

О. Ю. ГЛЕБОВ, ст. науч. сотр., НИПКІ «Молния» НТУ «ХПИ»;
В. В. КНЯЗЕВ, канд. техн. наук, вед. науч. сотр., НИПКІ «Молния»
НТУ «ХПИ»;
Г. М. КОЛИУШКО, канд. техн. наук, зам. директора, НИПКІ «Мол-
ния» НТУ «ХПИ»

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТЕПЕНИ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ЭФФЕКТОВ МОЛНИИ НА ОБОРУДОВАНИЕ ОБЪЕКТОВ ЭНЕРГЕТИКИ

Рассмотрены примеры использования двух разработанных методов для определения каналов растекания тока молнии по гальваническим связям на типовых объектах. Доказана эффективность использования этих методов при прогнозировании параметров электромагнитных помех, поступающих на входы аппаратуры, при вероятных ударах молнии в элементы объекта.

Ключевые слова: молния, молниеприемник, заземляющее устройство, гальваническая связь, уровень стойкости.

Введение

Проблема защиты объектов от молниевых разрядов существенно изменила акценты. Если ранее главной задачей было обеспечить пожарную безопасность объекта, то сегодня, наряду с этой задачей требуется обеспечить надежное функционирование оборудования, расположенного на объекте. Поскольку, зачастую, повреждение оборудования может привести к катастрофическим последствиям. Анализ состояния систем молниезащиты однозначно показывает, что второй аспект проблемы – защита оборудования, как правило, не учитывается проектантами.

Основные негативные последствия удара молнии в объект связаны с протеканием больших импульсных токов. Для оценки возможных деструктивных явлений важно знать по каким гальваническим связям и в какой пропорции будет происходить протекание тока молнии, при ударе в то, или иное место на объекте. Такая информация может быть получена только экспериментальным путем. На сегодняшний день, нет стандартизованного на международном уровне метода, который позволяет решать такую задачу.

НДПКІ «Молния» НТУ «ХПИ» за последние 20 лет выполнены работы по диагностике состояния устройств заземления и систем молниезащиты более чем на 900 объектах электроэнергетики Украины. По результатам этих исследований институтом разработан отраслевой стандарт Украины СОУ 31.2-21677681-19: 2009 [1], а среднестатистические параметры электромагнитных процессов, которые сопровождают молнию, обобщены в межгосударственном стандарте ГОСТ 30585-98 [2].

Накопленный опыт позволил предложить и опробовать на практике экспериментальные методы определения каналов растекания тока молнии с последующей экстраполяцией результатов на значения натурной молнии. Реализовано два основных метода, отличающихся видом подаваемого тестового сигнала и регистрируемыми параметрами. Первый вариант реализуется подачей импульсного сигнала с временными параметрами, характерными для среднестатистической молнии, в точку вероятного удара молнии. При этом, с помощью осциллографа регистрируется сигнал, наведенный на элементах проводной связи по отношению к «земле». Второй вариант основан на подаче сигналов определенных частот, набор которых подбирается из спектрального состава рассматриваемой молнии. В этом варианте с помощью резонансно настроенного индукционного преобразователя измеряется уровень силы тока в каждом из элементов проводных связей. По результатам измерений строится схема растекания тока с указанием доли интегрального тока, протекающего по элементу. Упомянутые выше методы гармонично дополняют друг друга. В совокупности, они обеспечивают возможность получения достаточно полной информации для осуществления достоверного прогноза относительно параметров напряжений и токов, которые будут вызваны ударом молнии в тот или иной конструктивный элемент объекта.

Целью настоящей работы является доказательство эффективности разработанных методов определения каналов растекания тока молнии на объекте.

Материалы и результаты исследования

В качестве объекта для исследований выбрана типовая радиовышка, аналоги которой устанавливаются вблизи высоковольтных подстанций (ПС) с открытыми распределительными устройствами (ОРУ) классов напряжения 35 кВ и выше, газораспределительных, нефтеперекачивающих и других подобных объектах. Оборудование связи находится, как правило, в одном из помещений общестанционного пункта управления (ОПУ) или главного щита управления (ГЩУ). В качестве примера, на рис. 1 представлена фотография радиовышки с типичной прокладкой кабелей. Покажем, как наличие подобной радиовышки может создать опасность для всего комплекса оборудования, расположенного на объекте.

На одной из обследованных электрических подстанций были установлены следующие недостатки (типичные для таких объектов):

1. Заземляющее устройство узла связи имело только одну специальную шину связи с заземляющим устройством (ЗУ) подстанции, что противоречит п.1.7.71 ПУЭ.

2. Молниезащитный провод не выполнял свою функцию, поскольку был ниже радиовышки примерно вдвое и фактически находится в зоне ее защиты.

Поэтому, была рассмотрена ситуация, когда молния ударяет именно в радиовышку. Сопrotивление контура ЗУ подстанции, по результатам изме-

рений, не превышало 0,15 Ом. Измерение суммарного сопротивления между внутренней заземляющей шиной узла связи и контуром ЗУ (то есть по проводам связи и оболочкам кабелей) дало значение: 0,036 Ом.



Рисунок 1 – Мачта связи на территории ЛПУ магистральных газопроводов

Дальнейшие исследования были проведены с помощью генератора синусоидальных токов ГСТ-3 и измерителя напряженности магнитного поля ИЭМП-200/400. Потенциальная клемма генератора подсоединялась к радиовышке, а нулевая – к контуру ЗУ на ближайшем портале. Сопротивление связи мачты с контуром ЗУ составило 0,148 Ом. Путиами растекания тока являлись:

- а) вертикальные заземлители радиовышки;
- б) заземляющие провода, проходящие транзитом через узел связи (УС);
- в) оплетки кабелей, проходящие через аппаратуру узла связи и ГЩУ.

Измерения показали следующую пропорцию растекания тока по обозначенным выше путям:

$$а : б : в = 2 : 67 : 31.$$

Таким образом, в случае удара молнии в радиовышку, практически весь ток молнии пройдет через заземляющие провода и аппаратуру УС и ГЩУ.

Еще один пример. Базовая станция сотовой связи установлена в здании автоматической телефонной станции. На расстоянии 15 м установлена ра-

диовышка высотой 70 м. В течение одного года произошло два удара молнии в радиовышку. В результате было повреждено оборудование базовой станции, несколько компьютеров и устройств связи в здании автоматической телефонной станции, а также оборудования в соседнем здании.

Обследование с помощью резонансного метода показало следующую количественную картину растекания тока при разряде молнии в радиовышку: 20 % тока молнии отводятся в грунт непосредственно через фундамент основания радиовышки, а 80 % тока молнии протекают по кабелям антенн в пределы аппаратных БС и далее выносятся по нулевому рабочему проводнику силового фидера на главный распределительный щит (ГРЩ) АТС. Из ГРЩ 70% тока выносятся по нулевым рабочим проводникам вводных фидеров в ТП и отводятся в грунт через заземлитель ТП. Остальные 10 % тока молнии протекают по нулевым рабочим проводникам в КРОСС, аппаратную АТС, стекают по заземляющему проводнику аппаратной и отводятся в грунт через заземлитель АТС.

Отметим, что развитие сотовой связи в настоящее время происходит, в основном, путем оборудования станций на существующих объектах различного назначения (промышленные предприятия, АТС, жилые и общественные здания) с установкой антенн непосредственно на зданиях или вблизи них. При этом, как показывают приведенные выше примеры, существенным образом нарушается принятая система мер защиты от опасных грозových воздействий:

1. При установке антенных мачт, башен и опор значительно (в некоторых случаях более, чем на порядок) возрастает вероятность поражения молнией объекта.

2. Наличие кабелей связи антенн со станцией создает прямой путь прохождения тока молнии внутрь здания или сооружения. При размещении станции вблизи объекта в контейнере создается путь для тока молнии через систему электроснабжения, так как станция питается от общей системы электроснабжения объекта или непосредственно от ТП.

Таким образом, при оборудовании станций сотовой связи создаются предпосылки для опасных воздействий на людей и оборудования в период грозового сезона, если не предпринимать специальных мер по организации эффективной молниезащиты.

Рассмотрим примеры применения импульсного метода исследования.

Показательным в этом отношении является пример выполнения указанных выше работ на одной из ПС 330 кВ Северной ЭС НЭК "Укрэнерго". После проведения диагностики состояния ЗУ ПС проводились экспериментальные исследования по определению уровней помех в коаксиальных кабелях ВЧ связи, соединяющих антенны, находящиеся на радиовышке, и оборудование ВЧ связи, установленное в одном из помещений ОПУ. В результате диагностики состояния ЗУ радиовышки, а также визуального осмотра коаксиальных кабелей установлено, что:

– ЗУ радиовышки состоит из естественных заземлителей (фундаментов) и искусственных заземлителей, присоединенных к металлоконструкции радиовышки, и связано с ЗУ ПС только по экранирующим оболочкам коаксиальных кабелей;

– коаксиальные кабели проходят вдоль металлоконструкции радиовышки не в металлических трубах, а на участке между радиовышкой и ОПУ кабели подвязаны к металлическому тросу, который с одной стороны заземлен через металлоконструкцию радиовышки, а с другой стороны – не заземлен;

– по периметру помещения связи установлена шина уравнивания потенциалов, связанная с системой уравнивания потенциалов ОПУ, однако, в месте ввода в ОПУ экранирующие оболочки кабелей не присоединены к шине уравнивания потенциалов.

Для определения в коаксиальных кабелях напряжений помех выполнялась имитация удара молнии в радиовышку с помощью генератора аperiodических импульсов (ГАИ), который в режиме холостого хода генерирует импульс напряжения с параметрами волны 1,2/50 мкс и амплитудой 1000 В. При этом один полюс ГАИ подключался к металлоконструкции радиовышки, а другой – к токовому электроду, удаленному от радиовышки на 50 м. Значение импульсного тока $I_{ИМП}$ измерялось встроенным в ГАИ измерителем амплитуды импульсного тока. Напряжение помех общего вида $U_{ПОМ}$ (жила – заземленная экранирующая оболочка) определялось с помощью осциллографа Tektronix TDS 1012. Схема имитации удара молнии в радиовышку и определения уровней помех в коаксиальных кабелях показана на рис. 2.

Результаты измерений напряжений помех при имитации удара молнии в радиовышку приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Результаты измерений напряжений помех

Объект	$I_{ИМП}$, А	$U_{ПОМ}$, В
кабель 1	31,0	5,56
кабель 2	31,0	5,80

По результатам диагностики состояния ЗУ радиовышки были разработаны рекомендации по его реконструкции, которые заключались в объединении ЗУ радиовышки и ЗУ ПС двумя горизонтальными заземлителями. После выполнения ремонтно-восстановительных работ были повторно проведены измерения напряжений помех, результаты которых приведены в табл. 2, а осциллограммы – на рис. 3.

Рассмотрим, какой эффект получен в результате ремонтных работ, для случая удара молнии. Для анализа влияния конструктивного выполнения ЗУ на уровень помех рассматривались указанные выше варианты присоединения ЗУ радиовышки к ЗУ ПС: вариант 1 – ЗУ радиовышки присоединено к ЗУ ПС только экранирующими оболочками коаксиальных кабелей; вариант 2 – ЗУ радиовышки присоединено к ЗУ ПС двумя горизонтальными заземлителями, проложенными на глубине 0,5 м.

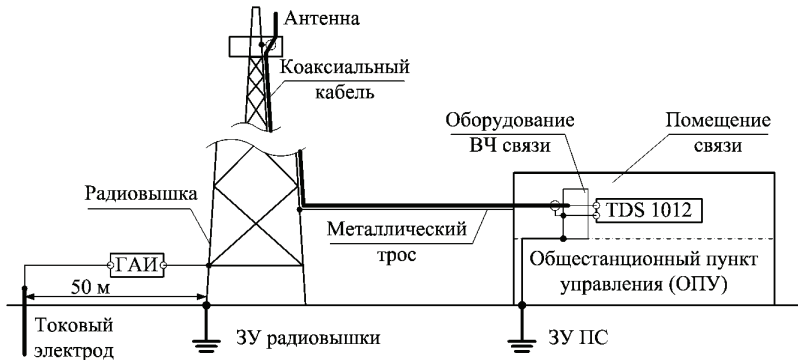


Рисунок 2 – Схема имитации удара молнии в радиовышку и определения уровней помех в коаксиальных кабелях

Таблица 2 – Результаты измерений напряжений помех после проведения ремонтно-восстановительных работ

Объект	$I_{ИМП}, A$	$U_{ПОМ}, B$
кабель 1	42,4	3,32
кабель 2	42,4	3,72

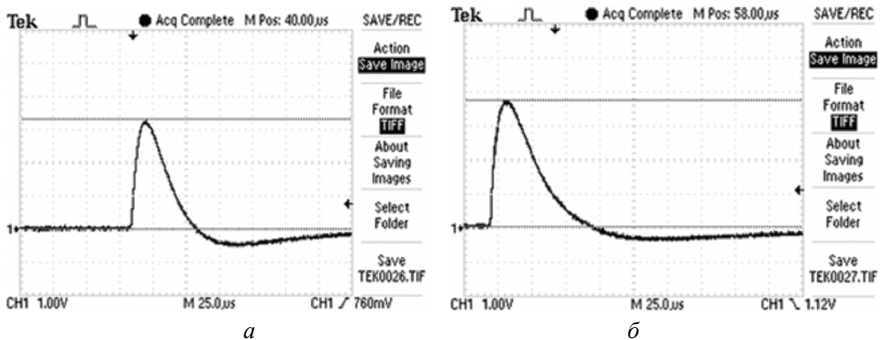


Рисунок 3 – Осциллограммы напряжений помех в кабелях после проведения ремонтно-восстановительных работ: а – кабель 1, б – кабель 2

В табл. 3 приведены расчетные значения напряжений помех $U_{РАСЧ}$ при амплитуде силы тока молнии $I_{МОЛН} = 30$ кА для трех различных вариантов присоединения ЗУ радиовышки к ЗУ ПС, полученные путем пересчета измененного напряжения к току молнии (1). Вероятность появления молний с силой тока превышающей 30 кА ($\gamma_{МОЛН}$) составляет 50 % [3].

$$U_{РАСЧ} = U_{ПОМ} \frac{I_{МОЛН}}{I_{ИМП}} \quad (1)$$

Таблица 3 – Результаты расчета напряжений помех

Объект испытания	Обозначение параметра	Значение параметров для различных вариантов присоединения ЗУ радиовышки к ЗУ ПС при $I_{МОЛН} = 30 \text{ кА}$	
		Вариант 1	Вариант 2
Кабель 1	$U_{РАСЧ}$, кВ	5,37	2,34
Кабель 2	$U_{РАСЧ}$, кВ	5,61	2,64

Анализ полученных результатов расчета напряжений помех показывает, что для варианта 2 значение напряжения помех снизилось по сравнению с вариантом 1 на 56 % для кабеля 1 и на 53 % для кабеля 2.

Метод позволяет оценить вероятность появления молнии, сила тока которой превысит заданный уровень защиты входных портов. Для этого нужно воспользоваться формулой (2).

$$I_{МОЛН} = I_{ИМП} \frac{U_{ДОП}}{U_{ПОМ}} = I_{ИМП} \frac{2 \cdot 10^3}{U_{ПОМ}}. \quad (2)$$

В табл. 4 приведены результаты расчета силы тока молнии $I_{МОЛН}$, при котором возникают недопустимые напряжения помех (более 2 кВ), способных нарушить нормальное функционирование оборудование связи:

Таблица 4 – Результаты расчета силы тока молнии, при котором возникают недопустимые напряжения помех

Объект испытания	Обозначение параметра	Значение параметров для различных вариантов присоединения ЗУ радиовышки к ЗУ ПС при $U_{ДОП} = 2 \text{ кВ}$	
		Вариант 1	Вариант 2
Кабель 1	$I_{МОЛН}$, кА	11,15	25,54
	$\gamma_{МОЛН}$, %	90	68,5
Кабель 2	$I_{МОЛН}$, кА	10,69	22,8
	$\gamma_{МОЛН}$, %	90,5	73

Анализ результатов расчета тока молнии, при котором возникают недопустимые напряжения помех, показывает:

– для варианта 1: Для кабеля 1 амплитуда тока молнии более 11,15 кА, а для кабеля 2 – более 10,69 кА. При этом вероятность появления таких молний составит 90 % и 90,5 % соответственно;

– для варианта 2: Для кабеля 1 амплитуда тока молнии более 25,54 кА, а для кабеля 2 – более 22,8 кА. При этом вероятность появления таких молний составит 68,5 % и 73 % соответственно.

Выводы

1. Экспериментально доказано эффективность разработанных методов определения каналов растекания тока молнии. Представлены результаты практического использования методов на стратегических объектах Украины.

2. Импульсный метод позволяет определить вероятность появления электромагнитных помех, уровень которых превышает заданный уровень устойчивости входных портов оборудования.

3. Резонансный метод позволяет определить долю тока молнии, которая будет протекать по тому или иному элементу гальванических связей объекта при ударе молнии в указанную точку.

4. Совокупность результатов, полученных этими методами, позволяет определить слабые места на объекте с точки зрения уровня устойчивости к действию факторов, сопровождающих молниевый разряд, и разработать рекомендации по повышению уровня устойчивости, в случае необходимости.

Результаты получены в рамках научно-исследовательской работы (ГР №0212U005986), которая выполняется по заказу Министерства образования и науки Украины в 2013-2014 годах.

Список литературы: 1. Випробування та контроль пристроїв заземлення електроустановок. Типова інструкція: СОУ 31.2-21677681-19:2009. – Офіц. вид. – К.: ГРІФРЕ: М-во палива та енергетики України, 2009. – 64 с. (Нормативний документ Мінпаливенерго України. Інструкція). 2. СТСЭ. Стійкість до дії грозових розрядів. Технічні вимоги та методи випробувань: ДСТУ 3681-98 (ГОСТ 30585-98) – [Чинний від 1999-07-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 1999. – 28 с. – (Міждержавний стандарт). 3. IEC 62305-1-10 Protection against lightning. – Part 1: General principles.

Поступила в редколлегию 25.10.2013

УДК 621.317.3

Определение степени влияния электромагнитных эффектов молнии на оборудование объектов энергетики / О. Ю. Глебов, В. В. Князев, Г. М. Колиушко // Вісник НТУ «ХП». Серія: Техніка та електрофізика високих напруг. – Х.: НТУ «ХП», 2013. – № 60 (1033). – С. 43-51. – Бібліогр.: 6 назв.

Розглянуто приклади використання двох розроблених методів для визначення каналів розтікання струму блискавки по гальванічних зв'язках на типових об'єктах. Доведена ефективність використання цих методів при прогнозуванні параметрів електромагнітних завод, що поступають на входи апаратури, при вірогідних ударах блискавки в елементи об'єкту.

Ключові слова: блискавка, блискавкоприймач, заземлюючий пристрій, гальванічний зв'язок, рівень стійкості.

The examples of the use of two worked out methods are considered for determination of channels of spreading of current of lightning on galvanic connections on model objects. Well-proven efficiency using of these methods for prognostication of parameters of the electromagnetic noise acting on the entrances of apparatus, at the credible shots of lightning in the elements of object.

Keywords: lightning, air terminal, grounding device, galvanic connection, level of immunity.