аппарата (конструкции) и опорной точкой. Измеряется потенциал проверяемой точки относительно удаленной земли (потенциального зонда). Частное от деления потенциала на ток нагрузки представляет собой сопротивление, которое может быть названо сопротивлением основания аппарата (конструкции) относительно опорной точки. Величина меньше 0,1 Ом свидетельствует о наличии хорошей связи с опорной точкой. Величины более 0,1 Ом объясняются дефектами ЗУ (малостью эффективного сечения заземляющих проводников вследствие коррозии или конструктивных недоработок, недостаточного количества или полного отсутствия металлосвязей). В этом случае должны проводиться мероприятия по улучшению состояния ЗУ. Для проведения подобных измерений сейчас используются специальные цифровые приборы, обеспечивающие высокую селективность измеряемых сигналов на фоне помех, что крайне важно для измерений на объектах со сложной ЭМО. Трассировка коммуникаций ЗУ с помощью специальных трассоискателей может быть полезна на этапе проведения ремонтно-восстановительных работ. При этом надо учитывать, что такие приборы обычно дают лишь приближенное представление о геометрии металлосвязей в пределах ЗУ, не позволяя оценить их качество.

Определение трасс растекания токов при грозовом разряде и коротком замыкании. Анализ причин повреждений аппаратуры показывает, что сопротивление не является единственной характеристикой ЗУ. Растекание значительных токов по металлоконструкциям кабельных каналов, экранам кабелей, заземляющим шинам и корпусам оборудования в помещениях с аппаратурой само по себе представляет опасность. Действительно, создаваемые при этом поля и наводки могут приводить к сбоям и отказам аппаратуры даже при том, что все требования нормативных документов к сопротивлению оказываются выполненными. Поэтому часто возникает необходимость определения трасс токов молнии или токов КЗ.

Оценка качества напряжения питания от основных и резервных источников. Оценка уровней электромагнитных полей. Осуществляется

определение коэффициента гармонических искажений, при необходимости отслеживается изменение действующего значения в течение суток или более. Производится осциллографирование переключения на резервное питание, что позволяет определить длительность бестоковой паузы.

Для измерения полей используются специальные интегрированные приборы, антенны и т.п. В ряде случаев необходимо применение аналитических методов. Это касается, в частности, определения уровней магнитных полей в местах расположения аппаратуры при КЗ в высоковольтных сетях с заземленной нейтралью.

В случае несоответствия ЭМО на объекте по классу жесткости необходимо осуществлять мероприятия по *улучшению электромагнитной обстановки*. Разумеется, оценка ЭМО не является самоцелью. По ее результатам разрабатываются и осуществляются защитные мероприятия. В зависимости от результатов обследования они могут включать:

1. Оптимизацию заземляющего устройства, включая:

- восстановление поврежденных и прокладку недостающих заземляющих проводников;
- установку вертикальных заземлителей для устройств грозозащиты, разрядников и ОПН;
- приведение систем заземления и уравнивания потенциалов в зданиях и помещениях УС в соответствие с требованиями;
- обеспечение растекания тока молнии на безопасном расстоянии от цепей питания и связи, а также от мест расположения аппаратуры;
- разделение заземляющих проводников для информационной техники и устройств, способных нести значительные помехи, например, вводов кабелей с мачт радиосвязи;
- разрыв ненужных связей (например, между элементами грозозащиты и фильтрами присоединения ВЧ-связи, кабельными каналами и т.п.).

2. Обеспечение правильной прокладки вторичных цепей по условиям ЭМС:

- раздельная прокладка информационных и силовых цепей;
- организация экранирования (с двух- или односторонним заземлением экранов в зависимости от условий на объекте);
- применение информационных кабелей с высокой степенью симметрии («витая пара»);
- прокладка трасс кабелей в обход областей с высокими уровнями электромагнитных полей;
- применение барьерных заземлителей, шин уравнивания потенциала и т.п.;
- использование (там, где это оправдано) оптической развязки.

3. Оптимизация систем питания:

- отказ от PEN-проводников (переход с системы TN-C на системы TN-S и TN-C-S);
- уменьшение токов утечки (позволяет снизить уровень магнитных полей и низкочастотных наводок на кабели связи);

- установка стабилизаторов, разделяющих трансформаторов и устройств резервирования питания;
- использование вторичных источников (ИБП, выпрямителей) с высокой помехоустойчивостью;
- организация защищенной подсети для устройств связи, АСУ и т.п. (например, отдельная фаза через стабилизатор).

4. *Установка устройств защиты от перенапряжений.* В настоящее время широко применяются устройства подавления импульсных перенапряжений (УЗИП) в цепях питания и обмена информацией. Такие устройства выполняются на базе силовых элементов с нелинейной вольт-амперной характеристикой: разрядников, варисторов, стабилитронов и т.п. Нелинейность ВАХ позволяет организовать канализацию импульсных помех по схеме «провод - провод» или «провод - земля», не позволяя им достигнуть входов аппаратуры. Отметим, что эффективность использования таких устройств во многом определяется организацией системы заземления.

В настоящее время для максимально эффективного подавления помех в системе питания принято использовать принцип зонной защиты. Он заключается в установке защитных устройств в несколько каскадов, каждый из которых рассеивает некоторую часть энергии импульса (рис. 5.2). В результате амплитуда помех снижается до уровней, безопасных для аппаратуры, даже не предназначенной специально для размещения на энергообъектах.

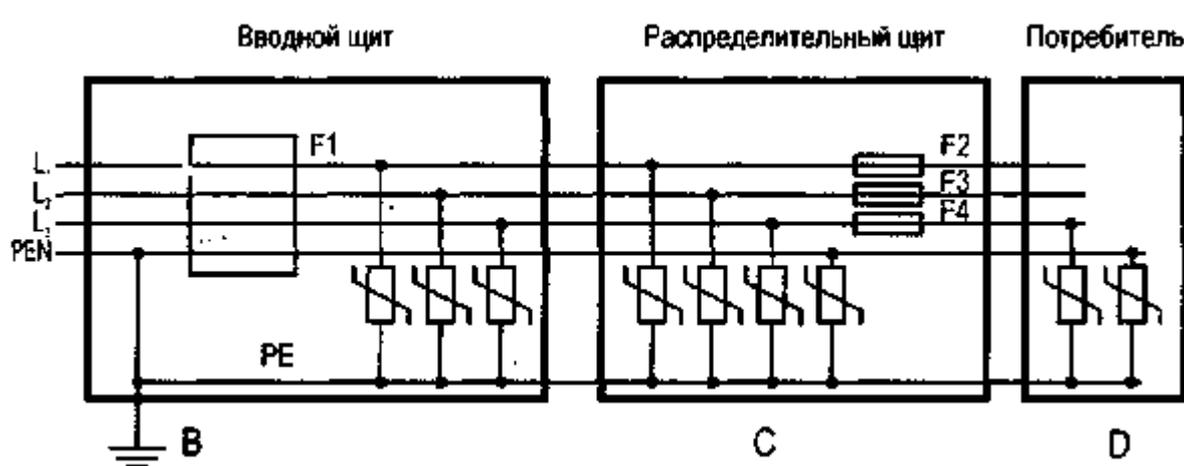


Рис. 5.2. Установка защитных устройств классов В,С и D (по классификации МЭК) в сети TN-C-S 220/380 В

Что же касается устройств защиты линий связи и цифровых интерфейсов, то здесь многокаскадная структура часто реализуется в самом устройстве. Первый каскад производит отвод основной части энергии импульса. При этом высокочастотная составляющая, соответствующая обычно фронту импульса, проникает через первый каскад из-за ограниченного быстродействия последнего. Эта часть шунтируется быстродействующими стабилитронами

второго каскада (время срабатывания – порядка 1-10 наносекунд для разных модификаций). Результаты лабораторного тестирования показали высокую эффективность подобных устройств.

5. *Экранирование чувствительной аппаратуры.* Иногда высокий уровень магнитных полей при КЗ в питающей сети представляет непосредственную угрозу для аппаратуры. В этом случае обычно рассматриваются варианты размещения аппаратуры в специальных экранирующих шкафах.

Разумеется, приведенными методами не исчерпывается все разнообразие решений, направленных на улучшение ЭМО и на снижение уровней помех, воздействующих на аппаратуру. Более того, специфика энергетических и промышленных объектов, как правило, такова, что уровню действующих на аппаратуру помех не может быть снижен до очень малых значений без больших капитальных затрат. Поэтому для всей микропроцессорной аппаратуры, влияющей на безопасность и надежность работы объекта, должен обеспечиваться высокий уровень собственной устойчивости к помехам. Это подразумевает проведение в рамках сертификации или экспертной оценки испытаний на ЭМС, причем со степенями жесткости, отражающими специфические требования электроэнергетики.

Глава 6. ЗАЩИТА ОТ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ И ПОМЕХ

6.1. Нормирование электромагнитных излучений

Нормирование является основным элементом электромагнитной производственной и экологической безопасности.

В соответствии со статьей 25 Федерального закона "Об охране окружающей природной среды" от 19 декабря 1991 г. №2060-1 нормирование качества окружающей среды проводится с целью установления предельно допустимых значений факторов воздействия на окружающую среду, гарантирующих экологическую безопасность населения, сохранения генетического фонда, обеспечивающих рациональное использование и воспроизводство природных ресурсов в условиях устойчивого развития хозяйственной деятельности.

В России система стандартов по электромагнитной безопасности складывается из *Государственных стандартов* (ГОСТ) и *Санитарных правил и норм* (СанПиН). Это взаимосвязанные документы, являющиеся обязательными для исполнения на всей территории России.

Государственные стандарты по нормированию допустимых уровней воздействия электромагнитных полей входят в группу *Системы стандартов безопасности труда* – комплекс стандартов, содержащих требования, нормы и правила, направленных на обеспечение безопасности, сохранение здоровья и работоспособности человека в процессе труда. Они являются наиболее общими документами и содержат:

- требования по видам соответствующих опасных и вредных факторов;
- предельно допустимые значения параметров и характеристик;
- общие подходы к методам контроля нормируемых параметров и методы защиты работающих.

СанПиНы регламентируют гигиенические требования более подробно и в более конкретных ситуациях облучения, а также к отдельным видам продукции. По своей структуре включают те же основные пункты, что и ГОСТы, однако излагают их более подробно. Как правило, СанПиНы сопровождаются методическими указаниями по проведению контроля электромагнитной обстановки и проведению защитных мероприятий.

В зависимости от отношения подвергающегося воздействию ЭМП человека к источнику излучения в условиях производства в стандартах России различаются два вида воздействия: профессиональное и непрофессиональное. Для условий профессионального воздействия характерно многообразие режимов генерации и вариантов воздействия. В частности, для облучения в ближней зоне обычно характерно сочетание общего и местного облучения. Для непрофессионального облучения типичным является общее облучение. ПДУ для профессионального и непрофессионального воздействия различны.

Различия заключаются в основных способах защиты от ЭМП: временем и расстоянием.

В качестве ПДУ ЭМП принимаются такие значения, которые при ежедневном облучении в свойственном для данного источника излучения режиме не вызывают у населения без ограничения пола и возраста заболеваний или отклонений в состоянии здоровья, обнаруживаемых современными методами исследования в период облучения или в отдаленные сроки после его прекращения.

Основной *критерий* определения уровня воздействия ЭМП как предельно допустимого – воздействие не должно вызывать у человека даже временного нарушения гомеостаза (включая репродуктивную функцию), а также напряжения защитных и адаптационно-компенсаторных механизмов ни в ближайшем, ни в отдаленном периоде времени. Это означает, что в качестве ПДУ принимается дробная величина от минимального уровня электромагнитного поля, способного вызвать какую-либо реакцию.

В зависимости от места нахождения человека относительно источника ЭМП он может подвергаться воздействию электрической или магнитной составляющей поля или их сочетанию, а в случае пребывания в волновой зоне – воздействию сформированной электромагнитной волны. По этому признаку определяется необходимый критерий контроля безопасности.

В части требований ГОСТов и СанПиНов по проведению контроля указано:

- контроль уровней электрического поля осуществляется по значению напряженности электрического поля E , В/м;

- контроль уровней магнитного поля осуществляется по значению напряженности магнитного поля H , А/м или значению магнитной индукции B , Тл;

- в зоне сформировавшейся волны (дальней зоне) контроль осуществляется по плотности потока энергии ППЭ, Вт/м².

Нормирование ЭМП для населения. В России установлены **самые жесткие в мире предельно допустимые уровни облучения** населения электромагнитными полями.

Система Санитарно-гигиенического нормирования ПДУ ЭМП для населения в России исходит из принципа введения ограничений для конкретных случаев облучения.

Можно выделить следующие виды условий облучения, на которые для населения установлены специально разработанные СанПиНы:

- элементы *систем сотовой связи* и других видов подвижной связи, все типы стационарных радиотехнических объектов (включая радиочастоты);

- *радио- и телевизионные станции, радиолокационные и радиорелейные станции;*

- *земные станции спутниковой связи, объекты транспорта с базированием мобильных передающих радиотехнических средств при их работе в штатном режиме в местах базирования;*

- *видеодисплейные терминалы и мониторы персональных компьютеров;*

- *СВЧ-печи, индукционные печи.*

На иные условия облучения, где в качестве источников выступает бытовая потребительская техника, включая телевизоры, в настоящее время используются межгосударственные российско-белорусские СанПиНы, устанавливающие требования только к электрической составляющей диапазона 50 Гц и к уровню электростатического поля.

При определении конкретного значения уровня ПДУ разработчики руководствуются либо результатами специально выполненных работ (например, печи СВЧ и индукционные печи), либо результатами общих медико-биологических исследований (системы сотовой связи, радиотехнические объекты, ПЭВМ).

В случае отсутствия на конкретный вид продукции отдельного норматива санитарно-гигиенические требования к этой продукции предъявляются на основе ПДУ, установленного в общих стандартах.

6.1.1. Электромагнитные излучения промышленной частоты

Основные источники электромагнитных излучений промышленной частоты рассмотрены в 1-й главе. Нормирование этих ЭМП выполняется по электрическому и магнитному полям.

Электрическое поле. Нормы по напряженности полей промышленной частоты на рабочих местах подразделяются на три категории:

Первая категория – 6,1 кВ/м, 159 А/м – обязательна информация персонала о параметрах электромагнитного поля.

Вторая категория – 12,3 кВ/м, 320 А/м – обязательны мероприятия по ограничению пребывания в электромагнитном поле.

Третья категория – 19,6 кВ/м, 480 А/м – обязательны ограничения пребывания в электромагнитном поле и наличие предупреждения «Опасная работа».

Магнитное поле: Нормативные документы, регламентирующие уровни магнитного поля для населения (СанПиН 2.1.2.1002-00), приводят следующие данные:

- предельно допустимая величина магнитной индукции на территории жилой застройки не должна превышать **50 мкТл**,
- предельно допустимая величина магнитной индукции в жилых помещениях не должна превышать **10 мкТл**.

6.1.2. Электромагнитные излучения высоких и сверхвысоких частот

Источники электромагнитных излучений радиочастотного диапазона весьма разнообразны и подробно представлены в 1-й главе.

В 1991 году Госсанэпиднадзором России были утверждены Санитарные правила и нормы «Электромагнитные излучения радиочастотного диапазона», которые они устанавливают ПДУ воздействия на людей электромагнитных излучений в диапазоне от 30 кГц до 300 ГГц и основные санитарно-гигиенические требования к разработке, изготовлению, приобретению и использованию источников излучения. Оценка воздействий этих излучений на людей осуществляется по следующим параметрам:

- по *энергетической экспозиции*, которая определяется интенсивностью излучения и временем его воздействия (эта оценка применяется для лиц, деятельность или обучение которых связаны с необходимостью пребывания в зонах влияния источников радиоизлучений);

- по значениям *интенсивности излучения* (эта оценка используется применительно ко всем остальным категориям людей, не связанных с работой источников радиоизлучения, но вынужденных находиться в зоне их действия).

В диапазонах частот 30 кГц – 300 МГц интенсивность излучений оценивается по значениям напряженности электрического поля, В/м, и напряженности магнитного поля, А/м, в диапазонах частот 300 МГц – 300 ГГц – по значениям плотности потока энергии, Вт/м².

6.2. Защита от электромагнитных излучений

Защита организма человека от влияния электромагнитных излучений предполагает снижение интенсивности этих излучений до уровней, не превышающих предельно допустимые. Защита обеспечивается выбором конкретных методов и средств с учетом их экономических показателей, простотой и надежностью эксплуатации. Организация защитных мер предусматривает:

- оценку уровней интенсивности излучений и их сопоставление с действующими нормативными документами;
- выбор необходимых мер и средств защиты, обеспечивающих требуемую степень защищенности в заданных условиях;
- организацию системы контроля над выбранной системой защиты.

По своему назначению защита может быть коллективной, предусматривающей комплекс мероприятий для отдельных групп населения, и индивидуальной.

Все средства и методы защиты от электромагнитных излучений (индивидуальные и коллективные) можно представить в виде трех групп:

- организационные;
- инженерно-технические;
- лечебно-профилактические.

Методы и средства защиты от электромагнитных излучений и их основные способы применения сведены в таблицу 6.1.

Таблица 6.1

Методы и средства защиты от электромагнитных излучений

Группы средств и методов защиты от ЭМИ	Цель мероприятий	Основные способы применения	Наиболее эффективные и часто применяемые способы защиты
Организационные	Оптимизация проектирования взаимного расположения облучающих и облучаемых объектов, а также рациональная организация работы и отдыха	– Ограничение работы станции во времени – Исключение или ограничение облучения персонала	– Рациональная организация труда – Проведение инструктажа
Инженерно-технические	Применение инженерно-технических средств для защиты от ЭМИ	– Установка и применение инженерно-технических средств. – Усовершенствование конструкций – Использование индивидуальных и коллективных средств защиты	– Установка отражающих и поглощающих экранов – Установка радиопоглощающих кожухов – Применение специальных поглотителей мощности
Лечебно-профилактические	Повышение сопротивляемости организма к воздействию ЭМ полей, а также лечение в аварийных ситуациях	– Использование полимерных ферромагнитных материалов – Обеспечение надёжной герметизации разъёмных и неразъёмных соединений	– Применение поверхностно-активных антистатических веществ – Уменьшение статической электризации синтетических материалов, изделий, оборудования и отделки помещений путём их антистатической обработки

Поскольку организационные и инженерно-технические мероприятия были рассмотрены ранее, поэтому более подробно остановимся на лечебно-профилактических мероприятиях.

Лечебно-профилактические мероприятия по сути являются также организационными мерами защиты от электромагнитных излучений, однако ввиду сложности и важности проблемы защиты от ЭМП необходимо выделить эти мероприятия в отдельную группу. Санитарно-профилактическое обеспечение включает следующие мероприятия:

- организация и проведение контроля выполнения гигиенических нормативов, режимов работы персонала, обслуживающего источники ЭМП;
- выявление профессиональных заболеваний, обусловленных неблагоприятными факторами среды;
- разработка мер по улучшению условий труда и быта персонала, по повышению устойчивости организма работающих к воздействиям неблагоприятных факторов среды.

Текущий гигиенический контроль проводится в зависимости от параметров и режима работы излучающей установки, но, как правило, не реже одного раза в год. При этом определяются характеристики ЭМП в производственных помещениях, в помещениях жилых и общественных зданий и на открытой территории. Измерения интенсивности ЭМП также проводятся при внесении в условия и режимы работы источников ЭМП изменений, влияющих на уровни излучения (замена генераторных и излучающих элементов, изменение технологического процесса, изменение экранировки и средств защиты, увеличение мощности, изменение расположения излучающих элементов и т.д.).

В целях предупреждения, ранней диагностики и лечения нарушений в состоянии здоровья работники, связанные с воздействием ЭМП, должны проходить предварительные при поступлении на работу и периодические медицинские осмотры.

Все лица с начальными проявлениями клинических нарушений, обусловленных воздействием ЭМП (астенический астено-вегетативный, гипоталамический синдром), а также с общими заболеваниями, течение которых может усугубляться под влиянием неблагоприятных факторов производственной среды (органические заболевания центральной нервной системы, гипертоническая болезнь, болезни эндокринной системы, болезни крови и др.), должны наблюдаться у специалистов с проведением соответствующих гигиенических и терапевтических мероприятий, направленных на оздоровление условий труда и восстановление состояния здоровья работающих.

ПРИЛОЖЕНИЕ

ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ЗАКОН РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ "О государственном регулировании в области обеспечения электромагнитной совместимости технических средств"

Принят Государственной думой 1 декабря 1999 года

В условиях широкого внедрения во все сферы человеческой деятельности электротехнических, электронных, и радиоэлектронных изделий, оборудования и систем, интенсивного развития электроники и информационных технологий требует правового регулирования обострившаяся проблема обеспечения электромагнитной совместимости технических средств, связанная с возрастающим влиянием электромагнитных помех на качество функционирования указанных средств и электромагнитных воздействий на биологические объекты.

Настоящий Федеральный закон направлен на создание условий для обеспечения электромагнитной совместимости технических средств в целях предотвращения причинения вреда личности или имуществу физических лиц, предотвращения причинения вреда имуществу юридических лиц, окружающей природной среде в результате нарушения функционирования технических средств при воздействии электромагнитных помех, обеспечения безопасности жизни и здоровья населения в условиях электромагнитных воздействий, повышения конкурентоспособности отечественной продукции, а также укрепления национальной безопасности государства.

ГЛАВА I. Общие положения

Статья 1. Предмет регулирования настоящего Федерального закона

Настоящий Федеральный закон устанавливает правовые и организационные основы деятельности органов государственной власти в области обеспечения электромагнитной совместимости технических средств в Российской Федерации, определяет в этой области основные направления и систему мер государственного регулирования, права и обязанности физических лиц, в том числе индивидуальных предпринимателей, и юридических лиц, разрабатывающих, изготавливающих, реализующих (поставляющих, продающих), использующих (эксплуатирующих) и ввозящих на территорию Российской Федерации технические средства, а также производящих, передающих, распределяющих и потребляющих электрическую энергию.

Статья 2. Основные понятия, используемые в настоящем Федеральном законе

В целях настоящего Федерального закона используются следующие понятия:

- электромагнитная совместимость технических средств - способность технических средств функционировать с заданным качеством в определенной электромагнитной обстановке, не создавая при этом недопустимых электромагнитных помех другим техническим средствам и недопустимых электромагнитных воздействий на биологические объекты;

- техническое средство - электротехническое, электронное или радиоэлектронное изделие (оборудование, аппаратура или система), а также изделие (оборудование, аппаратура или система), содержащее электрические и (или) электронные компоненты (схемы);

- радиоэлектронное средство - техническое средство, состоящее из одного или нескольких радиопередающих или радиоприемных устройств либо из их комбинации и вспомогательного оборудования, предназначенное для передачи и (или) приема радиоволн;

- электромагнитная помеха - электромагнитное явление или процесс естественного или искусственного происхождения, которые снижают или могут снизить качество функционирования технического средства. Электромагнитная помеха может излучаться в пространство или распространяться в проводящей среде;

- электромагнитное воздействие - электромагнитное явление или процесс, которые влияют или могут повлиять на биологические объекты. К электромагнитным воздействиям относятся создаваемые техническими средствами в окружающем пространстве электромагнитные, электрические и магнитные поля;

- биологические объекты - люди (персонал, обслуживающий технические средства, и население), животные и растения;

- электромагнитная обстановка - совокупность электромагнитных явлений и (или) процессов в данной области пространства или данной проводящей среде в частотном и временном диапазонах;

- изолированная электромагнитная обстановка - совокупность электромагнитных явлений или процессов в изолированной области пространства, в которой исключается создание техническими средствами, находящимися в ней, электромагнитных помех и электромагнитных воздействий за пределами указанной области, а также исключается влияние на эти технические средства внешних электромагнитных помех;

- электромагнитная безопасность биологических объектов - состояние защищенности биологических объектов от неблагоприятных электромагнитных воздействий;

- устойчивость технических средств к электромагнитным помехам (помехоустойчивость технических средств) - способность технических средств сохранять заданное качество функционирования при воздействии на них регламентированных стандартами электромагнитных помех;

- стандарт - нормативный документ, который в соответствии с законодательством Российской Федерации устанавливает обязательные требования к техническим средствам и к качеству электрической энергии (государственный стандарт Российской Федерации, государственные санитарно-эпидемиологические правила и нормативы, строительные нормы и правила и другие документы);

- электрическая сеть общего назначения - электрическая сеть энергоснабжающей организации, предназначенная для подачи электрической энергии различным потребителям электрической энергии или техническим средствам;

- потребитель электрической энергии - физическое или юридическое лицо, осуществляющее пользование электрической энергией (мощностью);

- сертификат электромагнитной совместимости - документ, выданный в соответствии с правилами сертификации для подтверждения соответствия сертифицированного технического средства установленным стандартами требованиям по электромагнитной совместимости;

- система качества энергоснабжающей организации - совокупность организационной структуры, методик, процессов и ресурсов энергоснабжающей организации, необходимая для управления качеством подаваемой потребителям электрической энергии;

- сертификация системы качества энергоснабжающей организации - действие организации, независимой от энергоснабжающей организации и потребителей электрической энергии, удостоверяющее, что должным образом идентифицированная система качества энергоснабжающей организации обеспечивает стабильность качества подаваемой потребителям электрической энергии в соответствии с установленными стандартами требованиями.

Статья 3. Правовое регулирование отношений в области обеспечения электромагнитной совместимости технических средств

Отношения в области обеспечения электромагнитной совместимости технических средств регулируются Законом Российской Федерации "О стандартизации", Законом Российской Федерации "О сертификации продукции и услуг", Федеральным законом "О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения", настоящим Федеральным законом, другими федеральными законами, иными нормативными правовыми актами Российской Федерации, а также международными договорами Российской Федерации.

Статья 4. Сфера действия настоящего Федерального закона

1. Действие настоящего Федерального закона распространяется на отношения, связанные с деятельностью физических лиц, в том числе индивидуальных предпринимателей, а также российских и иностранных юридических лиц независимо от их организационно-правовых форм по разработке, изготовлению, реализации (поставкам, продаже), использованию (эксплуатации) и ввозу в Российскую Федерацию технических средств, предназначенных для применения на ее территории и в космическом

пространстве, способных создавать электромагнитные помехи и электромагнитные воздействия, и (или) технических средств, качество функционирования которых может быть снижено в результате воздействия на них электромагнитных помех. Действие настоящего Федерального закона распространяется также на отношения, связанные с деятельностью по обеспечению качества электрической энергии, которое характеризуется совокупностью свойств электрической энергии в электрической сети и определяет электромагнитную совместимость технических средств, подключенных к этой сети (далее - качество электрической энергии), в электрических сетях общего назначения на территории Российской Федерации при производстве, передаче, распределении и потреблении электрической энергии.

2. Действие настоящего Федерального закона не распространяется на отношения, связанные с деятельностью по разработке, изготовлению, реализации (поставкам, продаже), использованию (эксплуатации) и ввозу на территорию Российской Федерации технических средств, предназначенных для применения только в условиях изолированной электромагнитной обстановки, за исключением случаев, когда нарушение электромагнитной совместимости указанных технических средств может нанести ущерб национальной безопасности государства или привести к возникновению опасности для жизни и здоровья населения, причинению имущественного ущерба физическим и юридическим лицам и (или) вреда окружающей природной среде.

Назначение технического средства для применения только в условиях изолированной электромагнитной обстановки должно быть установлено технической документацией на данное техническое средство.

3. Электромагнитные излучения в выделенных полосах радиочастот, которые создаются радиоэлектронными средствами и высокочастотными устройствами и параметры которых установлены в порядке, определенном законодательством Российской Федерации, рассматриваются в качестве электромагнитных помех применительно к помехоустойчивости других технических средств и в качестве электромагнитных воздействий применительно к электромагнитной безопасности биологических объектов.

Регулирование правоотношений в области обеспечения электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств и высокочастотных устройств осуществляется в соответствии с законодательством Российской Федерации о связи и настоящим Федеральным законом.

Статья 5. Цели государственного регулирования в области обеспечения электромагнитной совместимости технических средств

Государственное регулирование в области обеспечения электромагнитной совместимости технических средств осуществляется в целях:

- исключения или ограничения электромагнитных помех, создаваемых техническими средствами;
- исключения неблагоприятных электромагнитных воздействий на биологические объекты или ограничения уровня таких воздействий;

- предотвращения нарушений функционирования технических средств при воздействии на них электромагнитных помех;
- обеспечения регламентированного стандартами качества электрической энергии в электрических сетях общего назначения.

ГЛАВА II. Основы организации государственного регулирования в области обеспечения электромагнитной совместимости технических средств

Статья 6. Основные направления государственного регулирования в области обеспечения электромагнитной совместимости технических средств

Основными направлениями государственного регулирования в области обеспечения электромагнитной совместимости технических средств являются:

- разработка и внедрение стандартов, устанавливающих требования по электромагнитной совместимости технических средств и требования к качеству электрической энергии в электрических сетях общего назначения;
- создание испытательной базы для осуществления проверки и подтверждения соответствия технических средств требованиям по электромагнитной совместимости;
- проведение обязательной сертификации технических средств на соответствие требованиям по электромагнитной совместимости, а также обязательной сертификации электрической энергии по показателям качества и сертификации систем качества энергоснабжающих организаций;
- осуществление государственного контроля и надзора за соблюдением требований по электромагнитной совместимости технических средств и требований к качеству электрической энергии в электрических сетях общего назначения;
- проведение государственного мониторинга электромагнитной обстановки.

Статья 7. Органы государственной власти, осуществляющие государственное регулирование в области обеспечения электромагнитной совместимости технических средств

1. Государственное регулирование в области обеспечения электромагнитной совместимости технических средств осуществляют Правительство Российской Федерации, уполномоченные им федеральные органы исполнительной власти, иные органы государственной власти Российской Федерации в соответствии с их полномочиями.

2. Органы государственной власти субъектов Российской Федерации, органы местного самоуправления участвуют в деятельности по обеспечению электромагнитной совместимости технических средств в соответствии с предметами их ведения и полномочиями, определенными Конституцией Российской Федерации, федеральными конституционными законами, федеральными законами.

Статья 8. Полномочия Правительства Российской Федерации в области обеспечения электромагнитной совместимости технических средств

Правительство Российской Федерации:

- определяет единую государственную политику в области обеспечения электромагнитной совместимости технических средств;

- формирует федеральные целевые программы, направленные на обеспечение электромагнитной совместимости технических средств;

- определяет задачи, функции и полномочия федеральных органов исполнительной власти в области обеспечения электромагнитной совместимости технических средств, руководит работой указанных органов;

- устанавливает приоритетные направления деятельности по стандартизации в области электромагнитной совместимости и обязательной сертификации технических средств на соответствие требованиям по электромагнитной совместимости;

- определяет экономические механизмы, стимулирующие разработку, изготовление и использование технических средств, соответствующих требованиям по электромагнитной совместимости;

- определяет порядок обязательной сертификации технических средств, относящихся к вооружению и военной технике, на соответствие требованиям по электромагнитной совместимости;

- утверждает перечень технических средств, подлежащих обязательной сертификации на соответствие требованиям по электромагнитной совместимости;

- устанавливает порядок проведения государственного мониторинга электромагнитной обстановки;

- решает иные вопросы государственного регулирования в области обеспечения электромагнитной совместимости технических средств.

Статья 9. Полномочия федеральных органов исполнительной власти, осуществляющих государственное регулирование в области обеспечения электромагнитной совместимости технических средств

1. Реализация мер по государственному регулированию в области обеспечения электромагнитной совместимости технических средств в Российской Федерации возлагается на федеральные органы исполнительной власти в соответствии с их полномочиями, установленными Правительством Российской Федерации.

2. Федеральные органы исполнительной власти, осуществляющие государственное регулирование в области обеспечения электромагнитной совместимости технических средств, в пределах своей компетенции:

- участвуют в реализации единой государственной политики в области обеспечения электромагнитной совместимости технических средств;

- проводят государственный мониторинг электромагнитной обстановки;

- организуют разработку стандартов, устанавливающих требования по электромагнитной совместимости технических средств и требования к качеству электрической энергии в электрических сетях общего назначения;

- организуют проведение работ по обязательной сертификации технических средств на соответствие требованиям по электромагнитной совместимости, а также обязательной сертификации электрической энергии в электрических сетях общего назначения по показателям качества и сертификации систем качества энергоснабжающих организаций;

- аккредитуют органы по сертификации технических средств на соответствие требованиям по электромагнитной совместимости;

- принимают участие в аккредитации организаций, осуществляющих в целях обязательной сертификации испытания технических средств на соответствие требованиям по электромагнитной совместимости и электрической энергии в электрических сетях общего назначения по показателям качества;

- обеспечивают государственный контроль и надзор за соблюдением требований по электромагнитной совместимости технических средств;

- рассматривают обращения граждан по вопросам обеспечения электромагнитной совместимости технических средств и качества электрической энергии в электрических сетях общего назначения;

- осуществляют иные полномочия, определяемые Правительством Российской Федерации.

3. Координацию деятельности федеральных органов исполнительной власти по стандартизации в области обеспечения электромагнитной совместимости технических средств осуществляет федеральный орган исполнительной власти в области стандартизации и метрологии.

Федеральный орган исполнительной власти в области стандартизации и метрологии в пределах своей компетенции:

- разрабатывает предложения по формированию единой государственной политики в области обеспечения электромагнитной совместимости технических средств;

- обеспечивает единство и сопоставимость методов контроля помехоустойчивости технических средств и уровней создаваемых ими электромагнитных помех и электромагнитных воздействий;

- организует проведение мероприятий по согласованию устанавливаемых стандартами требований по электромагнитной совместимости технических средств;

- осуществляет информирование об электромагнитной совместимости технических средств;

- осуществляет иные полномочия, определяемые Правительством Российской Федерации.

4. Координацию деятельности федеральных органов исполнительной власти по сертификации в области обеспечения электромагнитной совместимости технических средств осуществляет специально уполномоченный федеральный орган исполнительной власти в области сертификации.

Специально уполномоченный федеральный орган исполнительной власти в области сертификации в пределах своей компетенции:

- устанавливает общие правила и рекомендации по проведению обязательной сертификации технических средств на соответствие требованиям по электромагнитной совместимости, а также обязательной сертификации электрической энергии в электрических сетях общего назначения по показателям качества и сертификации систем качества энергоснабжающих организаций;

- осуществляет подготовку предложений о включении технических средств в перечень подлежащих обязательной сертификации технических средств на соответствие требованиям по электромагнитной совместимости;

- аккредитует организации, осуществляющие в целях обязательной сертификации испытания технических средств на соответствие требованиям по электромагнитной совместимости и электрической энергии в электрических сетях общего назначения по показателям качества;

- осуществляет иные полномочия, определяемые Правительством Российской Федерации.

ГЛАВА III. Система мер государственного регулирования в области обеспечения электромагнитной совместимости технических средств

Статья 10. Общие требования в области обеспечения электромагнитной совместимости технических средств

1. Электромагнитные помехи, создаваемые техническими средствами, не должны нарушать нормальное функционирование других технических средств при условии, что уровни их помехоустойчивости соответствуют установленным требованиям.

Электромагнитные воздействия, создаваемые техническими средствами, не должны нарушать электромагнитную безопасность биологических объектов.

2. Уровень помехоустойчивости технических средств должен обеспечивать их нормальное функционирование в окружающей электромагнитной обстановке при условии, что уровень электромагнитных помех, создаваемых другими техническими средствами в указанной обстановке, соответствует установленным требованиям.

3. Качество электрической энергии в электрических сетях общего назначения должно обеспечивать нормальное функционирование подключенных к ним технических средств.

Статья 11. Установление требований по электромагнитной совместимости технических средств и требований к качеству электрической энергии

1. В целях предотвращения причинения вреда личности или имуществу физических лиц, причинения вреда имуществу юридических лиц, окружающей природной среде в результате неблагоприятных электромагнитных воздействий и недопустимых электромагнитных помех к техническим средствам устанавливаются требования по электромагнитной совместимости, а для электрической энергии в электрических сетях общего назначения устанавливаются требования к ее качеству.

2. Требования по электромагнитной совместимости технических средств, включая требования по устойчивости технических средств к электромагнитным помехам и по ограничению уровней создаваемых указанными средствами электромагнитных помех и неблагоприятных электромагнитных воздействий, а также требования к качеству электрической энергии в электрических сетях общего назначения устанавливаются стандартами, принимаемыми федеральными органами исполнительной власти. Законодательными актами могут предусматриваться и иные документы, устанавливающие требования к техническим средствам и к качеству электрической энергии в электрических сетях общего назначения.

3. Установленные стандартами требования по электромагнитной совместимости технических средств и требования к качеству электрической энергии в электрических сетях общего назначения являются обязательными для органов государственной власти, органов местного самоуправления, физических и юридических лиц.

4. Федеральный орган исполнительной власти в области стандартизации и метрологии и другие федеральные органы исполнительной власти в пределах своих полномочий обязаны обеспечить разработку стандартов, содержащих обязательные требования по электромагнитной совместимости технических средств и требования к качеству электрической энергии в электрических сетях общего назначения.

5. Если при функционировании техническое средство создает электромагнитные помехи и неблагоприятные электромагнитные воздействия и (или) восприимчиво к внешним электромагнитным помехам, изготовитель данного технического средства обязан сопроводить его необходимой и достоверной информацией, содержащей перечень стандартов, обязательным требованиям которых соответствует указанное техническое средство, и позволяющей обеспечить его надлежащее подключение и использование (эксплуатацию).

Если техническое средство предназначено для применения лишь в условиях изолированной электромагнитной обстановки, в технической документации на данное техническое средство приводятся характеристики данной электромагнитной обстановки и указывается на недопустимость его использования в иных условиях.

Статья 12. Обязательная сертификация технических средств на соответствие требованиям по электромагнитной совместимости

1. Для подтверждения соответствия технических средств, включая технические средства двойного применения, установленным стандартами требованиям по электромагнитной совместимости осуществляется обязательная сертификация технических средств. Перечень технических средств, подлежащих обязательной сертификации на соответствие требованиям по электромагнитной совместимости, утверждается Правительством Российской Федерации.

2. Для подтверждения соответствия установленным стандартами требованиям качества электрической энергии в электрических сетях общего назначения, предназначенных для подачи электрической энергии потребителям, осуществляется обязательная сертификация электрической энергии по показателям качества или сертификация системы качества энергоснабжающей организации. Организация проведения работ по обязательной сертификации электрической энергии в электрических сетях общего назначения по показателям качества и сертификации системы качества энергоснабжающей организации возлагается на специально уполномоченный федеральный орган исполнительной власти в области сертификации и федеральный орган исполнительной власти в области топлива и энергетики.

3. Обязательная сертификация технических средств на соответствие требованиям по электромагнитной совместимости и обязательная сертификация электрической энергии в электрических сетях общего назначения по показателям качества осуществляются органами по сертификации и испытательными лабораториями (центрами) в соответствии с законодательством Российской Федерации в области сертификации продукции и услуг.

Организации, осуществляющие в целях обязательной сертификации испытания технических средств на соответствие требованиям по электромагнитной совместимости и электрической энергии в электрических сетях общего назначения по показателям качества, аккредитуются специально уполномоченным федеральным органом исполнительной власти в области сертификации в установленном порядке.

4. Подтверждение соответствия технических средств требованиям по электромагнитной совместимости производится путем выдачи сертификата электромагнитной совместимости и маркирования технических средств специальным знаком соответствия. Форма сертификата электромагнитной совместимости, а также знак соответствия требованиям по электромагнитной совместимости устанавливаются специально уполномоченным федеральным органом исполнительной власти в области сертификации.

В случае, если для технического средства, подлежащего сертификации на соответствие требованиям по электромагнитной совместимости, предусмотрено наличие сертификата соответствия, сертификат электромагнитной совместимости является обязательной составной частью сертификата соответствия.

Обязательная сертификация технических средств, которые представляют потенциальную опасность для человека и для которых государственными санитарно-эпидемиологическими правилами и нормативами установлены предельно допустимые уровни неблагоприятных электромагнитных воздействий, осуществляется при наличии санитарно-эпидемиологического заключения о соответствии указанных технических средств государственным санитарно-эпидемиологическим правилам и нормативам.

5. Наличие сертификата соответствия у энергоснабжающей организации при подаче потребителям электрической энергии в электрических сетях общего назначения на территории Российской Федерации подтверждает, что качество подаваемой электрической энергии соответствует требованиям, установленным государственными стандартами Российской Федерации.

6. Реализация (поставки, продажа) и эксплуатация индивидуальными предпринимателями и юридическими лицами технических средств, подлежащих обязательной сертификации на соответствие требованиям по электромагнитной совместимости, без сертификата электромагнитной совместимости, выданного уполномоченным на то органом по сертификации, запрещаются.

Ввоз в соответствии с контрактами (договорами) на территорию Российской Федерации индивидуальными предпринимателями и юридическими лицами технических средств, подлежащих обязательной сертификации на соответствие требованиям по электромагнитной совместимости, без сертификата электромагнитной совместимости, выданного или признанного уполномоченным на то федеральным органом исполнительной власти, запрещается.

Статья 13. Научные исследования и опытно-конструкторские работы в области обеспечения электромагнитной совместимости

1. В целях развития производства наукоемкой, высокотехнологичной и конкурентоспособной продукции проводятся научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы в области электромагнитной совместимости технических средств.

При проведении научных исследований в области электромагнитной совместимости технических средств осуществляются:

- разработка программ научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области обеспечения электромагнитной совместимости технических средств и качества электрической энергии;
- фундаментальные научные исследования в области устойчивости технических средств в окружающей электромагнитной обстановке и ограничения электромагнитных помех и электромагнитных воздействий;
- определение предельно допустимых уровней электромагнитных помех и неблагоприятных электромагнитных воздействий, показателей качества электрической энергии в электрических сетях общего назначения и уровней устойчивости технических средств к электромагнитным помехам;

- разработка методов конструирования, обеспечивающих электромагнитную совместимость технических средств;
- разработка методов измерений и испытаний электромагнитной совместимости технических средств и качества электрической энергии;
- разработка средств измерений и испытательного оборудования в области электромагнитной совместимости технических средств и качества электрической энергии.

2. Координацию научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, выполняемых научными, конструкторскими и проектными организациями, проводят специально уполномоченные федеральные органы исполнительной власти.

Статья 14. Обучение и переподготовка кадров

Образовательные учреждения среднего профессионального, высшего профессионального и послевузовского профессионального образования, учреждения по переподготовке кадров в программах по обучению специалистов в области электроники, радиоэлектроники и электротехники должны предусматривать изучение основ обеспечения электромагнитной совместимости технических средств.

Статья 15. Информационное сопровождение деятельности в области обеспечения электромагнитной совместимости технических средств

1. Информационное сопровождение деятельности в области обеспечения электромагнитной совместимости технических средств осуществляется путем:

- распространения информации о действующих и разрабатываемых стандартах в области электромагнитной совместимости технических средств и качества электрической энергии в электрических сетях общего назначения;
- координации работ по подготовке рекламных и демонстрационных проектов, пропагандирующих разработку, изготовление и использование технических средств, соответствующих требованиям по электромагнитной совместимости;
- организации выставок технических средств и технологий, удовлетворяющих повышенным требованиям по электромагнитной совместимости;
- предоставления пользователям технических средств информации по вопросам электромагнитной совместимости;
- пропаганды эффективного использования технических средств, удовлетворяющих требованиям по электромагнитной совместимости.

2. Федеральные органы исполнительной власти, принявшие стандарты, устанавливающие требования по обеспечению электромагнитной совместимости технических средств и требования к качеству электрической энергии в электрических сетях общего назначения, формируют и ведут информационные фонды этих стандартов, а также обеспечивают пользователей информацией о стандартах.

Статья 16. Государственный контроль и надзор за соблюдением требований по электромагнитной совместимости технических средств и требований к качеству электрической энергии

1. В целях обеспечения электромагнитной совместимости технических средств и регламентированного стандартами качества электрической энергии в электрических сетях общего назначения федеральные органы исполнительной власти и иные органы, уполномоченные Правительством Российской Федерации, осуществляют в пределах своих полномочий государственный контроль и надзор за соблюдением требований по электромагнитной совместимости технических средств при разработке, изготовлении, реализации (поставках, продаже), использовании (эксплуатации) и ввозе на территорию Российской Федерации технических средств, а также при производстве, передаче, распределении и потреблении электрической энергии в электрических сетях общего назначения.

2. Полномочия федеральных органов исполнительной власти, осуществляющих государственный контроль и надзор за соблюдением требований по электромагнитной совместимости технических средств и требований к качеству электрической энергии в электрических сетях общего назначения, и ответственность должностных лиц указанных федеральных органов исполнительной власти определяются на основании нормативных правовых актов, регламентирующих осуществление государственного контроля и надзора в соответствующих областях государственного регулирования.

Статья 17. Государственный мониторинг электромагнитной обстановки

1. Для обеспечения электромагнитной совместимости технических средств на территории Российской Федерации проводится государственный мониторинг электромагнитной обстановки, включающий в себя наблюдение за электромагнитными помехами и электромагнитными воздействиями, сбор, анализ и оценку информации, создание банков данных и прогнозирование электромагнитной обстановки. Результаты государственного мониторинга учитываются при осуществлении государственного регулирования в области обеспечения электромагнитной совместимости.

2. Информация о состоянии электромагнитной обстановки доводится до сведения органов государственной власти Российской Федерации, органов государственной власти субъектов Российской Федерации, общественных объединений, средств массовой информации.

Порядок проведения государственного мониторинга электромагнитной обстановки устанавливается Правительством Российской Федерации.

ГЛАВА IV. Основные права и обязанности физических и юридических лиц в области обеспечения электромагнитной совместимости технических средств

Статья 18. Права физических и юридических лиц в области обеспечения электромагнитной совместимости

1. Физические лица, в том числе индивидуальные предприниматели, и юридические лица имеют право:

- получать от организаций и индивидуальных предпринимателей, изготавливающих, реализующих (поставляющих, продающих), использующих (эксплуатирующих), ввозящих на территорию Российской Федерации технические средства, информацию о соответствии технических средств требованиям по электромагнитной совместимости, правилам и условиям обеспечения электромагнитной совместимости и по вопросам сертификации технических средств;

- получать от организаций, подающих электрическую энергию, информацию о качестве электрической энергии в электрических сетях общего назначения;

- получать от федеральных органов исполнительной власти, осуществляющих в пределах своих полномочий государственное регулирование в области обеспечения электромагнитной совместимости, информацию о стандартизации и сертификации технических средств на соответствие требованиям по электромагнитной совместимости.

2. Вред, причиненный физическому лицу, в том числе индивидуальному предпринимателю, и юридическому лицу, использующему технические средства, в результате предоставления ненадлежащей информации о соответствии технических средств требованиям по электромагнитной совместимости технических средств, подлежит возмещению продавцом (поставщиком) или изготовителем технического средства по выбору потерпевшего лица.

Вред, причиненный физическому лицу, в том числе индивидуальному предпринимателю, и юридическому лицу в результате неблагоприятных электромагнитных воздействий и недопустимых электромагнитных помех, вызванных нарушениями условий установки и эксплуатации технических средств или несоблюдением установленных стандартами требований к качеству электрической энергии в электрических сетях общего назначения, подлежит возмещению лицом, причинившим вред.

Статья 19. Обязанности физических лиц, в том числе индивидуальных предпринимателей, и юридических лиц, использующих технические средства и потребляющих электрическую энергию

1. Физические лица, использующие технические средства и потребляющие электрическую энергию, обязаны:

- соблюдать установленные инструкциями по эксплуатации технических средств нормы и правила, позволяющие обеспечить электромагнитную

совместимость технических средств и электромагнитную безопасность биологических объектов;

- не допускать умышленное создание электромагнитных помех и неблагоприятных электромагнитных воздействий при использовании технических средств;

- соблюдать установленные требования по ограничению отрицательного влияния используемых ими технических средств, подключенных к электрическим сетям общего назначения, на качество электрической энергии в электрических сетях общего назначения.

2. Индивидуальные предприниматели и юридические лица, эксплуатирующие технические средства и потребляющие электрическую энергию, обязаны:

- соблюдать установленные требования и правила при подключении, вводе в эксплуатацию и эксплуатации технических средств, позволяющие обеспечить установленный уровень электромагнитных помех и неблагоприятных электромагнитных воздействий, а также установленный уровень помехоустойчивости технических средств;

- осуществлять организационно-технические, санитарно-гигиенические, реабилитационные и иные мероприятия, позволяющие обеспечить безопасные условия труда;

- обеспечить проведение регулярных испытаний эксплуатируемых технических средств для подтверждения их соответствия установленным стандартами требованиям по электромагнитной совместимости;

- соблюдать установленные нормы и правила подключения эксплуатируемых технических средств к электрическим сетям общего назначения, не позволяющие ухудшать качество электрической энергии.

3. Физические лица, в том числе индивидуальные предприниматели, и юридические лица обязаны создать необходимые условия для осуществления государственного контроля и надзора за соблюдением установленных стандартами требований по электромагнитной совместимости технических средств и к качеству электрической энергии в электрических сетях общего назначения.

ГЛАВА V. Заключительные положения

Статья 20. Ответственность за нарушение законодательства Российской Федерации в области обеспечения электромагнитной совместимости технических средств

Лица, допустившие нарушение настоящего Федерального закона, несут административную, гражданско-правовую и иную ответственность в соответствии с законодательством Российской Федерации.

Статья 21. Международное сотрудничество в области обеспечения электромагнитной совместимости технических средств

1. Международное сотрудничество в области обеспечения электромагнитной совместимости технических средств осуществляется в соответствии с законодательством Российской Федерации и международными договорами Российской Федерации.

2. Федеральный орган исполнительной власти в области стандартизации и метрологии, а также другие федеральные органы исполнительной власти в пределах своих полномочий представляют интересы Российской Федерации в области обеспечения электромагнитной совместимости технических средств, участвуют в работах по международной стандартизации и сертификации, обеспечивают гармонизацию стандартов с учетом государственных интересов Российской Федерации и расширения возможностей для доступа российских товаропроизводителей на мировые рынки высоких технологий.

3. Федеральные органы исполнительной власти в пределах своих полномочий осуществляют взаимодействие с международными организациями и государственными органами иностранных государств в области обеспечения электромагнитной совместимости технических средств в порядке, установленном законодательством Российской Федерации и международными договорами Российской Федерации.

Статья 22. Вступление в силу настоящего Федерального закона

1. Настоящий Федеральный закон вступает в силу со дня его официального опубликования.

2. Введение обязательной сертификации электрической энергии по показателям качества в электрических сетях общего назначения и сертификации систем качества энергоснабжающих организаций, предусмотренных пунктом 2 статьи 12, осуществляется поэтапно, по мере введения в действие соответствующих нормативных правовых актов федеральных органов исполнительной власти и подготовки технических условий, в сроки, устанавливаемые Правительством Российской Федерации.

3. Предложить Президенту Российской Федерации и поручить Правительству Российской Федерации привести свои нормативные правовые акты в соответствие с настоящим Федеральным законом.

Президент Российской Федерации Б. Ельцин

Библиографический список

1. Задоя Н.И. Основы электромагнитной совместимости в электроэнергетике: Уч. пособие для студентов направления «Электроэнергетика и электротехника» / Рубцовский индустриальный институт. – Рубцовск, 2010. – 108 с.
2. Дьяков А.Ф. и др. Электромагнитная совместимость в электроэнергетике и электротехнике. – М.: Энергоатомиздат, 2008. – 768 с.
3. Основы электромагнитной совместимости. Учебник для вузов / под ред. докт. техн. наук, проф. Р.Н. Карякина. – Барнаул: Алтайский полиграфический комбинат, 2007. – 480 с.
4. Овсянников А.Г. Электромагнитная совместимость в электроэнергетике. Учебное пособие. – Новосибирск: НГТУ, 2002. – 107 с.
5. Кадомская К.П., Кандаков С.А., Лавров Ю.А., Шевченко С.С. Электромагнитная совместимость воздушных, подземных и подводных линий электропередачи высокого напряжения с биосферой и окружающей средой. – Новосибирск: НГТУ, 2007. – 119 с.
6. Цицикян Г.Н. Электромагнитная совместимость в электроэнергетике. Учебное пособие. – Спб.: СЗТУ, 2006. – 59 с.
7. Кужекин И.П. Основы электромагнитной совместимости современного энергетического оборудования. – М.: МЭИ, 2008. – 144 с.

Задоя Николай Иванович

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Учебное пособие для бакалавров направления
«Электроэнергетика и электротехника»

Редактор Е.Ф. Изотова

Подписано в печать 10.10.14. Формат 60x84 /16.

Усл. печ. л. 6,75. Тираж 100 экз. Заказ 14 1302. Рег. №156.

Отпечатано в РИО Рубцовского индустриального института
658207, Рубцовск, ул. Тракторная, 2/6.