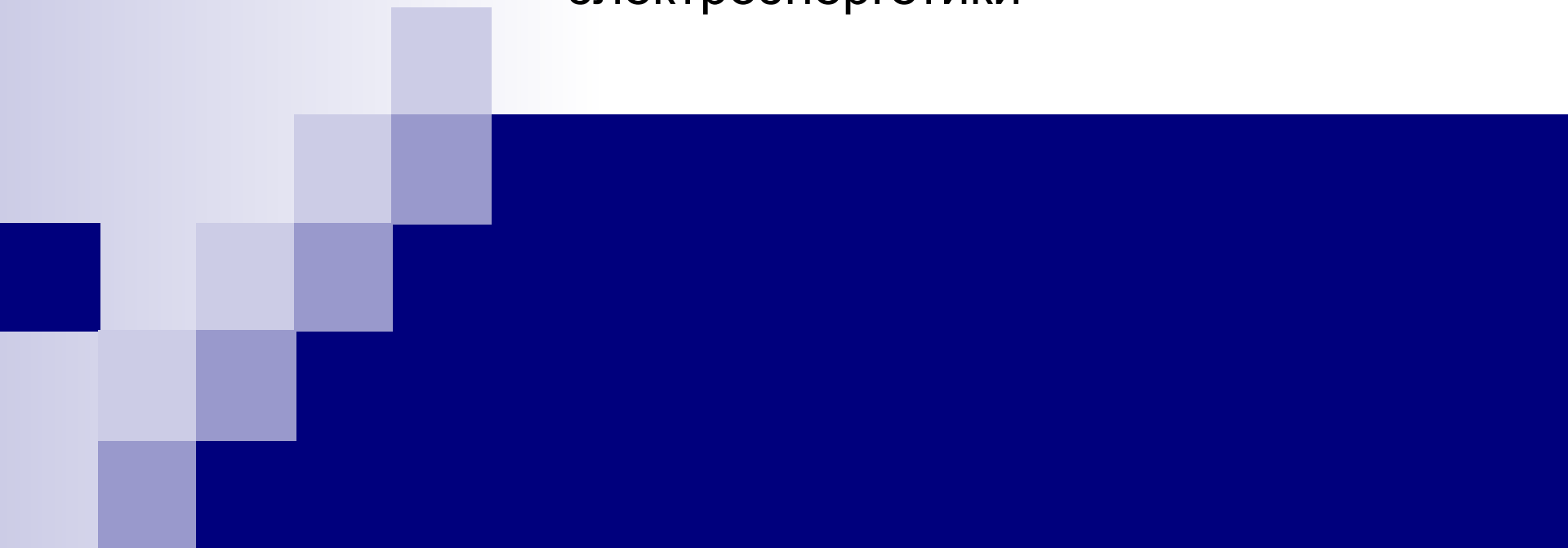


# Электромагнитная обстановка на объектах электроэнергетики





# 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<br>Функционирования ТС<br>при испытаниях | Качество функционирования ТС при испытаниях                                                                                                                |
|------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| A                                                          | Нормальное функционирование с параметрами в соответствии с техническими условиями                                                                          |
| B                                                          | Кратковременное нарушение функционирования или ухудшение параметров с последующим восстановлением нормального функционирования без вмешательства оператора |
| C                                                          | Нарушение функционирования или ухудшение параметров, требующее для восстановления нормального функционирования вмешательства оператора                     |
| D                                                          | 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.

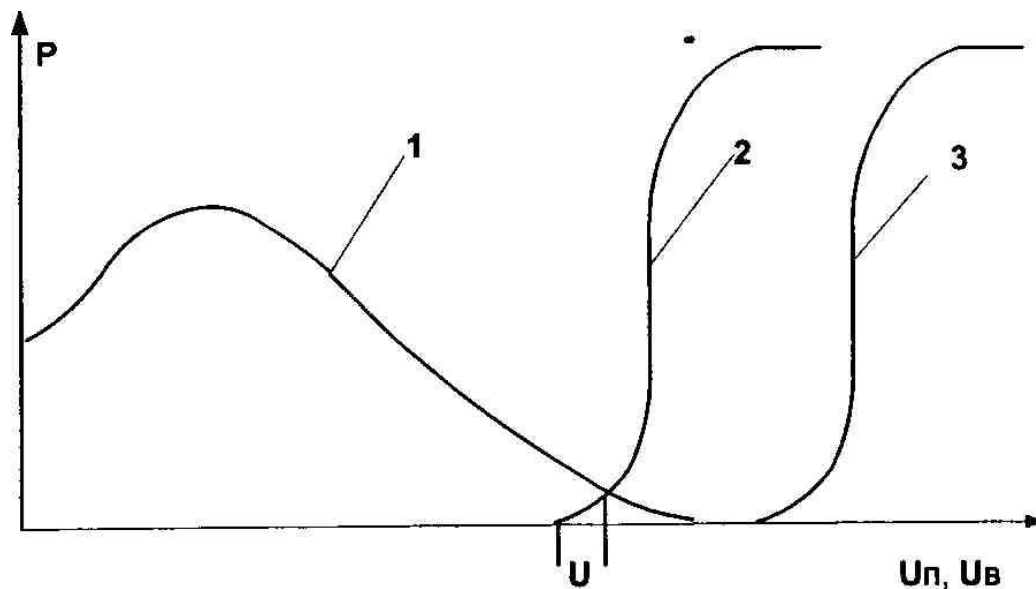
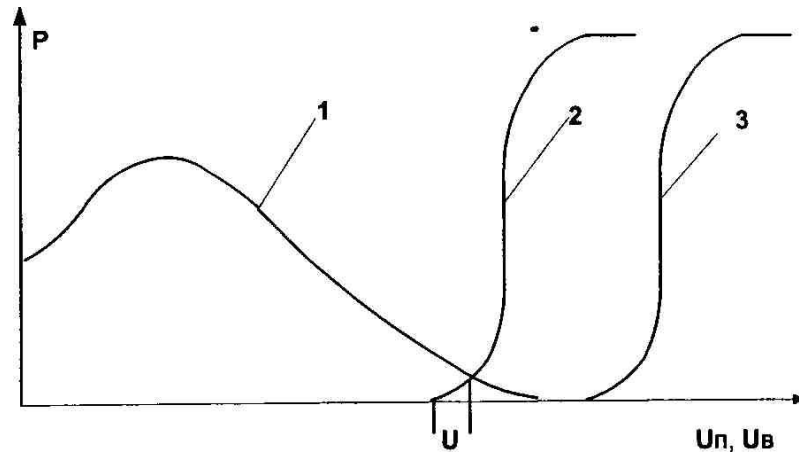


Рис. Соотношения между вероятностью помех (кривая 1) и восприимчивостью к помехам (кривые 2 и 3).  $P$  - вероятность,  $U_{\text{п}}$  - амплитуда помехи,  $U_{\text{в}}$  - уровень восприимчивости к помехам

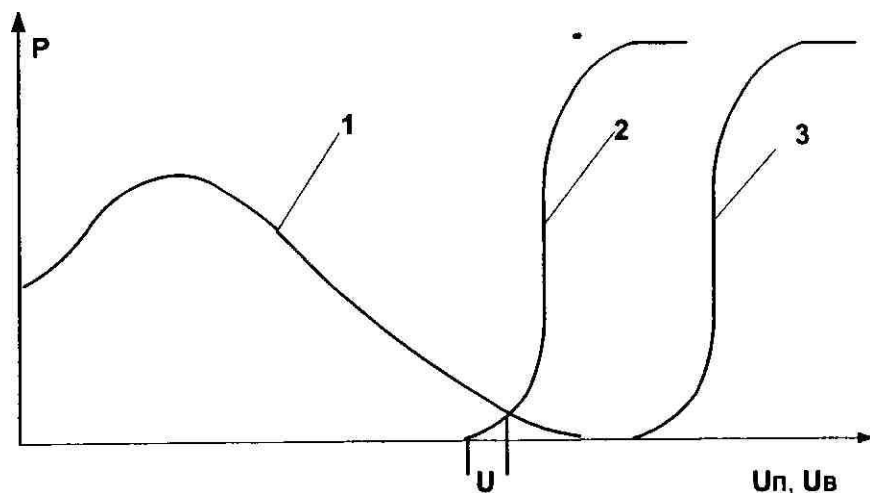
Вероятность  $P$  амплитуд помех (кривая 1) подчиняется некоторому закону. При большом числе влияющих факторов закон распределения, как правило, является нормальным.



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



Продолжение таблицы

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

Продолжение таблицы

|                                                             |                |                                                               |
|-------------------------------------------------------------|----------------|---------------------------------------------------------------|
| Высокочастотные<br>Излучаемые<br>Электромагнитные<br>помехи | Р 51317.4.3-99 | Радиочастотное электромагнитное<br>поле, МЭК 61000-4-3-95     |
|                                                             | Р 50649-94     | Импульсное магнитное поле, МЭК<br>61000-4-9-93                |
|                                                             | Р 50652 - 94   | Затухающее колебательное магнитное<br>поле, МЭК 61000-4-10-93 |
| Разряды<br>Статического<br>электричества                    | Р 51317.4.2-99 | Разряды статического электричества,<br>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<br>Электропита-<br>ния<br>переменно<br>го тока | Порты электро<br>питания<br>постоянного<br>тока | Порт<br>корпуса | Порт<br>ввода-<br>вывода<br>сигналов | Порты<br>заземле<br>ния |
|-----------------------------------------------------|------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-----------------|--------------------------------------|-------------------------|
| 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<br>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 сигнала | 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:<br>одиночные колебательные затухающие помехи,<br>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<br>Электропита<br>ния<br>переменного<br>тока | Порты<br>Электропита<br>ния<br>постоянного<br>тока | Порт<br>Корп<br>уса | Порт<br>ввода-<br>вывода<br>Сигналов | Порты<br>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 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 перекры-<br>Тиях наблюдаются<br>импульсы<br>амплитудой до<br>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<br>в цепях<br>трансформаторо<br>в напряжения                  |
| Разряды статического электричества, кВ                                      | 2                                                          | 4     | 6 —<br>контакт<br>8 — искра | 8 —<br>контакт<br>15 — искра | Данных не имеется                                                                 |
| Кондуктивные помехи, наведенные радиочастотными электромагнитными полями, В | 1                                                          | 3     | 10                          | 10                           | Превышения<br>нормированного<br>уровня помех                                      |

# Продолжение таблицы

| Воздействие                                                                                                        | Предельное нормированное воздействие при<br>группе исполнения |        |       |       | Зафиксированные<br>значения         |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|--------|-------|-------|-------------------------------------|
|                                                                                                                    | I                                                             | II     | III   | IV    |                                     |
| Колебательные затухающие<br>помехи, кВ                                                                             | До 0,5                                                        | 0,25—1 | 0,5—2 | 1 – 4 | Помехи амплитудой<br>до 4,8 кВ      |
| Кондуктивные помехи (полоса<br>частот 0—150 кГц), В                                                                | 0,1—1                                                         | 0,3—10 | 1—30  | 3—100 | Превышения<br>достигают<br>15—20 дБ |
| Токи кратковременных (3 с)<br>синусоидальных помех 50 Гц<br>в цепях защитного и<br>сигнального заземления, А       | 50                                                            | 100    | 150   | 200   | Данных не имеется                   |
| Токи микросекундных<br>импульсных помех в<br>цепях защитного и<br>сигнального заземления<br>(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<br>группе исполнения |           |           |           | Зафиксированные<br>значения                                |
|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|-----------|-----------|-----------|------------------------------------------------------------|
|                                                                                     | I                                                             | II        | III       | IV        |                                                            |
| Радиочастотное<br>электромагнитное<br>поле, В/м                                     | 1—3                                                           | 3—10      | 10—30     | 10—30     | Напряженности,<br>Превышающие<br>нормированные в 2<br>раза |
| Магнитное поле<br>промышленной<br>частоты,<br>А/м:<br>длительное<br>кратковременное | 3<br>—                                                        | 10<br>400 | 30<br>400 | 40<br>600 | Напряженность 90<br>А/м (длительное<br>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<br>группе исполнения |       |          |                           | Зафиксированные<br>значения                                     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|-------|----------|---------------------------|-----------------------------------------------------------------|
|                                                                                                  | I                                                             | II    | III      | IV                        |                                                                 |
| Изменения частоты питающего напряжения, %                                                        | $\pm 3$                                                       | +4,-6 | $\pm 15$ | $\pm 15$                  | 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:<br>провалах напряжения на 70 %, с | 0.2                                                        | 0.5 | 1   | 2   | Более глубокие провалы                                                                |
| прерываниях напряжения, мс                                                              | 20                                                         | 50  | 100 | 200 | Прерывания большей длительности                                                       |
| выбросах напряжения на 120 %,с                                                          | 0.2                                                        | 0.5 | 1   | 2   | В цепях постоянного оперативного тока наведенные напряжения 50 Гц амплитудой до 125 В |



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