



Испытания электронной аппаратуры на ЭМС

Автор: Вербин В.С

Не вызывает никаких сомнений, что большая часть проблем, связанных с обеспечением ЭМС любой аппаратуры, должна решаться самими производителями этой аппаратуры в ходе ее проектирования и доводки. Это означает, что в идеале уровень устойчивости аппаратуры к помехам должен соответствовать параметрам электромагнитной обстановки (ЭМО) в местах ее предполагаемого размещения. При таком подходе на установщика и системного интегратора ложится лишь ответственность за грамотную установку аппаратуры и прокладку кабельной системы в соответствии с рекомендациями производителя аппаратуры.

В реальности, конечно, все не совсем так. Параметры электромагнитной обстановки даже на типовых объектах могут существенно различаться вследствие влияния таких факторов, как старение заземляющего устройства, незначительные, на первый взгляд, отклонения от проекта, влияние со стороны посторонних объектов и т.п. Поэтому на самом деле установщикам, проектировщикам и системным интеграторам часто приходится решать задачи дополнительной защиты от помех. Однако трудоемкость решения этих задач непосредственно зависит от того уровня устойчивости аппаратуры к помехам, который заложен ее производителем. Нужно отметить, что неоправданное завышение требований к помехоустойчивости нежелательно, поскольку ведет к повышению цены аппаратуры.

Таким образом, минимизация затрат по обеспечению ЭМС аппаратуры требует:

- правильного определения ожидаемых параметров ЭМО
- выбора требований к ЭМС аппаратуры в соответствии с ожидаемыми параметрами ЭМО
- проведения политики, обеспечивающей неукоснительное соблюдение разработанных требований к ЭМС аппаратуры.

Первые две проблемы носят технический характер. Обычно их решение осуществляется на стадии разработки и утверждения стандартов и норм ЭМС, регламентирующих требования к характеристикам аппаратуры с точки зрения ЭМС. В этих стандартах определяются классы аппаратуры, на которые они распространяются, методы проведения испытаний на помехоустойчивость и эмиссию помех, а также критерии оценки результатов проведенных испытаний. Третья проблема – проведение политики, обеспечивающей соблюдение разработанных требований к помехоустойчивости аппаратуры – носит организационно-правовой характер. Обычно ее решение оказывается прерогативой государственных органов, хотя многие большие фирмы сами внедряют системы качества, обеспечивающие иногда даже более жесткий контроль, чем принято на государственном уровне. Пример – система экспертной оценки аппаратуры, принятая в РАО «ЕЭС России» (см. ниже).

Становление современной системы контроля характеристик ЭМС аппаратуры за рубежом произошло, в основном, за период с конца восьмидесятых до середины девяностых годов.

1 января 1996 года окончательно вступила в силу Европейская Директива по ЭМС, обязывающая производителей практически всех видов электрической и электронной аппаратуры удовлетворять требованиям стандартов в области ЭМС. К этому моменту уже существовал широкий спектр стандартов ЭМС на самые разные классы аппаратуры.



e-mail: ezop@ezop.ru
тел. (095)133-33-18

В СССР и России отдельные стандарты ЭМС также стали появляться в конце 80-х – начале 90-х годов. К концу 90-х годов сформировался значительный набор стандартов по ЭМС, хотя все еще меньший, чем в странах, где действует Европейская Директива.

В реальности российские и европейские стандарты во многом совпадают. Это объясняется тем, что обычно все они базируются на одних и тех же международных стандартах. Ниже мы рассмотрим основные стандарты ЭМС и органы, занимающиеся их подготовкой и утверждением. Но сначала рассмотрим законодательные аспекты, регулирующие проблему ЭМС.

1. Законодательство в области ЭМС

Как уже отмечалось выше, сами по себе стандарты ЭМС носят чисто технический характер. Чтобы побудить изготовителей, поставщиков, а иногда и пользователей электронной аппаратуры выполнять требования этих стандартов, необходимо наличие соответствующей законодательной базы. Существуют некоторые отличия законодательства в области ЭМС в странах, где действует европейская Директива, с одной стороны, и в России – с другой.

Общий подход всюду один и тот же: законодательные акты обязывают производителей и поставщиков аппаратуры выполнять требования определенного набора стандартов. В Европе основным таким законодательным актом является Директива. В России – «Закон о сертификации продукции и услуг», а также готовящийся (во время написания данной работы) Закон об ЭМС.

Основные различия заключаются в том, каким образом обеспечивается выполнение требований стандартов ЭМС. В Западной Европе соответствие аппаратуры требованиям ЭМС (а также другим обязательным требованиям, например, по электробезопасности) обеспечивается, как правило, ее производителем. В качестве официального подтверждения, что аппаратура отвечает предъявляемым к ней требованиям, производитель выпускает специальную Декларацию соответствия и маркирует свою продукцию специальным знаком («CE-mark», см. рис. 1).



Рисунок 1. Европейская маркировка аппаратуры

При этом в большинстве случаев производитель волен сам решать, где и как испытывать свою аппаратуру на соответствие требованиям ЭМС, и испытывать ли вообще. Однако при этом действующее законодательство предусматривает довольно жесткую ответственность в случае несоответствия декларируемых и реальных характеристик аппаратуры. Существуют процедуры проверки таких характеристик по инициативе какой-либо из заинтересованных сторон. Продажа аппаратуры, не имеющей маркировки и Декларации соответствия, также запрещена и преследуется по закону.

Отличие российской системы подтверждения характеристик ЭМС аппаратуры заключается прежде всего в том, что процедура испытаний на ЭМС носит обязательный и регламентированный характер. Существует список товаров и услуг, подлежащих обязательной сертификации, выпускаемый Госстандартом РФ в соответствии с Законом о сертификации продукции и



e-mail: ezop@ezop.ru
тел. (095)133-33-18

услуг. В нем перечисляются различные товары и услуги, подлежащие процедуре обязательной сертификации. Для каждой позиции этого списка перечисляются стандарты и другие нормативные документы, выполнение требований которых должно быть проверено в ходе процедуры сертификации. Для электронной аппаратуры к таким нормативным документам обычно относятся стандарты по ЭМС и электробезопасности. В некоторых случаях нормируются функциональные и гигиенические характеристики аппаратуры, пожаробезопасность и т.п. Проверка выполнения требований этих нормативных документов далее производится путем проведения сертификационных испытаний в специальных аккредитованных испытательных лабораториях. В случае успешного исхода этих испытаний сертификационный центр выдает, на основе протоколов испытаний, сертификат соответствия установленного образца. При этом также выдается лицензия на маркировку аппаратуры специальным знаком соответствия (рис. 2). Аккредитация лабораторий и сертификационных центров осуществляется Госстандартом РФ.



Рисунок 2. Знак соответствия в системе ГОСТ Р

Возможна ситуация, когда аппаратура не включена в список продукции и услуг, подлежащих обязательной сертификации, хотя на нее имеются стандарты, ТУ и другая техническая документация. В этом случае подтверждение соответствия этим документам может быть получено путем добровольной сертификации, процедура проведения которой полностью аналогична обязательной сертификации.

Существующая система сертификации усложняется тем, что Госстандарт со своей системой сертификации ГОСТ Р не является единственным действующим лицом в области сертификации электронной аппаратуры. Различные министерства и ведомства могут иметь свои системы сертификации, не подчиненные Госстандарту РФ. Так, свои системы сертификации имеют связь, атомная энергетика, авиация и т.п.

В электроэнергетике существует система экспертной оценки РАО «ЕЭС России». Ее суть состоит в том, что производитель, заинтересованный в поставке своего оборудования на объекты РАО «ЕЭС России», предоставляет его для испытаний и изучения специальным уполномоченным организациям. Специалисты этих организаций составляют заключение, в котором дается ответ на вопрос о возможности использования представленного оборудования на объектах РАО и указываются возможные ограничения по применению. При проведении экспертной оценки учитываются как государственные стандарты, так и внутренние нормы РАО ЕЭС.

Если при этом аппаратура подлежит обязательной сертификации, то экспертная оценка ее не заменяет. Поэтому в реальности процедуры сертификации и экспертной оценки часто выполняются одновременно с привлечением организаций в структуре РАО ЕЭС и Госстандар-



e-mail: ezop@ezop.ru
тел. (095)133-33-18

та.

2. Стандарты ЭМС

2.1 Органы стандартизации

Большинство действующих в настоящее время в России и за рубежом стандартов ЭМС являются, по сути, локализованными версиями международных стандартов. Поэтому мы сначала рассмотрим организации, разрабатывающие международные стандарты. Нужно, однако, понимать, что международные стандарты не имеют силы с точки зрения национального законодательства. В то же время они являются базой, на которой основываются национальные стандарты. Национальные законодательства ссылаются уже на национальные стандарты.

Рассматриваемые ниже международные организации можно разделить на всемирные и региональные (в основном, европейские).

ИЕС, МЭК (International Electrotechnical Commission – Международная Электротехническая Комиссия) является всемирной организацией по стандартизации. Разрабатывает широкий спектр стандартов, в том числе и в области ЭМС. Стандарты МЭК нумеруются, начиная с букв ИЕС.

CENELEC, СЕНЕЛЕК (European Committee for Electrotechnical Standardisation – Европейский комитет по стандартизации в электротехнике) является, пожалуй, наиболее важным европейским органом по стандартизации в области ЭМС. Чтобы избежать ненужного дублирования, а также обвинений в возведении барьеров между Европой и остальным миром, СЕНЕЛЕК обычно предоставляет МЭК преимущество при создании стандартов в области ЭМС. Большинство современных европейских стандартов являются на самом деле стандартами МЭК, одобренными СЕНЕЛЕК. Это объясняется тем, что только публикации СЕНЕЛЕК могут рассматриваться как исходные данные для официальных текстов европейских стандартов.

Все стандарты СЕНЕЛЕК нумеруются, начиная с «EN» или «ENV».

CISPR, СИСПР (International Special Committee on Radio Interference – Специальный международный комитет по радиопомехам) имеет самый большой опыт написания стандартов в области ЭМС. Большинство первых международных коммерческих стандартов были документами СИСПР. В настоящее время СИСПР работает как подкомитет МЭК. Все документы СИСПР нумеруются, начиная с букв CISPR.

CIGRE, СИГРЭ (International Conference on Large High Voltage Electric Systems – Международная конференция по большим высоковольтным электрическим системам). Комитет 36 СИГРЭ изучает вопросы, связанные с электромагнитной совместимостью высоковольтного оборудования и электронной аппаратуры. СИГРЕ работает в контакте с такими организациями, как МЭК и СИСПР. Рекомендации СИГРЭ учитываются при подготовке стандартов МЭК и СИСПР.

Национальные органы стандартизации (например, Британский институт стандартов BSI – British Standards Institute, российский Госстандарт и отраслевые ведомства) поддерживают контакт с международными органами стандартизации в области ЭМС. Они следят за выпуском новых международных стандартов и выпускают соответствующие им национальные



e-mail: ezop@ezop.ru
тел. (095)133-33-18

стандарты. В большинстве случаев смысловая часть международных стандартов без изменений переходит в национальные стандарты. Однако в некоторых случаях содержание национальных стандартов отличается от международных. Это может быть связано со специфическими местными условиями, наличием пробелов в международных стандартах, а также более высокими национальными требованиями к надежности работы аппаратуры. Для обеспечения совместимости, расхождения между национальными и международными стандартами стараются, как правило, минимизировать.

В России основным национальным органом стандартизации является Госстандарт. Он не только самостоятельно выпускает российские стандарты (первые буквы – ГОСТ Р), но и регистрирует стандарты, выпускаемые другими российскими органами стандартизации. В качестве других органов стандартизации в России, как правило, выступают различные министерства и ведомства. Так, нормативные акты по проблемам ЭМС в радиочастотной области спектра выпускаются ГКРЧ – Государственной комиссией по радиочастотам. ГКРЧ выпускает нормы, регламентирующие эмиссию помех аппаратурой в радиочастотном диапазоне. Нормативные акты, выпущенные другими органами стандартизации, обычно регистрируются Госстандартом.

На территории России также действуют сохранившие силу стандарты СССР и региональные стандарты уровня СНГ, принимаемые Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации в Минске. И те, и другие обозначаются буквами ГОСТ (без последующей буквы «Р»).

2.2 Классификация стандартов в области ЭМС

Существующие стандарты, имеющие отношение к проблемам ЭМС, можно разделить на три группы:

1. **Общие стандарты** – стандарты, устанавливающие общие принципы проведения испытаний на ЭМС для очень широких классов аппаратуры. Испытания аппаратуры непосредственно на соответствие требованиям таких стандартов обычно не проводят. Их основное назначение в другом – установить общие правила и методики проведения испытаний на ЭМС.

Нужно отметить, что нехватка стандартов на виды продукции иногда приводит к тому, что общие стандарты все-таки используются для проведения испытаний конкретной аппаратуры. Такой подход достаточно популярен на Западе. Однако использование общих стандартов для испытания конкретной аппаратуры предъявляет очень высокие требования к квалификации персонала, готовящего программу испытаний. Причиной этого является то, что общие стандарты не учитывают особенностей установки и функционирования конкретных классов аппаратуры. Обычно используется лишь общая классификация электромагнитной обстановки (например, «жилая» и «промышленная»). В результате часто появляется излишняя свобода в выборе степеней жесткости и даже номенклатуры испытаний.

Из российских стандартов типичным представителям этой группы является ГОСТ 29280-92 «Совместимость технических средств, электромагнитная техника испытаний и измерений, перечень и краткие описания испытаний на помехоустойчивость. Порядок установ-



e-mail: ezop@ezop.ru

тел. (095)133-33-18

ления требований к помехоустойчивости технических средств и проведения испытаний на помехоустойчивость».

2. **Базовые стандарты.** Назначением базовых стандартов является установление методов испытаний и степеней жесткости, на которые можно ссылаться из других стандартов. В идеале, стандарты на виды продукции не должны содержать данных о методах испытаний и величинах, соответствующих конкретным степеням жесткости, а только лишь ссылки на соответствующие базовые стандарты. Примерами базовых стандартов являются:

- ГОСТ 29156-91 (ГОСТ Р 51317.4.4-99, МЭК 1000-4-4-95) «Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к наносекундным импульсным помехам. Технические требования и методы испытаний».
- ГОСТ Р 50007-92 (ГОСТ Р 51317.4.5-99, МЭК 1000-4-5-95) «Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к микросекундным импульсным помехам большой энергии. Технические требования и методы испытаний».
- ГОСТ Р 50033-92 «Совместимость технических средств электромагнитная. Радиопомехи промышленные от устройств, содержащих источники кратковременных радиопомех. Нормы и методы испытаний».

3. **Стандарты на виды продукции.** Эти стандарты устанавливают требования к конкретным видам аппаратуры. Помимо требований ЭМС, они могут содержать требования к функциональности, надежности и т.п. Именно эти стандарты упоминаются в «Перечне продукции и услуг, подлежащих обязательной сертификации». В случае добровольной сертификации вместо таких стандартов могут выступать ТУ на аппаратуру.

Серьезной проблемой является нехватка стандартов ЭМС на виды продукции. Так, на момент написания данной работы, отсутствуют российские стандарты ЭМС для значительной части электронной аппаратуры защиты, управления и связи энергообъектов, хотя уже имеются соответствующие международные стандарты МЭК.

Примеры российских стандартов на виды продукции:

- ГОСТ Р 50839-95 «Устойчивость средств вычислительной техники и информатики к электромагнитным помехам»
- ГОСТ Р 50932-96 «Устойчивость оборудования проводной связи к электромагнитным помехам».
- ГОСТ 30428-96 «Радиопомехи промышленные от аппаратуры проводной связи».

Приведенная выше классификация стандартов не является строгой. В реальности многие стандарты занимают как бы промежуточное положение между указанными группами. Так, например, ГОСТ Р 50932-96 «Устойчивость оборудования проводной связи к электромагнитным помехам» является, несомненно, стандартом на вид продукции. Поэтому он не должен был бы содержать описаний методов испытаний. Тем не менее, в него включена методика испытания на устойчивость к импульсным помехам с параметрами 6,5/700 мкс (первая цифра – длительность фронта, вторая – длительность всего импульса). Это объясняется тем, что в момент разработки этого стандарта отсутствовал базовый стандарт на устойчивость к помехам с требуемыми характеристиками.



e-mail: ezop@ezop.ru

тел. (095)133-33-18

2.3 Обзор основных испытаний на ЭМС

В этом разделе мы кратко рассмотрим основные испытания на ЭМС и соответствующие российские базовые стандарты. Мы рассматриваем лишь испытания на устойчивость аппаратуры к помехам. Испытания на эмиссию помех аппаратурой должны быть предметом отдельного рассмотрения.

Основные виды испытаний на ЭМС (устойчивость к помехам)

Испытание	Имитируемое явление	Степени жесткости	Способ подачи воздействия
1	2	3	4
Устойчивость к микросекундным импульсным помехам большой энергии – МИП ГОСТ Р 50007-92 (ГОСТ Р 51317.4.5-99, МЭК 1000-4-5-95)	Импульсная помеха от грозового разряда	1 – 0,5 кВ 2 – 1 кВ 3 – 2 кВ 4 – 4 кВ 5 – согласование между заказчиком и производителем	Входы питания. Входы и выходы информационных цепей.
Устойчивость к наносекундным импульсным помехам – НИП ГОСТ 29156 (ГОСТ Р 51317.4.4-99, МЭК 1000-4-4-95)	Импульсные помехи при работе электронных инструментов, коммутациях в элегазовых электроустановках и т.п. 5/50 нс	1 – 0,5 кВ 2 – 1 кВ 3 – 2 кВ 4 – 4 кВ 5 – согласование между заказчиком и производителем	Входы питания. Входы и выходы информационных цепей.
Устойчивость к затухающим синусоидальным колебаниям (T=10 мкс)	Коммутационные помехи, не прямой эффект грозового разряда	1 – 0,5 кВ 2 – 1 кВ 3 – 2 кВ 4 – 4 кВ	Входы питания. Входы и выходы информационных цепей.
Волны с затухающими колебаниями (T=1 мкс) по ГОСТ 29280	Коммутационные помехи	1 – 0,5 кВ 2 – 1 кВ 3,4 – 2,5 кВ	Входы питания. Входы и выходы информационных цепей.
Устойчивость к динамическим изменениям напряжения сети электропитания ГОСТ Р 50627-93 (ГОСТ Р 51317.4.11-99).	Провалы, прерывания и выбросы напряжения питания	Провалы (30%) – от 0,2 до 2 с. Прерывания (100%) – от 0,02 мс до 0,2 мс Выбросы (20%) – от 0,2 до 2 с	Входы питания.
Устойчивость к элек-	ЭСР с тела человека	1 – 2/4 кВ	Корпус аппарату-



e-mail: ezop@ezop.ru
тел. (095)133-33-18

тросстатическим разрядам ГОСТ 29191 (ГОСТ Р 51317.4.2-99).	или заряженных предметов (контактный /воздушный)	2 – 4/6 кВ 3 – 6/8 кВ 4 – 8/15 кВ	ры, незакрытые клавиатуры, разъемы и т.п.
Устойчивость к радиочастотным электромагнитным полям в диапазоне 80-1000 МГц (1300-2000 МГц) ГОСТ Р 50008 (ГОСТ Р 51317.4.3-99).	Работа радиопередатчиков различного назначения	1 – 1 В/м 2 – 3 В/м 3 – 10 В/м 4 – 30 В/м	Аппаратура в целом с присоединенными кабелями
Устойчивость к магнитным полям промышленной частоты по ГОСТ Р 50648-94 (ГОСТ Р 51317.4.8-99).	Работа силового электрооборудования в нормальном режиме / в режиме КЗ	1 - - А/м 2 - - А/м 3 - - А/м 4 – 400 А/м 5 - 600 А/м	Аппаратура в целом с присоединенными кабелями
Устойчивость к импульсным магнитным полям в соответствии с ГОСТ Р 50649-94 (ГОСТ Р 51317.4.9-99).	Поля при грозовом разряде	1 – – А/м 2 – – А/м 3 – 100 А/м 4 – 300 А/м 5 - 600 А/м	Аппаратура в целом с присоединенными кабелями

Критерии качества функционирования:

А – изменения функциональных характеристик под действием помех не наблюдаются.

В – имеют место самовосстанавливающиеся нарушения в момент воздействия помехи, не требуется вмешательства персонала.

С – для восстановления функционирования требуется вмешательство персонала (например, ручная перезагрузка).

Статистика отказов при испытаниях на ЭМС

В данном разделе приводится статистика, полученная при проведении сертификации и экспертной оценки РАО «ЕЭС России». Испытания производились в аккредитованной испытательной лаборатории Ростест – Москва. Участвовали организации: Ростест-Москва, АО ВНИИЭ, ООО ЭЗОП. Испытывалась аппаратура ВЧ-связи, защиты и автоматики для энергетики (Российских и зарубежных производителей)

На рисунке 3 приводится статистика отказов аппаратуры при выполнении испытаний на ЭМС. Информация дается лишь по четырем наиболее распространенным видам испытаний аппаратуры на ЭМС. Испытания на электробезопасность и повторные испытания после доводки не учитываются.



ЭЗОП - Электроэнергетика, Защита От Помех

e-mail: ezop@ezop.ru

тел. (095)133-33-18

Таким образом, видно, что лишь незначительный процент аппаратуры с первого раза удовлетворяет жестким требованиям электроэнергетики. Обычно это аппаратура производителей с мировым именем, внедривших собственные системы качества и испытаний на ЭМС.

Аппаратура многих менее известных производителей (в том числе, российских) не выдерживает испытаний из-за недостаточной проработки вопросов ЭМС. В ходе испытаний выявляются слабые места, которые подлежат модернизации при последующей доводке. Обычно установка дополнительных защитных элементов, изменение дизайна корпуса и схемы позволяют добиться положительного исхода повторных испытаний.

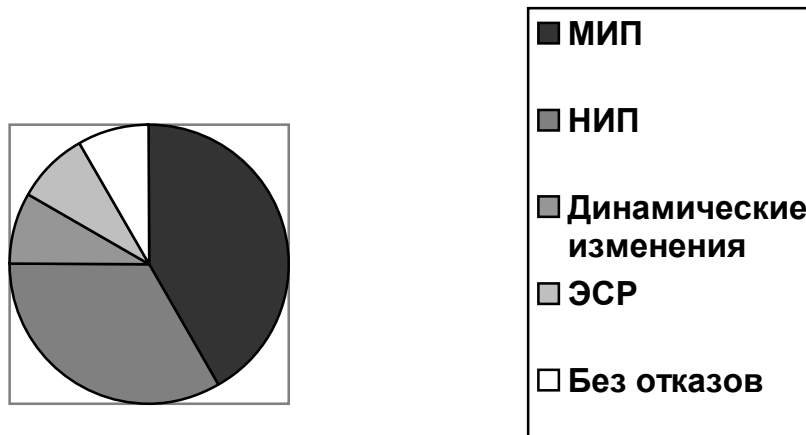


Рисунок 3. Статистика отказов при испытаниях на ЭМС

Типичные отказы МП аппаратуры при испытаниях на ЭМС

Микросекундные импульсные помехи	им- пульсные помехи	Перегорание плавких предохранителей Разрушение интерфейсных элементов (трансформаторов, оптронов, преобразователей и т.п.). Перекрытие между цепями ввода-вывода и внутренними цепями аппаратуры, приводящее к выходу из строя основных логических элементов
Наносекундные импульсные помехи	импульс- ные помехи	Ложное срабатывание индикаторов из-за изменения состояния соответствующих логических схем под действием помех. Перезагрузка из-за срабатывания сторожевых таймеров и других средств самоконтроля. "Зависание" аппаратуры из-за появления фатальных ошибок в программах и данных. Временный (до 3–5 мин.) выход из строя схем на основе КМОП-логики. Невосстанавливающееся повреждение интегральных схем



e-mail: ezop@ezop.ru
тел. (095)133-33-18

ЭСР	Перезагрузки из-за срабатывания сторожевых таймеров и других средств самоконтроля. "Зависание" аппаратуры из-за появления фатальных ошибок в программах и данных. Временный (до 3–5 мин.) выход из строя схем на основе КМОП-логики.
Магнитные поля промышленной частоты	Нарушение работы электронно-лучевых дисплеев (время восстановления – до нескольких часов).
Импульсные магнитные поля	Нарушение работы электронно-лучевых дисплеев (время восстановления – до нескольких часов).

Стандарты на виды продукции

Ниже в качестве примера рассматриваются требования трех стандартов на виды продукции. Сравниваются общие стандарты и отраслевые требования электроэнергетики. Видно, что в электроэнергетике требования ЭМС оказываются намного жестче. Это объясняется тем, что ожидаемая ЭМО на энергообъектах обычно значительно жестче, чем в обычных офисах и на предприятиях с низкой и средней энергоемкостью.

Стандарты на продукцию общего назначения:

ГОСТ Р 50932 – 96 – Устойчивость оборудования проводной связи к электромагнитным помехам

ГОСТ Р 50839–95 – Устойчивость средств вычислительной техники и информатики к электромагнитным помехам

Для сравнения – отраслевые требования (электроэнергетика, РАО «ЕЭС России»)

РД 34.35.310-97 Общие технические требования к микропроцессорным устройствам защиты и автоматики энергосистем

Сравнение требований различных стандартов:

Воздействие	ГОСТ Р 50932 – 96		ГОСТ Р 50839–95		РД 34.35.310-97
	Гр. 1	Гр. 2	Гр. 1	Гр. 2	
1	2	3	4	5	6
МИП (ГОСТ 50007)	Питание – 1 кВ (П–З) Лин. цепи (П–З) 0,5 кВ	Питание – 2 кВ (П–З), 1 кВ (П–П) Лин. цепи (П–З) 1 кВ	0,5 кВ (П–З)	1 кВ (П–З) 0,5 кВ (П–П)	4 кВ (цепи с РУ)
МИП (ГОСТ 50932–96)	Лин. цепи (П–З) 1 кВ	Лин. цепи (П–З) 1 кВ	–	–	4 кВ (цепи с РУ)



e-mail: ezop@ezop.ru
тел. (095)133-33-18

НИП	1 кВ	2 кВ	0,5 кВ – питание 0,25 кВ – информ. цепи	1 кВ – питание 0,5 кВ – информ. цепи	4 кВ – питание, 2 кВ – осталь- ные цепи
Затухающие синусоидальные колебания	–	–	–	–	2,5 кВ (П–З) 1 кВ (П–П)
ЭСР	4/8 кВ	4/8 кВ	2/4	4/6	6/8 кВ
МП пром. частоты	–	–	–	–	30 А/м
Радиочастотные поля	3 В/м	10 В/м	–	–	10 В/м