


# Электромагнитная обстановка на объектах электроэнергетики


Лекция 1-2  
Тихонов Д.В.  
Кафедра ЭСС



# КЛАССИФИКАЦИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ОБСТАНОВКИ И СТЕПЕНИ ЖЕСТКОСТИ ИСПЫТАНИЙ ОБЪЕКТОВ НА ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТЬ

## ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Чтобы исключить или уменьшить опасность воздействия электромагнитных возмущений на устройства автоматических и автоматизированных систем технологического управления электроэнергетическими объектами, производят испытания на устойчивость к воздействию помех различного вида и устанавливают уровни помехоустойчивости этих устройств.



Выбор устройств при проектировании автоматических и автоматизированных систем технологического управления электротехническими объектами осуществляют с учетом электромагнитной обстановки в местах установки устройств.

При испытаниях технических средств (ТС) на помехоустойчивость применяют критерии качества функционирования, указанные в таблице.

Критерии качества Функционирования ТС при испытаниях	Качество функционирования ТС при испытаниях
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 вмешательства оператора
Д	Нарушение функционирования или ухудшение параметров, требующее ремонта из-за выхода из строя оборудования или компонентов

Уровень электромагнитных помех в условиях эксплуатации и уровень восприимчивости ТС в общем случае являются случайными величинами с распределениями интегральной вероятности, условно показанных на рис.

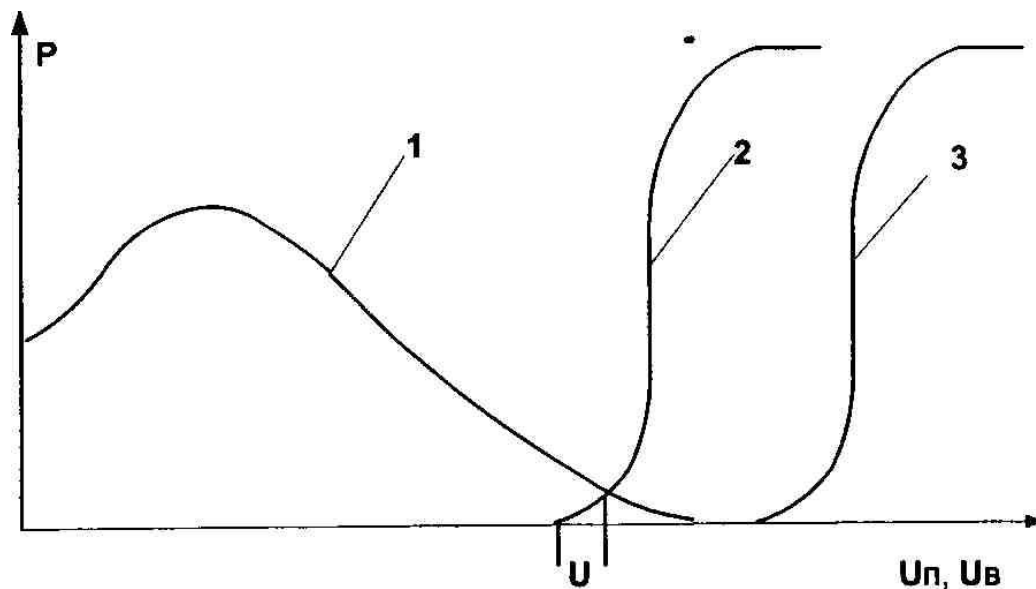
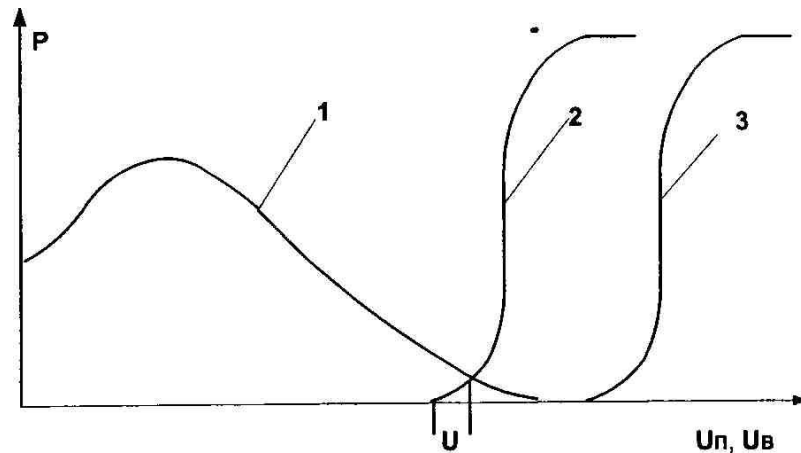


Рис. Соотношения между вероятностью помех (кривая 1) и восприимчивостью к помехам (кривые 2 и 3).  $P$  - вероятность,  $U_{п}$  - амплитуда помехи,  $U_{в}$  - уровень восприимчивости к помехам

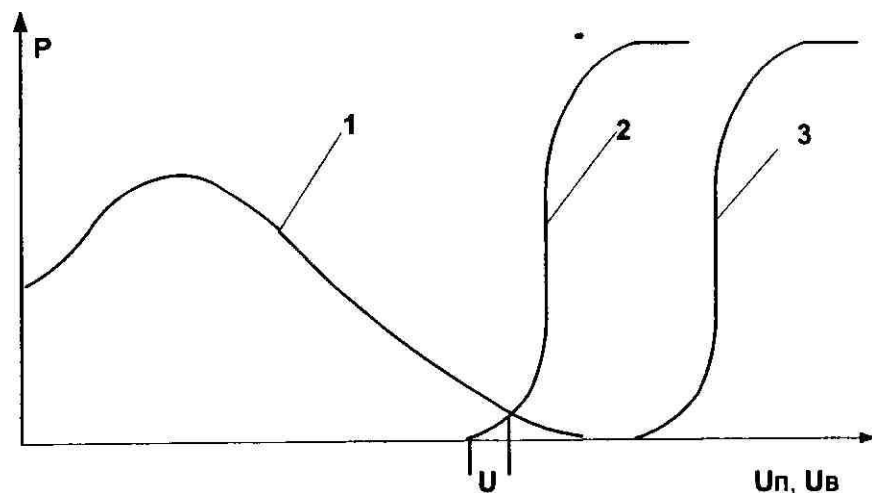
Вероятность  $P$  амплитуд помех (кривая 1) подчиняется некоторому закону. При большом числе влияющих факторов закон распределения, как правило, является нормальным.




Восприимчивость ТС к помехам можно также характеризовать некоторыми вероятностными кривыми (например, кривые 2 и 3). В идеальном случае кривые 1 и 3 не должны иметь общего заметного диапазона значений  $U$ , где уровень восприимчивости ниже уровня помех.

Такая ситуация означает абсолютную ЭМС рассматриваемого устройства.

По мере сближения кривых вероятности амплитуд помех (кривая 1) и помеховосприимчивость (например, кривая 2) с достижением общего диапазона значений  $U$  ЭМС становится все хуже.






В соответствии со сказанным устанавливаются  
нормированные  
уровни испытательных величин, которые, с одной  
стороны должны быть не менее расчетного уровня  
допустимых помех и, с другой стороны,  
меньше уровня восприимчивости конкретного  
устройства.






## КЛАССИФИКАЦИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ОБСТАНОВКИ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ


Электромагнитная обстановка окружающей среды представляет собой многовариантную систему с широким разбросом параметров, количества, вида и интенсивности проявляющихся в данном месте электромагнитных воздействий.



Экономически нецелесообразно выполнять любое устройство или автоматическую и автоматизированную систему технологического управления электроэнергетическими объектами абсолютно стойкими к самым жестким электромагнитным воздействиям.



Поэтому требуется классификация электромагнитных условий окружающей среды по видам и уровням воздействия, в соответствии с которой можно сформулировать требования, предъявляемые к различным устройствам в отношении электромагнитной совместимости.



Электромагнитную обстановку принято характеризовать как легкую (класс 1), средней жесткости (класс 2), жесткую (класс 3) и крайне жесткую (класс 4).

В соответствии с электромагнитной обстановкой устанавливают степени жесткости испытаний технических средств на электромагнитную совместимость и группа их исполнения.

## ***Класс 1. Легкая электромагнитная обстановка:***

- осуществлены оптимизированные и скоординированные мероприятия по подавлению помех, защите от перенапряжений во всех цепях;
- электропитание отдельных элементов устройства резервировано, силовые и сигнальные цепи выполнены отдельно;
- выполнение заземлений, прокладка кабелей, экранирование произведено в соответствии с требованиями электромагнитной совместимости;
- климатические условия контролируются и приняты специальные меры по предотвращению разрядов статического электричества.

## ***Класс 2. Электромагнитная обстановка средней жесткости:***

- 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, материалы, способные электризоваться трением, отсутствуют;
- применение радиопереговорных устройств, передатчиков, запрещено.

Эта обстановка типична для диспетчерских помещений промышленных предприятий, электростанций и подстанций.

### ***Класс 3. Жесткая электромагнитная обстановка:***


- защита от перенапряжений в силовых цепях и цепях управления не предусмотрена;
- повторного зажигания дуги в коммутационных аппаратах не происходит;
- имеется контур заземления;
- провода электропитания, управления и коммутационных цепей недостаточно разделены;
- 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).

Эта обстановка характерна для промышленных цехов, электростанций, релейных помещений подстанций.

#### ***Класс 4. Крайне жесткая электромагнитная обстановка:***

- 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 проводов электропитания, управления и коммутационных цепей;
- управление и сигнализация осуществляются по общим кабелям;
- допустимы любая влажность воздуха и наличие электризуемых трением материалов;
- возможно неограниченное использование переносных переговорных устройств;




- 
- в непосредственной близости могут находиться мощные радиопередатчики;
  - вблизи могут находиться дуговые технологические устройства (электроды, сварочные машины и т.п.).


Типичными для этого класса являются территории вблизи промышленных предприятий, электростанций, ОРУ среднего и высокого напряжений, где не предусматриваются специальные меры по обеспечению электромагнитной совместимости.

## ВОСПРОИЗВЕДЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОМЕХ ПРИ ИСПЫТАНИЯХ

Устройства автоматических и автоматизированных систем технологического управления электротехническими объектами проходят испытания на устойчивость к воздействиям электромагнитных помех в соответствии с базовым нормативно-техническим документом в области электромагнитной совместимости: ГОСТ 29280-□92 «Испытания на помехоустойчивость. Общие положения». В этом документе рассматриваются практически все виды испытаний. По отдельным видам испытаний (в более подробном изложении) выпущены серии ГОСТ Р 51317.4 ...



В настоящее время в России вводятся в действие новые отечественные стандарты, включающие также методы испытаний (более 50 стандартов), гармонизированные с международными стандартами и европейскими нормами, регламентирующими объем современных требований к техническим средствам по обеспечению ЭМС.



Перечень основных видов электромагнитных помех со стандартизированными параметрами, применяемых при испытаниях ТС на помехоустойчивость, установленных международными стандартами ЭМС серии МЭК 61000-4, включает в настоящее время 17 электромагнитных воздействий.

Таблица. Перечень основных видов электромагнитных помех и стандартов по испытаниям на помехоустойчивость

Категории электромагнитных помех	ГОСТ	Наименование электромагнитной помехи, обозначение стандарта МЭК
Низкочастотные кондуктивные электромагнитные помехи	Р 51317.4.14-2000	Колебания напряжения электропитания, МЭК 610004-14-2000
	Р 51317.4.11-99	Динамические изменения напряжения электропитания, МЭК 61000-4-11-94
	Р 51317.4.28-2000	Изменение частоты питающего напряжения, МЭК 61000-4-28-2000
	В разработке	Несимметрия питающего напряжения, МЭК 61000-4-27

Категории электромагнитных помех	ГОСТ	Наименование электромагнитной помехи, обозначение стандарта МЭК
Низкочастотные кондуктивные электромагнитные помехи	Р 51317.4.17-2000	Пульсации напряжения электропитания постоянного тока, МЭК 61000-4-17-99
	В разработке	Низкочастотные гармоники и интергармоники, включая сигналы, передаваемые по силовым линиям, МЭК 61000-4-13
Низкочастотные Излучаемые электромагнитные помехи	Р 50648-94	Магнитное поле промышленной частоты, МЭК 610004-8-93


Продолжение таблицы

Высокочастотные кондуктивные Электромагнитные помехи	Р 51317.4.4-99	Наносекундные импульсные помехи, МЭК 61000-44-95
	Р 51317.4.5-99	Микросекундные импульсные помехи большой энергии, МЭК 61000-4-5-95
Высокочастотные кондуктивные электромагнитные помехи	Р 51317.4.6-99	Кондуктивные помехи, наведенные радиочастотными электромагнитными полями, МЭК 61000-4-6-96
	Р 51317.4.12-99	Колебательные затухающие помехи, МЭК 61000-4-12-96

Продолжение таблицы

Высокочастотные Излучаемые Электромагнитные помехи	Р 51317.4.3-99	Радиочастотное электромагнитное поле, МЭК 61000-4-3-95
	Р 50649-94	Импульсное магнитное поле, МЭК 61000-4-9-93
	Р 50652 - 94	Затухающее колебательное магнитное поле, МЭК 61000-4-10-93
Разряды Статического электричества	Р 51317.4.2-99	Разряды статического электричества, МЭК 61000-4-2-95





Анализ этой таблицы показывает, что номенклатура стандартизированных электромагнитных воздействий, устанавливаемых стандартами МЭК серии 61000-4, в целом, соответствует номенклатуре видов электромагнитных помех на электрических станциях и подстанциях.

В таблице приведены рекомендации по выбору портов ТС, подлежащих воздействию помех при проведении испытаний на помехоустойчивость.

Рекомендации по выбору портов ТС, подлежащих воздействию помех при проведении испытаний на помехоустойчивость

Наименование помехи, вида испытаний	Порты Электропитания переменного тока	Порты электропитания постоянного тока	Порт корпуса	Порт ввода-вывода сигналов	Порты заземления
Разряды статического электричества	НП	Н	П	Н	Н
Радиочастотное электромагнитное поле	Н	Н	П	Н	Н
Наносекундные импульсные помехи	П	П	НП	М	М
Микросекундные импульсные помехи большой энергии	П	М	НП	М	М

П — подлежит воздействию, за исключением специальных случаев; Н — не подлежит воздействию, за исключением специальных случаев; М — подлежит воздействию при определенных обстоятельствах; НП — не подлежит воздействию.

## Продолжение таблицы

Наименование помехи, вида испытаний	Порты электропитания переменного тока	Порты электропитания постоянного тока	Порт корпуса	Порт ввода-вывода сигналов	Порты заземления
Кондуктивные помехи, наведенные радиочастотными электромагнитными полями	П	П	НП	П	П
Магнитное поле промышленной частоты	НП	НП	М	НП	НП
Импульсное магнитное поле	НП	НП	М	НП	НП
Затухающее колебательное магнитное поле	НП	НП	М	НП	НП
Динамические изменения напряжения электропитания	П	НП	НП	НП	НП

П — подлежит воздействию, за исключением специальных случаев; Н — не подлежит воздействию, за исключением специальных случаев; М — подлежит воздействию при определенных обстоятельствах; НП — не подлежит воздействию.

## Продолжение таблицы

Наименование помехи, вида испытаний	Порты электропитания переменного тока	Порты электропитания постоянного тока	Порт корпуса	Порт ввода-вывода сигналов	Порты заземления
Колебательные затухающие помехи, в том числе: одиночные колебательные затухающие помехи, повторяющиеся колебательные затухающие помехи	М	Н	НП	М	Н
	М	Н	НП	М	М
Низкочастотные гармоники и интергармоники, включая сигналы, передаваемые по силовым линиям	Н	НП	НП	М	НП
Колебания напряжения электропитания	Н	НП	НП	НП	НП

П — подлежит воздействию, за исключением специальных случаев; Н — не подлежит воздействию, за исключением специальных случаев; М — подлежит воздействию при определенных обстоятельствах; НП — не подлежит воздействию.

## Продолжение таблицы

Наименование помехи, вида испытаний	Порты Электропитания переменного тока	Порты Электропитания постоянного тока	Порт Корпуса	Порт ввода-вывода Сигналов	Порты заземления
Кондуктивные помехи в полосе частот от 0 до 150 кГц	Н	Н	НП	Н	НП
Пульсации напряжения электропитания постоянного тока	НП	М	НП	НП	НП
Несимметрия напряжений электропитания	М	НП	НП	НП	НП
Изменения частоты питающего напряжения	Н	НП	НП	НП	НП
Динамические изменения напряжения электропитания постоянного тока	НП	М	НП	НП	НП

П — подлежит воздействию, за исключением специальных случаев; Н — не подлежит воздействию, за исключением специальных случаев; М — подлежит воздействию при определенных обстоятельствах; НП — не подлежит воздействию.




# НОРМИРОВАННЫЕ И ДЕЙСТВИТЕЛЬНЫЕ УРОВНИ ПОМЕХ НА ОБЪЕКТАХ ЭНЕРГЕТИКИ

В условиях эксплуатации электротехническое оборудование подвергается электромагнитным воздействиям различного происхождения




Уровни воздействующих помех можно регулировать различными техническими мероприятиями.

К таким мероприятиям относятся выбор режима работы (например, ограничение токов КЗ, регулирование напряжения, частоты, алгоритма оперативных переключений и т.д.), обеспечение молниезащиты, заземление, экранирование, прокладка электрических коммуникаций, уравнивание и выравнивание потенциалов, использование защитных устройств, ограничивающих перенапряжения (например, разрядников, ограничителей перенапряжений, варисторов, ограничительных диодов, комбинированных устройств), фильтров, использование строительных конструкций в качестве экранов, рациональное размещение оборудования и многое другое.




Задачей обеспечения электромагнитной совместимости является согласование испытательных уровней и уровней воздействий ТС. Для того чтобы реализовать это согласование, могут потребоваться дополнительные технические мероприятия для облегчения электромагнитной обстановки в местах расположения ТС или на сетевых, сигнальных, информационных или иных электрических их входах.





Так как электромагнитная обстановка на объектах электроэнергетики является сложной и трудно поддается расчетам, то во многих случаях ее определяют экспериментально. Для этого необходимо разрабатывать специальные методики и устройства.



Рассмотрим основные виды и параметры электромагнитных воздействий на технические средства электрической части атомных станций.

Принято разделять воздействия (или электромагнитные помехи) на кондуктивные (распространяющиеся по проводам), полевые и обусловленные качеством электроэнергии сети электропитания.

## Нормированные и зафиксированные значения кондуктивных электромагнитных помех на объектах энергетики

Воздействие	Предельное нормированное воздействие при группе исполнения				Зафиксированные значения
	I	II	III	IV	
Микросекундные импульсные помехи большой энергии, кВ	До 0,5	0,5—1	0,5—2	1—4	При обратных перекрытиях наблюдаются импульсы амплитудой до 5—10 кВ
Наносекундные импульсные помехи (пачки импульсов), кВ	До 0,5	0,5—1	0,5—3	2—4	Уровни помех 4,5 кВ в цепях трансформаторов в напряжения
Разряды статического электричества, кВ	2	4	6 — контакт 8 — искра	8 — контакт 15 — искра	Данных не имеется
Кондуктивные помехи, наведенные радиочастотными электромагнитными полями, В	1	3	10	10	Превышения нормированного уровня помех

Продолжение таблицы

Воздействие	Предельное нормированное воздействие при группе исполнения				Зафиксированные значения
	I	II	III	IV	
Колебательные затухающие помехи, кВ	До 0,5	0,25—1	0,5—2	1 – 4	Помехи амплитудой до 4,8 кВ
Кондуктивные помехи (полоса частот 0—150 кГц), В	0,1—1	0,3—10	1—30	3—100	Превышения достигают 15—20 дБ
Токи кратковременных (3 с) синусоидальных помех 50 Гц в цепях защитного и сигнального заземления, А	50	100	150	200	Данных не имеется
Токи микросекундных импульсных помех в цепях защитного и сигнального заземления (импульс 4/300 мкс), А	50	100	150	200	Данных не имеется

## Нормированные и зафиксированные значения наибольших полевых электромагнитных помех

Воздействие	Предельное нормированное воздействие при группе исполнения				Зафиксированные значения
	I	II	III	IV	
Радиочастотное электромагнитное поле, В/м	1—3	3—10	10—30	10—30	Напряженности, Превышающие нормированные в 2 раза
Магнитное поле промышленной частоты, А/м: длительное кратковременное	3 —	10 400	30 400	40 600	Напряженность 90 А/м (длительное воздействие)

Продолжение таблицы

Воздействие	Предельное нормированное воздействие при группе исполнения				Зафиксированные значения
	I	II	III	IV	
Импульсное магнитное поле (8/20 мкс), А/м	—	100	300	600	Данных не имеется, однако при неудаленных перекрытиях изоляции возможны более высокие напряженности
Затухающее Колебательное магнитное поле Длительностью до 10 с, А/м	—	10	30	100	Напряженность более 400 А/м (при КЗ)


## Нормированные и зафиксированные значения наибольших электромагнитных помех, обусловленных качеством электропитания

Воздействие	Предельное нормированное воздействие при группе исполнения				Зафиксированные значения
	I	II	III	IV	
Изменения частоты питающего напряжения, %	±3	+4,-6	±15	±15	Как правило, отклонение частоты не выходит за указанные пределы
Искажения синусоидальности напряжения электропитания (наибольшая амплитуда гармоник, % основной)	—	до 9	до 12	В соответствии с ТЗ на ТС	Данные об Искажениях отсутствуют

## Продолжение таблицы

Воздействие	Предельное нормированное воздействие при группе исполнения				Зафиксированные значения
	I	II	III	IV	
Динамические изменения напряжения электропитания при: провалах напряжения на 70 %, с	0.2	0.5	1	2	Более глубокие провалы  Прерывания большей длительности  В цепях постоянного оперативного тока наведенные напряжения 50 Гц амплитудой до 125 В
прерываниях напряжения, мс	20	50	100	200	
выбросах напряжения на 120 %,с	0.2	0.5	1	2	





Сопоставление данных этих таблиц, позволяет сделать вывод о том, что ЭМС на объектах энергетики во многих случаях не обеспечивается.