

*Е.Г. КОРОЛЬ*, ст. преподаватель, НТУ "ХПИ"

*М.Г. ПАНТЕЛЯТ*, канд. физ.-мат. наук, ст. преподаватель,  
НТУ "ХПИ"

## **ТРЕБОВАНИЯ ПО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ НА ОБЪЕКТАХ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ И ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

Выполнен анализ нормативных документов (Международные стандарты ИЕС, Государственные стандарты Украины ДСТУ и Российской Федерации ГОСТ) по вопросам электромагнитной совместимости технических средств в условиях энергетических и промышленных объектов. Приведены требования помехоустойчивости к воздействию магнитного поля промышленной частоты.

**Ключевые слова:** электромагнитная совместимость, стандарты, электромагнитная обстановка, электромагнитное воздействие, магнитное поле промышленной частоты, испытательный уровень (уровень жесткости излучения).

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

**Цель работы** – анализ требований по электромагнитной совместимости применительно к объектам промышленности и электроэнергетики.

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

*Электромагнитная совместимость технических средств* – это способность ТС функционировать с заданным качеством в заданной электромагнитной обстановке и не создавать недопустимых электромагнитных помех другим ТС и электромагнитных воздействий на биологические объекты [3-8]. Иными словами, это нормальное совместное функционирование передатчиков и приемников электромагнитной энергии.

*Техническое средство* – электротехническое или электронное изделие, оборудование, аппаратура или система, а также изделие, содержащее электрические и (или) электронные компоненты (схемы) [3, 4, 9, 10].

*Электромагнитная помеха (ЭМП)* – электромагнитное явление или процесс естественного или искусственного происхождения, которые снижают или могут снизить качество функционирования ТС [3, 4, 6-8]. Она может излучаться в пространство или распространяться в проводящей среде.

*Источник помехи* – источник искусственного или естественного происхождения, который создает или может создать электромагнитную помеху, то есть это устройство, излучающее электромагнитную энергию [3, 4].

*Приемник помех (рецептор)* – ТС, реагирующее на электромагнитный сигнал и (или) ЭМП [3, 4].

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

*Электромагнитная обстановка (ЭМО)* – совокупность электромагнитных явлений, процессов в заданной области пространства, частотном и временном диапазонах [3-7].

*Электромагнитное воздействие* – электромагнитное явление или процесс, которые влияют или могут повлиять на биологические объекты. К электромагнитным воздействиям относятся создаваемые ТС в окружающем пространстве электромагнитные, электрические и магнитные поля [5, 7].

*Эмиссия помех* – излучение электромагнитной энергии могущей вызвать нежелательный эффект [5].

*Уровень помехи* – значение величины электромагнитной помехи, измеренное в регламентированных условиях [3-5].

*Уровень ЭМС* – установленный уровень электромагнитной помехи, используемый для определения предельных значений помехоэмис-

сии и помехоустойчивости [6, 7, 11].

*Устойчивость ТС к ЭМП (помехоустойчивость)* – способность ТС сохранять заданное качество функционирования при воздействии на него внешних помех с регламентируемыми значениями параметров в отсутствии дополнительных средств защиты от помех, не относящихся к принципу действия или построения ТС [3, 4, 8].

*Качество функционирования ТС* – совокупность свойств и параметров, характеризующих работоспособность ТС [3, 4, 8].

*Ухудшение качества функционирования* – нежелательное отклонение в работе ТС от установленного режима функционирования [6, 7].

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

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

- влияние других ТС, установленных на объекте: низковольтное и высоковольтное оборудование, крупное промышленное оборудование, применяемое на объекте, линии электропитания, другие системы, работающие на объекте, системы передачи сигналов, а также оборудование, работающее с ними в системе управления;

- влияние системы управления на включенное в нее оборудование;

- влияние передаваемых сигналов (помех, наводок): электрические и магнитные поля, электромагнитные поля, наведенные напряжения и токи, переходные процессы в системах;

- влияние неупорядоченное заземление оборудования и отсутствие специально спроектированных систем заземления;

- колебания в сетях питания.

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

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

**Жесткость ЭМО в местах размещения ТС** – это обобщенная характеристика ЭМО, которая зависит от интенсивности кондуктивных и излучаемых помех, действующих в месте размещения ТС. Жесткость ЭМО определяется условиями размещения, установки и монтажа ТС. По жесткости ЭМО разделяется на 4 группы [12]:

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

**Группа I.** Легкая электромагнитная обстановка:

- осуществлены оптимизационные и скоординированные мероприятия по подавлению помех и защите от перенапряжений во всех цепях;
- электропитание отдельных элементов устройства зарезервировано, силовые и сигнальные цепи выполнены раздельно;
- заземление, прокладка кабелей, экранирование произведено в соответствии с требованиями ЭМС;
- климатические условия контролируются и приняты специальные меры по предотвращению разрядов статического электричества.

**Группа II.** Электромагнитная обстановка средней тяжести:

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

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

**Группа III.** Жесткая электромагнитная обстановка:

- защита от перенапряжений в силовых цепях и цепях управления не предусмотрена;
- повторного зажигания дуг в коммутационных аппаратах не происходит;
- имеется заземляющее устройство;
- провода электропитания, управления и коммутационных цепей

недостаточно разделены;

- кабели линий передачи данных, сигнализации, управления разделены;

- относительная влажность воздуха поддерживается в определенных пределах и не имеется материалов, способных электризоваться трением;

- использование переносных радиопереговорных устройств ограничено (установлено расстояние, на которое с этими устройствами нельзя приближаться к приборам).

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

**Группа IV.** Крайне жесткая электромагнитная обстановка:

- защита в цепях управления, сигнализации и электропитания от перенапряжений отсутствует;

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

- существует неопределенность в выполнении заземляющего устройства;

- нет пространственного разделения кабелей электропитания и управления;

- управление и сигнализация осуществляются по общим кабелям;

- возможна любая влажность воздуха и наличие электризуемых трением материалов;

- возможно неограниченное использование переносных переговорных устройств;

- возможно наличие мощных радиопередатчиков;

- возможно наличие дуговых технологических устройств (электродов, сварочных машин и т. п.).

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

**Критерий качества функционирования ТС** определяется совокупностью свойств и параметров, характеризующих работоспособность ТС при воздействии помех. Разделяют 4 группы критериев качества функционирования ТС [8]:

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

В – кратковременное нарушение функционирования или ухудше-

ние параметров с последующим восстановлением нормального функционирования без вмешательства оператора, т.е. сбои в работе ТС возникают только во время воздействия помехи, а после ее снятия – ТС работает нормально;

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

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

#### **Классификация ЭМП, характеризующих ЭМО [11]:**

– низкочастотные кондуктивные ЭМП, вызываемые любым источником, кроме электростатических разрядов (гармоники, интергармоники напряжения электропитания; напряжения сигналов, передаваемых в сетях электропитания; колебания напряжения питания; провалы, кратковременные прерывания и выбросы напряжения электропитания; отклонения напряжения электропитания; несимметрия напряжений в трехфазных системах электроснабжения; изменения частоты питающего напряжения; наведенные низкочастотные напряжения; постоянные составляющие в сетях электропитания постоянного тока);

– низкочастотные излучаемые ЭМП, вызываемые любым источником, кроме электростатических разрядов (магнитные поля; электрические поля);

– высокочастотные кондуктивные ЭМП, вызываемые любым источником, кроме электростатических разрядов (наведенные напряжения или токи непрерывных колебаний; аperiodические переходные процессы; колебательные переходные процессы);

– высокочастотные излучаемые ЭМП, вызываемые любым источником, кроме электростатических разрядов (магнитные поля; электрические поля; электромагнитные поля);

– электростатические разряды.

**Помехоустойчивость ТС.** Направление, связанное с помехоустойчивостью ТС, занимает центральное место в обеспечении ЭМС. Базовые стандарты регламентируют следующие основные виды помех в области ЭМС, требования к которым по устойчивости ТС определены в [12] табл. 1.

В зависимости от условий эксплуатации в технических условиях на ТС могут рассматриваться другие виды помех, отражающих специфику ЭМО.

В зависимости от назначения и влияния ТС на безопасность и от жесткости ЭМО при эксплуатации ТС устанавливают I, II, III, IV

и особую группы исполнения ТС по устойчивости к помехам.

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

В соответствии с окружающей ЭМО и исходя из условий эксплуатации ТС устанавливают степени жесткости испытаний ТС на устойчивость к помехам видов, указанных в табл. 1.

Таблица 1 – Основные виды помех в области ЭМС.

№ п/п	Виды помех	Испытательное воздействие	Базовые стандарты	Примечание
1	Микросекундные импульсные помехи большой энергии	<b>Амплитуда импульсов:</b> 0,5; 1; 2; 4 кВ в зависимости от степени жесткости испытаний. <b>Длительность фронта</b> – 1 мкс. <b>Длительность импульса</b> – 50 мкс. Помехи создаются в цепях электропитания, ввода/вывода симметрично (провод-провод) и несимметрично (провод-земля).	ДСТУ ІЕС 61000-4-5:2008 [13] ГОСТ Р 51317.4.5-99 [14] ІЕС 61000-4-5:2005 [15]	Помехи, вызываемые перенапряжениями, возникающими в результате коммутационных переходных процессов и молниевых разрядов
2.	Динамические изменения напряжения электропитания	<b>Провалы напряжения в цепи питания, 220 В, 50 Гц:</b> на 30% до 2 с. <b>Прерывания</b> до 200 мс. <b>Перенапряжения</b> на 20 % до 2 с. <b>Длительность</b> – от 10 мс до 2 с в зависимости от степени жесткости испытаний.	ДСТУ ІЕС 61000-4-11:2007 [16] ГОСТ Р 51317.4.11-2007 [17] ІЕС 61000-4-11:2005 [18]	Помехи, вызываемые провалами, кратковременными прерываниями, выбросами, а также постепенными изменениями напряжения электропитания
3.	Наносекундные импульсные помехи	<b>Амплитуда импульсов:</b> 0,5; 1; 2; 4 кВ в зависимости от степени жесткости испытаний. <b>Время нарастания импульса</b> – 5 нс. <b>Длительность импульса</b> – 50 нс. <b>Частота повторения импульсов</b> – 5; 100 кГц. Генератор создает помехи пачками по 15 мс через 300 мс. Помехи создаются в цепях электропитания, ввода/вывода несимметрично (провод-земля).	ДСТУ ІЕС 61000-4-4:2008 [19] ГОСТ Р 51317.4.4-2007 [20] ІЕС 61000-4-4:2004 [21]	Помехи, возникающие в результате коммутационных процессов (прерывания индуктивных нагрузок, размыкание контактов реле и т.п.) и воздействующие на порты электропитания и сигналов ввода/вывода.

## Продолжение таблицы 1

4.	Электростатические разряды	<p><b>Напряжение контактного разряда:</b> 2; 4; 6; 8 кВ в зависимости от степени жесткости испытаний.</p> <p><b>Напряжение воздушного разряда:</b> 2; 4; 8; 15 кВ в зависимости от степени жесткости испытаний.</p> <p><b>Параметры импульса разрядного тока:</b> фронт – 0,8 нс; амплитуда – 7,5; 15; 22,5; 30 А; ток разряда уменьшается через 30 нс до 4; 8; 12; 16 А в зависимости от степени жесткости испытаний и еще в 2 раза через 60 нс.</p> <p><b>Точки воздействия:</b> корпус, органы управления, плоскости связи.</p>	ГОСТ Р 51317.4.2-2010 [22] IEC 61000-4-2:2008 [23]	Помехи, возникающие как при прямом воздействии от оператора, так и непрямом воздействии от оператора на расположенные вблизи ТС, предметы и оборудование.
5.	Радиочастотное электромагнитное поле	<p><b>Напряженность электромагнитного поля:</b> 1; 3; 10; 30 В/м в зависимости от степени жесткости испытаний.</p> <p><b>Амплитудная модуляция</b> 80% синусоидальным сигналом частотой 1 кГц.</p> <p><b>Частота поля для источников общего применения</b> – 80-1000 МГц, а для <b>цифровых радиотелефонов</b> – 800-960 МГц и 1,4-6 ГГц.</p> <p>Результат испытаний оценивается на основании критериев качества функционирования (А, В, С, D).</p>	ГОСТ Р 51317.4.3-2006 [24] IEC 61000-4-3:2006+A1:2007+A2:2010 [25]	Источниками поля являются портативные приемопередатчики, применяемые эксплуатационным персоналом и службами безопасности, стационарные радио- и телевизионные передатчики, радиопередатчики подвижных объектов, различные промышленные источники излучений.
6.	Магнитное поле промышленной частоты (МППЧ)	<p><b>Напряженность МППЧ:</b> 1; 3; 10; 30; 100 А/м непрерывно и 300; 1000 А/м кратковременно (до 3 с) в зависимости от степени жесткости испытаний.</p> <p><b>Частота</b> – 50 Гц; 60 Гц.</p> <p>Воздействие на всё ТС.</p>	ДСТУ 2465-94 [10] ГОСТ Р 50648-94 [26] IEC 61000-4-8:2009 [27]	Помехи, возникающие в результате воздействия непрерывного или кратковременного МППЧ.
7.	Импульсное магнитное поле (ИМП)	<p><b>Напряженность ИМП:</b> 100; 300; 1000 А/м.</p> <p>Воздействие на всё ТС.</p>	ГОСТ Р 50649-94 / ГОСТ 30336-95 [28, 29] IEC 61000-4-9:1993+A1:2000 [30]	Помехи, возникающие в результате воздействия ИМП.

Продолжение таблицы 1

8.	Кондуктивные помехи, наведенные радиочастотными электромагнитными полями	<p><b>Испытательное напряжение:</b> 1; 3; 10 В в зависимости от степени жесткости испытаний.</p> <p><b>Амплитудная модуляция</b> 80 % синусоидальным напряжением частотой 1 кГц.</p> <p><b>Полоса частот</b> – 0,15-80 МГц.</p> <p>Результат испытаний оценивается на основании критериев качества функционирования (А, В, С, D).</p>	ГОСТ Р 51317.4.6-99 [31] IEC 61000-4-6: 2008 [32]	Помехи, вызываемые излучениями преимущественно радиопередающих устройств в полосе частот от 150 кГц до 80 МГц.
9.	Колебательные затухающие помехи (КЗП)	<p><b>Испытательное напряжение при подаче помехи по схеме: провод-земля:</b> 0,5; 1; 2; 4 кВ; <b>провод-провод:</b> 0,25; 0,5; 1; 2 кВ в зависимости от степени жесткости испытаний для одиночных КЗП.</p> <p><b>Испытательное напряжение при подаче помехи по схеме: провод-земля:</b> 0,5; 1; 2-2,5 кВ; <b>провод-провод:</b> 0,25; 0,5; 1 кВ в зависимости от степени жесткости испытаний для повторяющихся КЗП.</p> <p>Результат испытаний оценивается на основании критериев качества функционирования (А, В, С, D).</p>	ГОСТ Р 51317.4.12-99 [33] IEC 61000-4-12: 2006 [34]	<p><b>Одиночные КЗП,</b> возникающие в низковольтных силовых линиях и в линиях управления и сигнализации ТС, получающих электропитание от низковольтных распределительных электрических сетей и систем электроснабжения промышленных предприятий.</p> <p><b>Повторяющиеся КЗП,</b> возникающие в основном в силовых линиях и линиях управления и сигнализации на электрических подстанциях высокого (выше 35 кВ) и среднего (6-35 кВ) напряжения.</p> <p>Повторяющиеся КЗП относят к срабатыванию одного отдельного выключателя.</p>
10.	Колебания напряжения электропитания (КНЭ)	<p><b>Величина начального напряжения электропитания:</b> <math>U_n</math>, <math>0,9U_n</math>, <math>1,1U_n</math>.</p> <p><b>Величина ступени изменения напряжения <math>\Delta U</math>:</b> <math>\pm 0,08U_n</math>, <math>\pm 0,12U_n</math> в зависимости от класса ЭМО (2 или 3) и степени жесткости испытаний.</p> <p>Результат испытаний оценивается на основании критериев качества функционирования (А, В, С, D).</p>	ГОСТ Р 51317.4.14-2000 [35] IEC 61000-4-14: 1999+A1: 2001+A2:2009 [36]	Помехи, возникающие в результате КНЭ положительной и отрицательной полярности и воздействующие на входные порты электропитания переменного тока.

## Продолжение таблицы 1

11.	Кондуктивные помехи в полосе частот от 0 до 150 кГц	<p><b>Испытательное напряжение при воздействии помех постоянного тока и на частоте 50 Гц:</b> 1; 3; 10; 30 В непрерывно и 3; 10; 30; 100 В кратковременно в зависимости от степени жесткости испытаний.</p> <p><b>Испытательное напряжение в полосе частот от 15 Гц до 150 кГц:</b> 1-0,1; 3-0,3; 10-1; 30-3 В непрерывно в зависимости от степени жесткости испытаний.</p> <p>Результат испытаний оценивается на основании критериев качества функционирования (А, В, С, D).</p>	ГОСТ Р 51317.4.16-2000 [37] IEC 61000-4-16:1998+A1:2001+A2:2009 [38]	Кондуктивные помехи в полосе частот от 0 до 150 кГц, представляющие собой общие несимметричные напряжения на входные порты электропитания переменного и постоянного тока, сигнальные порты, порты управления и ввода-вывода.
12.	Изменения частоты питающего напряжения	<p><b>Относительное изменение частоты:</b> <math>\pm 3</math>; +4, -6; <math>\pm 15</math> % в зависимости от степени жесткости испытаний.</p> <p><b>Переходный интервал времени:</b> 10; 1 в зависимости от степени жесткости испытаний.</p> <p>Воздействие на входные порты электропитания переменного тока.</p> <p>Результат испытаний оценивается на основании критериев качества функционирования (А, В, С, D).</p>	ГОСТ Р 51317.4.28-2000 [39] IEC 61000-4-28:1999+A1:2001+A2:2009 [40]	Помехи, вызываемые изменениями частоты питающего напряжения.
13.	Токи коротковременных синусоидальных помех частотой 50 Гц в защитного и сигнального заземления	<p><b>Амплитуда посылок тока на короткозамкнутом выходе испытательного генератора:</b> 50; 100; 150; 200 А в зависимости от степени жесткости испытаний и группы исполнения ТС.</p> <p>Испытательные посылки тока подаются на зажимы цепей заземления ТС.</p>	ГОСТ Р 50746-2000 [12]	Помехи, вызываемые в результате воздействия токов кратковременных синусоидальных помех частотой 50 Гц в цепях защитного и сигнального заземления.
14.	Токи микросекундных импульсных помех защитного и сигнального заземления	<p><b>Амплитуда импульса тока на короткозамкнутом выходе испытательного генератора:</b> 50; 100; 150; 200 А в зависимости от степени жесткости испытаний и группы исполнения ТС.</p> <p>Для каждой степени жесткости испытаний подаются на ТС по десять импульсов тока положительной и отрицательной полярности.</p>	ГОСТ Р 50746-2000 [12]	Помехи, вызываемые в результате воздействия токов микросекундных импульсных помех в цепях защитного и сигнального заземления.

15. Искажения синусоидальности напряжения электропитания	<p><b>Уровни испытательных сигналов для гармоник:</b> 4,5-1,5; 9-1,5; 12-1,5 % в зависимости от группы исполнения ТС и порядка гармонической составляющей.</p> <p><b>Уровни испытательных сигналов для интергармоник:</b> 2,5; 5; 3,5; 2; 1,5 и 4; 9; 5; 3; 2 % в зависимости от группы исполнения ТС и полосы частот (16-100, 100-500, 500-750, 750-1000, 1000-2000 Гц).</p> <p>Кобщ: 5, 8, 15, 25 % в зависимости от степени жесткости испытаний.</p>	ГОСТ Р 50746-2000 [12] ГОСТ Р 51317.4.13-2006 [41] ОСТ 36417.4.1-2001 IEC 61000-4-13:2002+A1:2009 [42]	Помехи, вызываемые в результате воздействия гармоник и интергармоник питающего напряжения, а также сигналов, передаваемых по электрическим сетям. Рекомендуются для ТС с номинальным потребляемым током не более 16 А (в одной фазе).
16. Затухающее колебательное магнитное поле	<p><b>Напряженность затухающего колебательного магнитного поля:</b> 10; 30; 100 А/м в зависимости от степени жесткости испытаний.</p> <p>Воздействие на все ТС.</p>	ГОСТ Р 50652-94 [43] IEC 61000-4-10:1993+A1:2000 [44]	Помехи, вызываемые в результате воздействия затухающего колебательного магнитного поля.

**Степень жесткости испытаний** – условный номер (например, 1, 2, 3 и т.д.), отражающий интенсивность воздействующей помехи с параметрами, регламентированными в нормативной документации. По требованию заказчика может использоваться специальная степень жесткости испытаний X, называемая также открытой степенью жесткости.

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

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

Выбор степени жесткости испытаний ТС на устойчивость к МППЧ должен осуществляться с учетом следующих положений [10 (Приложение 2, обязательное), 12 (Приложение А, обязательное), 26].

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

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

– отсутствием таких источников МППЧ, как силовые трансфор-

маторы, имеющие большие потоки рассеяния;

- условиями эксплуатации ТС, исключая воздействие МППЧ, создаваемого высоковольтными шинопроводами.

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

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

- близким расположением от мест установки ТС шин и кабелей, обладающих повышенными потоками рассеяния, а также заземляющих проводов систем безопасности;

- удалением цепей низкого напряжения и высоковольтных проводов на расстояние нескольких сотен метров от рассматриваемых ТС.

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

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

- близким расположением от мест установки ТС коротких участков силовых цепей (проводов высокого напряжения, силовых кабелей и т.д.), ТС со значительными потоками рассеяния и заземляющих проводов систем безопасности;

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

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

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

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

- близким расположением ТС, являющихся мощными источниками МППЧ.

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

**Степень жесткости X.** Такая степень жесткости соответствует особым условиям, которые необходимо анализировать. Ее установ-

ливают по согласованию между производителем и потребителем.

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

Степени жесткости испытаний на устойчивость к воздействию МППЧ приведены в табл. 2.

Таблица 2 – Степени жесткости испытаний на устойчивость к воздействию МППЧ [10, 26, 27].

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

В соответствии с данными табл. 2, а также приложения 2 (обязательного) ДСТУ 2465-94 [10] (см. выше), электрооборудование бытовых зон, промышленных установок и большинства промышленных предприятий относится к степеням жесткости 2 и 3, что определяет допустимые уровни напряженности и индукции длительно действующего внешнего магнитного поля промышленной частоты, создаваемого электрическими аппаратами и другими ТС.

Виды МППЧ (постоянное, кратковременное) и степени жесткости испытаний ТС на устойчивость к магнитному полю выбирают в соответствии с требованиями стандартов [10, 26, 27] с учетом условий эксплуатации ТС конкретного типа.

Сведения о напряженности МППЧ для секции типовой подстанции напряжением 6 кВ приведены в табл. 3.

Таблица 3 – Результаты прямых измерений поля согласно [10, 26, 27].

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

В [6] представлены соответствующие испытательные уровни воздействующих ЭМП и критерии качества функционирования, установленные в общих стандартах ЭМС (табл. 4) [45, 46].

Таблица 4 – Типичные уровни ЭМП. Испытательные уровни при испытаниях на помехоустойчивость согласно [6, 45, 46].

Вид помехи	Наименование параметра, единица измерения	Жилые, коммерческие зоны и производственные зоны с малым энергопотреблением			Промышленные зоны		
		Типичный уровень ЭМП	Испытательный уровень по [45]	Критерий качества функционирования	Типичный уровень ЭМП	Испытательный уровень по [46]	Критерий качества функционирования
Магнитное поле промышленной частоты по [26]	Напряженность магнитного поля, А/м	0,5-5	3	А	10-30	30	А

Требования стандарта [45] распространяются на ТС, подключаемые непосредственно к распределительным электрическим сетям низкого напряжения, и ТС, питание которых осуществляется от специально предназначенных для этой цели источников постоянного тока, подключаемых к распределительным электрическим сетям. А также на ТС, питание которых осуществляется от батарей или низковольтных электрических сетей, не являющихся распределительными электрическими сетями низкого напряжения, если указанные ТС предназначены для применения в жилых, коммерческих зонах и производственных зонах с малым энергопотреблением.

*Примеры мест размещения ТС в жилых, коммерческих зонах и производственных зонах с малым энергопотреблением:*

- объекты жилищного хозяйства, например, дома, квартиры и т.д.;
- предприятия торговли, например магазины, супермаркеты и т.д.;
- учреждения, например офисы, банки и т.д.;

- объекты культурно-массовых развлечений, например кинотеатры, рестораны, танцевальные залы и т.д.;
- объекты, расположенные на открытом воздухе, например автозаправочные станции, автостоянки, центры развлечений и спорта и т.д.;
- производственные и хозяйственные объекты, например мастерские, лаборатории, центры технического обслуживания и т.д.

Места размещения ТС как в помещениях, так и вне их, при подключении ТС к распределительным электрическим сетям низкого напряжения, рассматривают как относящиеся к жилым, коммерческим зонам и производственным зонам с малым энергопотреблением.

Требования устойчивости к помехам в [45] установлены так, чтобы обеспечить приемлемый уровень помехоустойчивости ТС, применяемых в жилых, коммерческих зонах и производственных зонах с малым энергопотреблением.

Требования стандарта [45] представляют собой **основные требования по ЭМС**, относящиеся к устойчивости к помехам.

*Примечание:* В некоторых случаях уровни помех при эксплуатации ТС могут превышать уровни испытательных воздействий при испытаниях на помехоустойчивость, установленные в [45]. **В этих случаях должны быть применены специальные меры по снижению помех.**

Требования стандарта [46] распространяются на ТС, применяемые в промышленных зонах, как в помещениях, так и вне их, а также на ТС питание, которых осуществляется от батарей, функционирующие в указанных ниже местах эксплуатации.

К применяемым в промышленных зонах относят ТС [46], предназначенные для подключения к электрическим сетям, получающим питание от силовых трансформаторов высокого или среднего напряжения, предназначенных для электроснабжения установок, питающих электрической энергией промышленное оборудование и оборудование аналогичного назначения, функционирующие в местах эксплуатации, характеризующиеся хотя бы одним из следующих условий:

- наличием в месте эксплуатации или в непосредственной близости промышленных, научных и медицинских высокочастотных устройств класса А по ГОСТ Р 51318.11;
- частыми переключениями значительных индуктивных и емкостных нагрузок в электрических сетях;
- значительными токами, потребляемыми ТС, и связанными с ними уровнями и магнитных полей.

Требования устойчивости к помехам установлены в [46] так, чтобы обеспечить приемлемый уровень помехоустойчивости ТС, приме-

няемых в промышленных зонах.

Требования стандарта [46] представляют собой **основные требования по ЭМС**, относящиеся к устойчивости к помехам.

*Примечание:* В некоторых случаях уровни помех при эксплуатации ТС могут превышать уровни испытательных воздействий при испытаниях на помехоустойчивость, установленные в [46]. **В этих случаях должны быть применены специальные меры по снижению помех.**

Для ТС, применяемых на электростанциях и электрических подстанциях, требования помехоустойчивости к воздействию МППЧ приведены в табл. 5.

Требования помехоустойчивости, установленные в табл. 5, не применяют для ТС, установленных в условиях "защищенной" ЭМО, не имеющих непосредственного соединения с ТС, размещенными вне "защищенной" ЭМО.

Таблица 5 – Требования помехоустойчивости к воздействию МППЧ для ТС, применяемых на электростанциях и электрических подстанциях [9].

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

Типичными местами размещения ТС [9] являются электростанции и электрические подстанции среднего и высокого (не менее 36,5 кВ) напряжения с воздушной и газовой изоляцией. Помимо электростанций и подстанций поставщики электрической энергии могут устанавливать ТС в низковольтных распределительных пунктах, расположенных в производственных, коммерческих или жилых зонах, в центрах управления, на ретрансляторах радиосвязи. Требования помехоустойчивости ТС, предназначенных для применения в этих местах размещения, установлены в [45, 46].

В качестве примера ТС, устанавливаемых в низковольтных распределительных пунктах, можно привести автоматические выключатели

(АВ) серии А3700 [47-50]. Электрооборудование производственных, коммерческих и жилых зон, в которых эксплуатируются рассматриваемые АВ, относится к степеням жесткости 2 и 3 (см. выше). Анализ, выполненный в данной статье, показывает, что типичный уровень ЭМП для указанных зон составляет 3-30 А/м. Если уровень помех при эксплуатации АВ превышает данную величину помех на объекте, то необходимо применять специальные меры по снижению помех (конструктивные методы компенсации внешнего магнитного поля АВ).

*Примечание:* В некоторых случаях для создания "защищенной" ЭМО и снижения требований устойчивости к помехам поставщика электрической энергии применяют **специальные меры помехоподавления** (например, специальную прокладку кабелей при монтаже оборудования, экранирование помещений и т.д.).

В [51, 52] приведены общие технические требования, распространяемые на микропроцессорные устройства и системы релейной защиты и автоматики, применяемые на электростанциях, подстанциях и в электрических сетях 6-1150 кВ. Испытания на устойчивость к МППЧ в соответствии с требованиями стандарта [26] приведены в табл. 6. Аппаратура должна подвергаться испытаниям в тех конструкциях (экраны, оболочки), в которых будет эксплуатироваться.

Таблица 6 – Требования помехоустойчивости к воздействию МППЧ для микропроцессорных устройств и систем релейной защиты и автоматики, применяемых на электростанциях подстанциях и в электрических сетях 6-1150 кВ [51, 52].

Вид помехи	Степень жесткости испытаний	Нормированный испытательный уровень (напряженность МППЧ)	Критерий качества функционирования
Магнитное поле промышленной частоты по [26]	4	30 А/м (непрерывное магнитное поле)	А

В [11] приведены рекомендации для ТС всех назначений, использующих электромагнитную энергию, предназначенных для применения в условиях ЭМО, указанных в стандарте и рассмотренных выше. Характеристики ЭМО внутри транспортных средств (автотранспорт, корабли, самолеты) в [11] не приводятся, но их влияние на окружающую ЭМО учитывается.

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

приводить к выбору более высоких уровней помехоустойчивости.

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

Магнитные поля промышленной частоты 50 Гц создают различные источники:

- близлежащие линии электропитания, в особенности воздушные линии;
- трансформаторы и другое оборудование систем электроснабжения;
- электрические приборы промышленного и бытового назначения.

В табл. 7 приведены уровни ЭМП в части МППЧ без учета аварийных условий в системах электроснабжения.

Таблица 7 – Уровни ЭМП в части МППЧ 50 Гц без учета аварийных условий в системах электроснабжения [11].

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

В [12] приведены требования по обеспечению ЭМС для конструктивно завершенных ТС, поставляемых на ядерно- и радиационно-опасные объекты народнохозяйственного назначения, в том числе атомные станции. Стандарт [12] не распространяется на токопроводы, плавкие предохранители, устройства подсоединения, аккумуляторы и батареи. Требования стандарта [12] являются **обязательными**.

**Устойчивость к МППЧ.** Степени жесткости испытаний ТС АС на помехоустойчивость при длительном и кратковременном воздействии на порт корпуса МППЧ по [26] устанавливаются в соответствии с табл. 8.

Таблица 8 – Требования помехоустойчивости к воздействию МППЧ для ТС АС [12, 26].

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

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

Для ТС, применяемых на борту судна, требования помехоустойчивости к воздействию МППЧ приведены в табл. 9 [53].

Таблица 9 – Требования помехоустойчивости к воздействию МППЧ для ТС, применяемых на борту судна [53].

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

Допускается установка оборудования:  
 класса 1 – на расстоянии 2 м и более от мощного источника поля (шинопровод, групповой трансформатор);  
 класса 2 – на расстоянии 1 м и более от мощного источника поля;  
 класса 3 – без ограничения расстояния от любого источника поля.  
 В [54] для оборудования класса 1 напряженность МППЧ составляет 10 А/м.

#### **Выводы:**

1. Проанализированы Государственные стандарты Украины ДСТУ, а также международные нормативные документы ИЕС и Госу-

дарственные стандарты Российской Федерации ГОСТ по вопросам электромагнитной совместимости технических средств в условиях энергетических и промышленных объектов. В этих документах определяются вид помехи, ее характеристики, уровни в зависимости от класса жесткости испытаний на помехоустойчивость технических средств, а также описываются методы проведения испытаний и даются критерии, по которым интерпретируются результаты этих испытаний.

2. Рассмотрены основные термины, определения и нормированные значения внешнего магнитного поля, создаваемого техническими средствами. Приведена характеристика электромагнитной обстановки на энергетических и промышленных объектах. Установлено, что любые ТС, установленные на этих объектах, вносят свою долю в ухудшение электромагнитной обстановки на объекте.

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

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

5. В качестве примера технического средства, создающего магнитное поле промышленной частоты, рассмотрены автоматические выключатели серии АЗ700, устанавливаемые в низковольтных распределительных пунктах производственных, коммерческих и жилых зон. Данное электрооборудование относится к степеням жесткости 2 и 3. Анализ, выполненный в данной статье, показывает, что типичный уровень электромагнитных помех для указанных зон составляет 3-30 А/м (см. выше). В случае превышения данной величины помех необходимо применять специальные конструктивные методы компенсации внешнего магнитного поля автоматических выключателей.

**Список литературы:** 1. International Electrotechnical Vocabulary. Chapter 161: Electromagnetic compatibility. First edition: IEC 60050-161: 1990. – [Act. 1990-08] – Geneva, Switzerland: International Electrotechnical Commission, 1990. – 73 p. – (International standard). 2. Словник електротехнічних термінів. Глава 161. Електромагнітна сумісність (IEC 60050-161:1990, IDT): ДСТУ IEC 60050-161:2003. – [Введ. 2005-01-07] – К.: Держспоживстандарт України, 2011. – 64 с. – (Національний стандарт України). 3. Совместимость технических средств электромагнитная. Термины и определения: ГОСТ 30372-95 / ГОСТ Р 50397-92. – [Введ. 1997-01-01] – Минск: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1995. – 12 с. – (Межгосударственный стандарт). 4. Совместимость технических средств электромагнитная. Термины и определения: ГОСТ 50397-92. – [Введ. 1993-01-07] – М.: Издательство стандартов, 1993. – 16 с. – (Государственный стандарт российской федерации). 5. Electromagnetic compatibility. Part 1: General – Section 1: Application and interpretation of fundamental definitions and terms. First edition: IEC 61000-1-1: 1992. – [Act. 1992-04] – Geneva, Switzerland: International Electrotechnical Commission, 1992. – 60 p. – (Technical report). 6. Совместимость технических средств электромагнитная. Методология обеспечения функциональной безопасности технических средств в отношении электромагнитных помех (МЭК 61000-1-2:2001): ГОСТ Р 51317.1.2-2007. – [Введ. 2008-07-01] – М.: Стандартинформ, 2008. – 47 с. – (Национальный стандарт российской федерации). 7. Electromagnetic compatibility. Part 1-2: General – Methodology for the achievement of functional safety of electrical and electronic systems including equipment with regard to electromagnetic phenomena Edition 2.0: IEC 61000-1-2: 2008. – [Act. 2008-11] – Geneva, Switzerland: International Electrotechnical Commission, 2008. – 84 p. – (Technical specification). 8. Совместимость технических средств измерения, контроля и управления промышленными процессами электромагнитная. Устойчивость к электромагнитным помехам. Общие положения: ГОСТ 29073-91. – [Введ. 1992-07-01] – М.: ИПК издательство стандартов, 2004. – 6 с. – (Межгосударственный стандарт). 9. Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к электромагнитным помехам технических средств, применяемых на электростанциях и подстанциях. Требования и методы испытаний (МЭК 61000-6-5:2001): ГОСТ Р 51317.6.5-2006. – [Введ. 2007-07-01] – М.: Стандартинформ, 2007. – 26 с. – (Национальный стандарт российской федерации). 10. Сумісність технічних засобів електромагнітна. Стійкість до магнітних полів частоти мережі. Технічні вимоги і методи випробувань: ДСТУ 2465-94. – [Введ. 1995-01-01] – К.: Держстандарт України, 1994. – 29 с. – (Державний стандарт України). 11. Совместимость технических средств электромагнитная. Электромагнитная обстановка. Классификация электромагнитных помех в местах размещения технических средств (МЭК 61000-2-5:1995): ГОСТ Р 51317.2.5-2000. – [Введ. 2002-01-01] – М.: Госстандарт России, 2000. – 40 с. – (Государственный стандарт российской федерации). 12. Совместимость технических средств электромагнитная. Технические средства для атомных станций. Требования и методы испытаний: ГОСТ Р 50746-2000. – [Введ. 2002-07-01] – М.: Госстандарт России, 2000. – 30 с. – (Государственный стандарт российской федерации). 13. Електромагнітна сумісність. Частина 4-5. Методики випробування та вимірювання. Випробування на несприйнятливість до сплесків напруги та

струму (IEC 61000-4-5:2005, IDT): ДСТУ IEC 61000-4-5:2008. – [Введ. 2010-01-01] – К.: Держспоживстандарт України, 2011. – 38 с. – (Національний стандарт України). **14.** Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к микросекундным импульсным помехам большой энергии. Требования и методы испытаний (МЭК 61000-4-5:1995): ГОСТ Р 51317.4.5-99. – [Введ. 2001-01-01] – М.: Госстандарт России, 1999. – 26 с. – (Государственный стандарт российской федерации). **15.** Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-5: Testing and measurement techniques – Surge immunity test. Edition 2.0: IEC 61000-4-5: 2005. – [Act. 2005-11] – Geneva, Switzerland: International Electrotechnical Commission, 2005. – 95 p. – (International standard). **16.** Електромагнітна сумісність. Частина 4-11. Методики випробування та вимірювання. Випробування на несприйнятливості до провалів напруги, короткочасних переривань та змінень напруги (IEC 61000-4-11:2004, IDT): ДСТУ IEC 61000-4-11:2007. – [Чинний від 2009-01-01] – К.: Держспоживстандарт України, 2008. – 18 с. – (Національний стандарт України). **17.** Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к провалам, кратковременным прерываниям и изменениям напряжения электропитания. Требования и методы испытаний (МЭК 61000-4-11:2004): ГОСТ Р 51317.4.11-2007. – [Введ. 2008-07-01] – М.: Стандартинформ, 2008. – 20 с. – (Национальный стандарт российской федерации). **18.** Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-11: Testing and measurement techniques – Voltage dips, short interruptions and voltage variations immunity tests. Edition 2.0: IEC 61000-4-11: 2004. – [Act. 2004-03] – Geneva, Switzerland: International Electrotechnical Commission, 2004. – 51 p. – (International standard). **19.** Електромагнітна сумісність. Частина 4-4. Методики випробування та вимірювання. Випробування на несприйнятливості до швидких перехідних процесів/пакетів імпульсів (IEC 61000-4-4:2004, IDT): ДСТУ IEC 61000-4-4:2008. – [Чинний від 2008-09-01] – К.: Держспоживстандарт України, 2008. – 24 с. – (Національний стандарт України). **20.** Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к наносекундным импульсным помехам. Требования и методы испытаний (МЭК 61000-4-4:2004): ГОСТ Р 51317.4.4-2007. – [Введ. 2008-07-01] – М.: Стандартинформ, 2008. – 22 с. – (Национальный стандарт российской федерации). **21.** Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-4: Testing and measurement techniques – Electrical fast transient/burst immunity test. Edition 3.0: IEC 61000-4-4: 2012. – [Act. 2012-04] – Geneva, Switzerland: International Electrotechnical Commission, 2012. – 87 p. – (International standard). **22.** Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к электростатическим разрядам. Требования и методы испытаний (МЭК 61000-4-2:2008): ГОСТ Р 51317.4.2-2010. – [Введ. 2011-01-01] – М.: Стандартинформ, 2011. – 44 с. – (Национальный стандарт российской федерации). **23.** Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-2: Testing and measurement techniques – Electrostatic discharge immunity test. Edition 2.0: IEC 61000-4-4: 2008. – [Act. 2008-12] – Geneva, Switzerland: International Electrotechnical Commission, 2008. – 129 p. – (International standard). **24.** Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к радиочастотному электромагнитному полю. Требования и методы испытаний (МЭК 61000-4-3:2006): ГОСТ Р 51317.4.3-2006. – [Введ. 2007-07-01] – М.: Стандартинформ, 2007. – 38 с. – (Национальный стандарт российской федерации). **25.** Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-3:

Testing and measurement techniques – Radiated, radio-frequency, electromagnetic field immunity test. Edition 3.2: IEC 61000-4-3: 2006+A1:2007+A2:2010. – [Act. 2010-04] – Geneva, Switzerland: International Electrotechnical Commission, 2010. – 150 p. – (International standard). **26.** Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к магнитному полю промышленной частоты. Требования и методы испытаний (МЭК 61000-4-8:1993): ГОСТ Р 50648-94. – [Введ. 1995-01-01] – М.: Издательство стандартов, 1994. – 19 с. – (Государственный стандарт российской федерации). **27.** Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-8: Testing and measurement techniques – Power frequency magnetic field immunity test. Edition 2.0: IEC 61000-4-8: 2009. – [Act. 2009-09] – Geneva, Switzerland: International Electrotechnical Commission, 2009. – 66 p. – (International standard). **28.** Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к импульсному магнитному полю. Технические требования и методы испытаний (МЭК 61000-4-9:1993): ГОСТ Р 50649-94. – [Введ. 1995-01-01] – М.: Госстандарт России, 1994. – 20 с. – (Государственный стандарт российской федерации). **29.** Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к импульсному магнитному полю. Технические требования и методы испытаний (МЭК 61000-4-9:1993): ГОСТ 30336-95 / ГОСТ Р 50649-94. – [Введ. 1996-07-01] – Минск: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1995. – 12 с. – (Межгосударственный стандарт). **30.** Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-9: Testing and measurement techniques. Pulse magnetic field immunity test. Edition 1.1: IEC 61000-4-9: 1993+A1:2000. – [Act. 2001-03] – Geneva, Switzerland: International Electrotechnical Commission, 2000. – 59 p. – (International standard). **31.** Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к кондуктивным помехам, наведенным радиочастотными электромагнитными полями. Требования и методы испытаний (МЭК 61000-4-6:1999): ГОСТ Р 51317.4.6-99. – [Введ. 2002-01-01] – М.: Госстандарт России, 1999. – 35 с. – (Государственный стандарт российской федерации). **32.** Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-6: Testing and measurement techniques – Immunity to conducted disturbances, induced by radio-frequency fields. Edition 3.0: IEC 61000-4-6: 2008. – [Act. 2008-10] – Geneva, Switzerland: International Electrotechnical Commission, 2008. – 115 p. – (International standard). **33.** Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к колебательным затухающим помехам. Требования и методы испытаний (МЭК 61000-4-12:1995): ГОСТ Р 51317.4.12-99. – [Введ. 2001-01-01] – М.: Госстандарт России, 1999. – 32 с. – (Государственный стандарт российской федерации). **34.** Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-12: Testing and measurement techniques – Ring wave immunity test. Second edition: IEC 61000-4-6: 2006. – [Act. 2006-09] – Geneva, Switzerland: International Electrotechnical Commission, 2006. – 63 p. – (International standard). **35.** Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к колебаниям электропитания. Требования и методы испытаний (МЭК 61000-4-14:1999): ГОСТ Р 51317.4.14-2000. – [Введ. 2002-01-01] – М.: Госстандарт России, 2000. – 12 с. – (Государственный стандарт российской федерации). **36.** Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-14: Testing and measurement techniques – Voltage fluctuation immunity test for equipment with input current not exceeding 16 A per phase. Edition 1.2: IEC 61000-4-14: 1999+A1:2001+A2:2009. – [Act. 2009-08] –

Geneva, Switzerland: International Electrotechnical Commission, 2009. – 33 p. – (International standard). **37.** Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к кондуктивным помехам в полосе частот от 0 до 150 кГц. Требования и методы испытаний (МЭК 61000-4-16:1998): ГОСТ Р 51317.4.16-2000. – [Введ. 2002-01-01] – М.: Госстандарт России, 2000. – 20 с. – (Государственный стандарт российской федерации). **38.** Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-16: Testing and measurement techniques – Test for immunity to conducted, common mode disturbances in the frequency range 0 Hz to 150 kHz. Edition 1.2: IEC 61000-4-16: 1998+A1:2001+A2: 2009. – [Act. 2011-05] – Geneva, Switzerland: International Electrotechnical Commission, 2009. – 50 p. – (International standard). **39.** Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к изменениям частоты питающего напряжения. Требования и методы испытаний (МЭК 61000-4-28:1999): ГОСТ Р 51317.4.28-2000. – [Введ. 2002-01-01] – М.: Госстандарт России, 2000. – 12 с. – (Государственный стандарт российской федерации). **40.** Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-28: Testing and measurement techniques – Variation of power frequency, immunity test for equipment with input current not exceeding 16 A per phase. Edition 1.2: IEC 61000-4-28: 1999+A1:2001+A2:2009. – [Act. 2009-04] – Geneva, Switzerland: International Electrotechnical Commission, 2009. – 29 p. – (International standard). **41.** Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к искажениям синусоидальности напряжения электропитания, включая передачу сигналов по электрическим сетям. Требования и методы испытаний (МЭК 61000-4-13:2002): ГОСТ Р 51317.4.13-2006. – [Введ. 2007-07-01] – М.: Стандартинформ, 2007. – 27 с. – (Национальный стандарт российской федерации). **42.** Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-13: Testing and measurement techniques – Harmonics and interharmonics including mains signalling at a.c. power port, low frequency immunity tests. Edition 1.1: IEC 61000-4-13: 2002+A1:2009. – [Act. 2009-07] – Geneva, Switzerland: International Electrotechnical Commission, 2009. – 60 p. – (International standard). **43.** Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к затухающему колебательному магнитному полю. Технические требования и методы испытаний (МЭК 61000-4-10:1993): ГОСТ Р 50652-94. – [Введ. 1995-01-01] – М.: Госстандарт России, 1994. – 15 с. – (Государственный стандарт российской федерации). **44.** Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-10: Testing and measurement techniques. Damped oscillatory magnetic field immunity test. Edition 1.1: IEC 61000-4-10: 1993+A1:2000. – [Act. 2001-03] – Geneva, Switzerland: International Electrotechnical Commission, 2000. – 59 p. – (International standard). **45.** Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к электромагнитным помехам технических средств, применяемых в жилых, коммерческих зонах и производственных зонах с малым энергопотреблением. Требования и методы испытаний (МЭК 61000-6-1:2005): ГОСТ Р 51317.6.1-2006. – [Введ. 2007-07-01] – М.: Стандартинформ, 2007. – 15 с. – (Национальный стандарт российской федерации). **46.** Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к электромагнитным помехам технических средств, применяемых в промышленных зонах. Требования и методы испытаний (МЭК 61000-6-2:2005): ГОСТ Р 51317.6.2-2007. – [Введ. 2008-07-01] – М.: Стандартинформ, 2008. – 15 с. – (Национальный стандарт российской федерации). **47.** *Намитов К. К.* Аппара-

ты для защиты полупроводниковых устройств / *Намитоков К. К., Ильина Н. А., Шкловский И. Г.* – М: Энергоатомиздат, 1988. – 280 с. **48.** Автоматические выключатели общего применения до 630 А: справочник / [под редакцией *Сургучева И. В.*]. – М.: Информэлектро, 1996. – 184 с. **49.** *Горобец А. С.* Автоматические выключатели серии А3700 / *А. С. Горобец, И. Х. Евзеров.* – М: Энергоатомиздат, 1984. – 72 с. – (Библиотека электромонтера; вып. 569). **50.** Автоматические выключатели: [номенклатурный каталог 1-2008]. – [Дивногорск: ОАО "Дивногорский завод низковольтных аппаратов", 2008]. – 57 с. **51.** Общие технические требования к микропроцессорным устройствам защиты и автоматики энергосистем: РД 34.35.310-97. – [Введ. 1997-02-03] – М.: Департамент науки и техники РАО "ЕЭС России", 1997. – 19 с. **52.** Технические требования к подсистеме технологических защит, выполненных на базе микропроцессорной техники: РД 153-34.1-35.137-00. – [Введ. 2000-01-10] – М.: Департамент науки и техники РАО "ЕЭС России", 2000. – 64 с. **53.** Правила классификации и постройки морских судов: НД № 2-020101-072. – Офиц. изд. – Санкт-Петербург: Российский морской регистр судоходства, 2013. – II, 713 с. – (Нормативный документ Российского морского регистра судоходства). **54.** *Воршевский А.А.* Электромагнитная совместимость судовых технических средств: учебник / *А.А. Воршевский, В.Е. Гальперин.* – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный морской технический университет, 2006. – 317 с.



**Король Елена Геннадьевна**, старший преподаватель кафедры "Электрические аппараты" Национального технического университета "ХПИ". Защитила диплом магистра в 2004 г. по специальности электрические машины и аппараты. Научные интересы связаны с проблемой электромагнитной совместимости в части магнитных полей.



**Пантелят Михаил Гарриевич**, старший преподаватель кафедры "Электрические аппараты" Национального технического университета "ХПИ". В 1985 г. закончил Харьковский политехнический институт по специальности "Инженерная электрофизика". Кандидат физико-математических наук (1991 г., специальность "Механика деформируемого твердого тела"). Основные научные интересы: компьютерное моделирование электромагнитных, тепловых и механических процессов в электромагнитных устройствах различного назначения.

*Поступила в редколлегию 11.02.2013*

УДК 621.316.925

**Требования по электромагнитной совместимости технических средств на объектах электроэнергетики и промышленности / Король Е.Г., Пантелят М.Г.** // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Проблеми удосконалення електричних машин і апаратів. Теорія і практика. – Х.: НТУ "ХПІ", 2013. – № 15 (988). – С. 35-60. Бібліогр.: 54 навз.

Виконано аналіз нормативних документів (Міжнародні стандарти ІЕС, Державні стандарти України ДСТУ і Російської Федерації ГОСТ) з питань електромагнітної сумісності технічних засобів в умовах енергетичних і проми-

слових об'єктів. Приведено вимоги завадостійкості до впливу магнітного поля промислової частоти.

**Ключові слова:** електромагнітна сумісність, стандарти, електромагнітна обстановка, електромагнітний вплив, магнітне поле промислової частоти, випробувальний рівень (рівень жорсткості випромінювання).

Analysis of the normative documents (the International standards IEC, State standards of Ukraine DSTU and Russian Federation GOST) on problems of electromagnetic compatibility of the technical facilities on energetic and industrial objects is executed. The requirements of the noise-immunity to influence of the magnetic field of the power frequency are presented.

**Keywords:** electromagnetic compatibility, standards, electromagnetic environment, electromagnetic disturbance, power frequency magnetic field, test levels (radiation hardness level).