

## АННОТАЦИЯ

*В статье описаны нарушения требований электромагнитной обстановки на высоковольтных электрических подстанциях Беларуси, для выявления которых нет необходимости проведения специальных измерений. Указана связь между такими нарушениями и возможными негативными последствиями для работы электронных технических средств. Приведены примеры из практики авторов в процессе выполнения работ по обследованию электромагнитной обстановки.*

## ANNOTATION

*This article describes offenses to requirements of electromagnetic condition of high voltage electrical substation in Belarus to detection there is no need to execute special observations. In the article is relationship between offenses and probable negative consequents for electrical devises shown. The article has practical examples, which were taken during investigation of electromagnetic condition of high voltage electrical substation.*

## Очевидные нарушения требований электромагнитной совместимости на высоковольтных электрических подстанциях. Примеры и возможные последствия

М. И. Фурсанов, д.т.н., профессор, зав. кафедрой  
«Электрические системы» БНТУ

П. В. Криксин, аспирант БНТУ, начальник ЭТЛ  
СЗАО «Таврида Электрик БП»

### Введение

Электромагнитная обстановка (ЭМО) на высоковольтных электрических подстанциях определяется и оценивается по совокупности различных факторов, явлений, процессов, среди которых можно выделить:

- ♦ электрические параметры объекта (напряжение, передаваемая мощность, величины токов короткого замыкания и др.);
  - ♦ конструктивные особенности объекта: здания, сооружения, оборудования (площадь, компоновка объекта, параметры заземляющего устройства, силового оборудования, расположение трасс кабелей вторичных цепей и др.);
  - ♦ климатические условия, в которых эксплуатируется объект, и другие природные факторы (число грозových дней в году, удельное сопротивление, глубина промерзания, высыхания грунта и др.);
  - ♦ качество проектирования, строительно-монтажных работ, регулярность и глубина периодических обследований, ремонтов, модернизаций;
- и др.

Состояние ЭМО на действующих высоковольтных подстанциях может определяться различными

способами: путём измерений, расчётов, моделирования.

Таким образом, определение ЭМО и её комплексная оценка представляют собой совокупность сложных измерений и расчётов, требующих значительных затрат. Однако наряду с указанными специальными исследованиями существует ряд характерных признаков, по которым на высоком качественном уровне можно судить, насколько ЭМО благоприятна для эксплуатирующихся либо намеченных к внедрению электронных технических средств (ЭТС), включая микропроцессорные.

Актуальность проблемы связана как с высокой трудоёмкостью проведения полного цикла исследований ЭМО на ПС, так и с ограниченным числом специалистов в республике, работающих по этой тематике. Анализ проблем с электромагнитной совместимостью технических средств (ЭМС ТС) на качественном уровне позволяет судить об общем состоянии ЭМО на объекте и необходимости более глубоких и детальных исследований.

### Виды очевидных нарушений

Анализ литературы по ЭМС ТС [1, 2, 3] и опыт авторов позволяют выделить нарушения, выявление которых возможно без специальных исследований:

- ♦ неправильное конструктивное исполнение заземлителей оборудования и сооружений, например, молниеотводов, стоек с ограничителями перенапряжений (ОПН), трансформаторов и т. п.

- ♦ неправильное устройство заземления оборудования, например, последовательные соединения;
- ♦ отсутствие связи заземляемого оборудования с заземлителями;
- ♦ коррозионный износ заземлителей;
- ♦ малая глубина залегания заземлителей;
- ♦ несоблюдение допустимых расстояний между источником и приёмником помех, в частности:
  - от заземлителей молниеотводов, ОПН, разрядников до кабелей вторичных цепей;
  - от токоотводов молниеотводов до мест установки ЭТС;
  - от реакторов до мест установки ЭТС;
  - от высоковольтных шин до мест установки ЭТС;
- ♦ несоблюдение требований к прокладке силовых и контрольных кабелей, в частности к допустимому расстоянию между ними и длине совместного расположения;
- ♦ несоблюдение требований по взаимному расположению трасс кабелей вторичных цепей и высоковольтных шин, в частности допустимому расстоянию прокладки кабелей вторичных цепей вдоль высоковольтных шин;
- ♦ отсутствие экранов у кабелей вторичных цепей, а при их наличии — несоответствие требованиям мест и качества их заземления.

Рассмотрим примеры указанных нарушений на объектах Белорусской энергосистемы и последствия, к которым они могут привести.

### Примеры и возможные последствия очевидных нарушений

#### 1. Неправильное заземление силового оборудования

Способ заземления силовых трансформаторов, отражённый на рис. 1, не соответствует требованиям [4, п.4.3.17.6], так как по сути является последовательным включением заземляющих проводников. Неправильное заземление силового оборудования может при авариях привести к появлению высоких значений потенциала, что опасно как для самого оборудования, так и для обслуживающего персонала ввиду повышения напряжений шага и прикосновения.

#### 2. Неправильное конструктивное исполнение заземлителей молниеотводов

В соответствии с требованиями [1, 2, 4] заземлители установленных на порталах молниеотводов

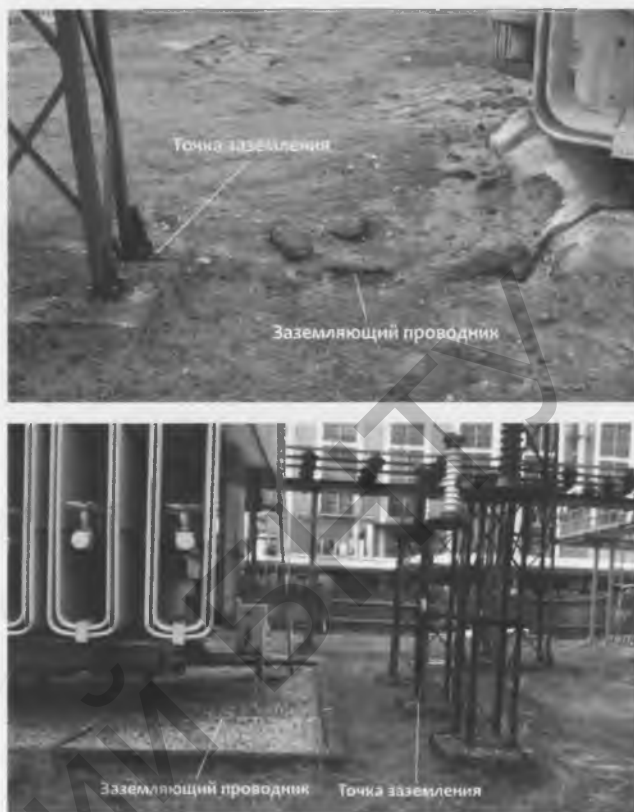


Рис. 1. Примеры неправильного заземления силовых трансформаторов (а — на ближайшую опору; б — на стойку с ОПН)

должны выполняться в виде трёх расходящихся от каждого портала лучей, на концах которых через 3–5 м должны быть установлены вертикальные заземлители. Примеры явного нарушения требований показаны на рис. 2.

Неправильное конструктивное исполнение заземлителей молниеотводов может привести к следующим негативным последствиям:

- ♦ неконтролируемым путям растекания тока и, как следствие, к непредвиденным воздействиям, среди которых может быть повреждение токоотводов и заземлителей от термического или электродинамического воздействия тока;
- ♦ повышению зоны искрообразования в грунте или пробоя грунта по поверхности, что может привести к повреждению изоляции проходящих вблизи кабелей вторичных цепей;
- ♦ высокому подъёму потенциала на заземлителе молниеотвода и неравномерному распределению потенциала по объекту, что может быть причиной повреждения кабелей вторичных цепей и подключённого к ним оборудования; большим величинам токов, протекающих по экранам кабелей; повышению напряжений шага и прикосновения.



**Рис. 2.** Примеры неправильного исполнения заземлителей молниеотводов (заземлители молниеотводов не соответствуют требованиям по конфигурации и глубине прокладки)

### 3. Несоблюдение допустимых расстояний от заземлителей молниеотводов до кабелей вторичных цепей

Согласно требованиям [6] кабели вторичных цепей должны прокладываться вне искровой зоны заземлителей молниеотводов, то есть, как правило, на расстоянии более 5 м от фундамента. Если на опору с молниеотводов заходит кабель освещения, то он должен иметь металлическую оболочку и прокладываться в металлической трубе. В месте ввода кабеля в кабельное сооружение металлическая оболочка кабелей, броня и труба должны быть соединены с заземляющим устройством ПС [4, п.6.2.8.9]. Явное противоречие этим требованиям изображено на рис. 3.

Несоблюдение допустимых расстояний между заземлителями молниеотводов и кабелями вторичных цепей может привести к повреждению изоляции кабелей либо к повреждению или сбоям подключённого к ним оборудования.

### 4. Несоблюдение допустимых расстояний от заземлителей ОПН и разрядников до кабелей вторичных цепей

Расстояние от заземлителей ОПН и разрядников до кабелей вторичных цепей должно составлять не менее 5 м [8]. Несоблюдение этого требования, как, например, изображено на рис. 4, может привести к повреждению изоляции кабелей либо к повреждениям или сбоям подключённого к ним оборудования.

### 5. Несоблюдение допустимых расстояний от молниеотводов до мест установки ЭТС

При ударе молнии в молниеотвод вокруг него могут возникать высокие напряжённости электромагнитного поля. При установке молниеотвода возле



**Рис. 3.** Примеры несоблюдения допустимых расстояний от заземлителей молниеотводов до кабелей вторичных цепей (заземлители молниеотводов проложены в непосредственной близости от кабелей вторичных цепей)

зданий с ЭТС действующая на них напряженность электромагнитного поля будет особенно велика. Наименьшее допустимое расстояние от молниеотвода до места установки ЭТС ( $L_{\text{мин}}$ ) в соответствии с [1] может быть определено по формуле:

$$L_{\text{мин}} > I_{\text{м}} / (2\pi \cdot N_{\text{доп}} \cdot K_{\text{экр}}),$$

где  $I_{\text{м}}$  — ток молнии;

$N_{\text{доп}}$  — допустимая для оборудования напряжённость импульсного магнитного поля;

$K_{\text{экр}}$  — коэффициент экранирования.

Если принять типовые для объекта электроэнергетики параметры:

$I_{\text{м}} = 30$  кА (ток молнии с вероятностью появления не более указанной величины — 50 %);

$N_{\text{доп}} = 300$  А/м (степень жёсткости IV по ГОСТ 30336);

$K_{\text{экр}} = 3$  (кирпичное здание),

то минимально допустимое расстояние от молниеотвода до помещения с ЭТС становится равным 5,3 м.

Молниеотводы на рис. 5 расположены вплотную к зданиям с ЭТС, что может привести к их повреждениям либо сбоям в работе.

### 6. Совместная прокладка силовых и контрольных кабелей

Для исключения взаимных влияний силовые и контрольные кабели должны быть проложены на некотором расстоянии друг от друга. В соответствии с [7, стр.10] минимальное расстояние между силовыми кабелями 0,4 кВ и контрольными кабелями должно составлять 0,25 м. При прокладке кабелей в кабельном тоннеле на полках силовые и контрольные кабели следует располагать на различных уровнях.



**Рис. 4.** Примеры несоблюдения допустимых расстояний от заземлителей ОПН и разрядников до кабелей вторичных цепей (устройства для ограничения перенапряжений и кабельные лотки расположены в непосредственной близости)

На рис. 6 показано несоблюдение указанных требований. Совместная прокладка силовых и контрольных кабелей может привести к высокому уровню помех в контрольных кабелях и, как следствие, к сбоям в работе подключённого к ним оборудования.

#### 7. Коррозионный износ заземлителей

Стальные элементы, находящиеся в земле, подвергаются коррозии, под действием которой они разрушаются. Коррозия приводит к уменьшению эффективного радиуса заземлителя, что может стать причиной его механического либо термического повреждения. Интенсивность процесса зависит от коррозионной активности грунта, которую можно определить по его удельному сопротивлению (чем оно больше, тем меньше коррозионная активность грунта [5]). Согласно требованиям [5] заземлитель должен быть заменён, если разрушено более 50 % его сечения.

Отметим, что в своей практике мы не встречали заземлителей, разрушенных до такой степени, однако признаки коррозии у эксплуатируемых заземлителей присутствуют практически всегда (рис. 7).

#### 8. Малая глубина залегания заземлителей

Исходя из требований [1] для эффективной работы заземлителей глубина их прокладки должна составлять 0,5–0,7 м. При меньшем заглублении ток с заземлителей будет растекаться в малом массиве земли, что снизит эффективность их работы. Если заземлители проложены слишком глубоко — может происходить неравномерное распределение потенциала по объекту, что приведёт к увеличению напряжений шага и прикосновения. Пример прокладки заземлителей на малой глубине приведён на рис. 8.



**Рис. 5.** Примеры несоблюдения допустимых расстояний от молниеотводов до мест установки ЭТС (молниеотвод установлен непосредственно у здания с ЭТС)



**Рис. 6.** Пример совместной прокладки силовых и контрольных кабелей (все кабели в кабельном лотке и канале расположены совместно без разделения на отдельные пучки)



**Рис. 7.** Пример коррозионного износа заземлителей (заземлители с элементами коррозии)

#### 9. Прокладка кабелей вторичных цепей вдоль высоковольтных шин

Оптимальное взаимное расположение высоковольтных шин и трасс кабелей вторичных цепей — перпендикулярно друг другу. Прокладка кабелей вторичных цепей на большом расстоянии вдоль высоковольтных шин при коммутациях аппаратами ОРУ может стать причиной высокого уровня помех во вторичных цепях. Высокому уровню помех также



Рис. 8. Примеры прокладки заземлителей на малой глубине (заземлители проложены на глубине не более 0,2 м)



Рис. 9. Прокладка кабелей вторичных цепей вдоль высоковольтных шин

может способствовать отсутствию дополнительных защитных мер: экранирование кабеля с заземлением экрана с обеих сторон, прокладка экранирующих проводников вдоль кабельных трасс и др.

#### 10. Прочие очевидные несоответствия

Среди прочих несоответствий, которые ухудшают ЭМО на ПС, можно выделить близкое расположение источника помехи и ЭТС. Это может быть:

- ♦ расположение реакторов вблизи помещений релейного щита, пульта оперативного управления;
- ♦ расположение высоковольтных шин и силовых устройств вблизи помещений релейного щита, пульта оперативного управления.

Уровень помех во вторичных цепях существенно зависит от наличия у кабеля экрана, его характеристик и способа заземления. Применение экранированных кабелей с заземлением экрана с обеих сторон позволяет значительно уменьшить величину помехи. Наличие либо отсутствие такого мероприятия также может быть определено путём осмотра.

#### Заключение

Обеспечение электромагнитной совместимости технических средств на высоковольтных электрических подстанциях является необходимым условием для гарантии их надёжной работы. Основа основ в этом процессе — правильное проектирование и строительство объекта. В Белорусской энергосистеме подавляющее большинство подстанций спроектировано по старым нормам без учёта требований ЭМС ТС, в связи с чем при модернизации таких объектов и внедрении на них современных электронных технических средств, в частности микропроцессорных, необходимо анализировать, в каких условиях эти устройства будут работать.

Часть из рассматриваемых проблем требует проведения специальных измерений, моделиро-

вания, расчётов (например, исследования распределения потенциалов и токов по ЗУ при ударах молнии и коротких замыканиях на землю). Другая часть — вполне очевидные несоответствия, выявить которые можно без специальных исследований. Например, несоблюдение допустимых расстояний может являться своеобразным индикатором, по которому можно судить об общем состоянии электромагнитной обстановки и необходимости дальнейшего, более глубокого изучения этого вопроса.

ЭИИ

#### Литература

1. СТО 56947007 «Методические указания по обеспечению электромагнитной совместимости на объектах электросетевого хозяйства».
2. СО 34.35.311-2004 «Методические указания по определению электромагнитных обстановки и совместимости на электрических станциях и подстанциях».
3. РД 153-34.0-20.525-00 «Методические указания по контролю состояния заземляющих устройств электроустановок».
4. ТКП 339-2011 «Электроустановки на напряжение до 750 кВ. Линии электропередачи воздушные и токопроводы, устройства распределительные и трансформаторные подстанции, установки электросиловые и аккумуляторные, электроустановки жилых и общественных зданий».
5. СТП 09110.47.203-07 «Методические указания по выполнению заземления на электрических станциях и подстанциях напряжением 35-750 кВ».
6. СТП 09110.47.103-07 «Методические указания по проектированию заземляющих устройств электрических станций и подстанций напряжением 35-750 кВ».
7. СТП 09110.47.104-08 «Методические указания по защите вторичных цепей электрических станций и подстанций напряжением 35-750 кВ от электромагнитных влияний и грозовых воздействий».
8. РД 34.20.116 «Методические указания по защите вторичных цепей электрических станций и подстанций от импульсных помех».