К зажиму для подключения измерительного прибора 2 подключают измерительные провода и проводят измерение. Контакт ППЗЭЛТ с грунтом обеспечивается за счет проникновения электролита в поры мерзлого или скалистого грунта.

Таким образом, применение ППЗЭЛТ в качестве измерительных электродов при измерении сопротивления заземления в районах вечной мерзлоты, скалистого или сухого грунтов позволит надежно обеспечить проведение измерительного контроля состояния заземляющих устройств, тем самым повысить безопасность обслуживающего электрооборудование персонала при его эксплуатации.

1. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). 7-е изд. СПб.: ДЕАН, 2002. - 176 с.
2. Приказ Министерства энергетики РФ от 13.01.2003 г. № 6 «Об утверждении Правил технической эксплуатации электроустановок Потребителей (ПТЭЭП)» (в ред. приказа Минэнерго России от 13.09.2018 г. № 757).
3. Карякин Р. Н. Нормы устройства сетей заземления/ Изд. 3-е. – М.: Энергосервис, 2002. - 235 с.
4. Энговатова В.В. Электробезопасность: учебное пособие/ В.В. Энговатова, В.И. Демин; ФГБОУ ВПО КубГТУ, кафедра «Безопасность жизнедеятельности». – Краснодар: Издательский Дом-Юг, 2015. – 104 с.
5. Демин В.И. О возможности достижения электролитического контакта заземляемого корпуса передвижной электроустановки с грунтом [Электронный ресурс] // Научные труды КубГТУ: электрон. сетевой политематич. журн. 2015. № 6. URL: <http://ntk.kubstu.ru/file/485>.
6. А.с. 1390670 СССР, МКИ Н 01 R 4/66. Способ эксплуатации пере-носного заземлителя/ Е.С. Есин, В.А. Петров, Н.Н. Сапига, Р.А. Ляпунов, В.И. Демин, А.С. Попов (СССР). - № 4096260; заявл. 05.08.86; опубл. 23.04.88. - 2 с.: ил.

Тихонов А.И.¹, Эрнст А.Д.¹, Соловьев А.А.², Левочкина Н.А.³

К вопросу эффективности практического использования скорректированной методики расчета молниеотводов высоковольтных подстанций

¹ФГБОУ ВО ОмГТУ

²ФГБОУ ВО СибаДИ

³ФГБОУ ВО «МГУТУ им. К. Г. Разумовского (ПКУ)»

(Россия, Омск)

doi: 10.18411/trnio-10-2021-76

Аннотация

Приведены результаты опыта практического использования скорректированной и разработанной в ОмГТУ компьютерной программы расчета молниеотводов силовых подстанций взамен устаревшей программы расчета по методике Акопяна. Эта программа широко используется при выполнении лабораторных работ, домашних заданий и дипломных проектов. Сделаны выводы о целесообразности ее применения в качестве официальных инструктивных положений, рекомендуемых, например, в «Инструкции по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций» [1].

Ключевые слова: молниезащита подстанции, стержневой молниеотвод, прямые удары молнии.

Abstract

The results of the experience of practical use of the corrected and developed in OmSTU computer program for calculating lightning rods of power substations instead of the outdated calculation program according to the Hakobyan method are presented. This program is widely used when performing laboratory work, homework and diploma projects. Conclusions are drawn about the expediency of its application as official instructional provisions recommended, for example, in the "Instructions for lightning protection of buildings, structures and industrial communications" [1].

Keywords: substation lightning protection, rod lightning conductor, direct lightning strikes.

Молниезащита любой высоковольтной подстанции, как городского и промышленного электроснабжения, так и тяговой подстанции всех видов электротранспорта, должна иметь очень высокую надежность, поскольку выход из строя любой из них приведет к большому социальному и экономическому ущербу. К примеру, весьма ответственные тяговые высоковольтные подстанции Транссибирской магистрали (Транссиба) России, питающие электрический грузовой и пассажирский локомотивы, на протяжении 9288,2 км имеют 66 участков, из которых на постоянном токе 4 участка (1,5 кВ) и 25 участков (3 кВ), а также 37 участков – на переменном токе (25 кВ) [3]. Любая из этих подстанций в результате прямого удара молнии может выйти из строя, что приведет к непредвиденной остановке поезда и срыву его графика работы. Поэтому защита таких подстанций от прямых ударов молнии является крайне актуальной задачей.

Основным способом защиты любой силовой подстанции от прямых ударов молнии обычно является установка на ее территории стержневых молниеотводов, устанавливаемых на различных конструкциях такой подстанции: порталах, опорах высоковольтной линии, прожекторных мачтах, закрытых распределительных устройствах (ЗРУ) и т.д. [4]. При этом эффективность молниеотвода определяется его зоной защиты – пространством вокруг него, в котором объект защищен от прямых ударов молнии с определенной степенью надежности. Защищаемый объект не поражается молнией, если он полностью входит в зону молниеотвода.

Методики расчета молниеотводов в СССР и России изменялись и корректировались неоднократно. По мнению многих специалистов, наиболее удачной явилась методика, предложенная Всесоюзным электротехническим институтом имени В.И. Ленина (ВЭИ) на основе исследований, проведенных в 1936-1940 гг. А.А. Акопяном, которая вошла в «Руководящие указания по расчету зон защиты стержневых и тросовых молниеотводов» [4].

Согласно этой методике зона защиты одиночного молниеотвода представляет из себя «шатер», в котором находящийся на границе этой зоны h_x объект считается защищенным с вероятностью $P \sim 0,999$, рис. 1.

Рисунок 1. Зона защиты одиночного молниеотвода

Границы внешней зоны двойного молниеотвода аналогичны одиночному (рис. 2) при этом граница зоны защиты между молниеотводами (в вертикальном сечении) определяется окружностью радиуса R , проходящей через вершины молниеотводов и точку, расположенную посередине между молниеотводами на высоте

$$h_c = h - a/7,$$

где a - расстояние между молниеотводами, м.

Рисунок 2. Зоны защиты двойного молниеотвода

На рис. 3 согласно этой же методике показаны зоны защиты трех (а) и четырех (б) молниеотводов в горизонтальном сечении.

Рисунок 3. Зоны защиты трех (а): 1-2-3 и четырех (б): 1-2-3-4 молниеотводов на высоте h_x

Внешняя часть зоны защиты трех молниеотводов рис. 3а определяется так же, как и зона защиты двух молниеотводов. А условие защищенности всей остальной площади, ограниченной треугольником, выражается соотношением $h_a \geq D/8$, где D – диаметр окружности, проведенной через три молниеотвода, h_a – активная зона защиты.

Для четырех молниеотводов рис. 3б, лежащих в вершинах прямоугольника, при проверке защищенности всей площади на уровне h_x нужно брать диагональ D .

При расчете таких молниезащит площадь подстанции разбивается на треугольники или четырехугольники и определяется высота молниеотводов по формулам Акопяна:

$$h_{1,2,3} = h_0 + D/8 \quad \text{и} \quad h_{1,2,3,4} = h_0 + D/8, \quad (1)$$

где h_0 – это самый высокий объект в треугольнике или четырехугольнике.

Долгие годы эта методика была основной для расчета зон защиты молниеотводов станций и подстанций вследствие удобства расчетов, так как она позволяет по высоте защищаемого объекта сразу определять высоты 3-4 соседних молниеотводов. Однако, в дальнейшем в результате многократных наблюдений за ударами молнии в реальных условиях появились сомнения в результатах, полученных А.А. Акопяном на моделях: видеозаписи показали, что удар молнии не всегда бьет в вершину молниеотвода.

Поэтому В 60-е годы энергетическим институтом имени Г.М. Кржижановского (ЭНИН) предложена упрощенная методика построения зон защиты одиночного молниеотвода, в которой шатер заменен отрезками двух прямых (рис. 4) и учтено, что вершина молниеотвода не защищена, а зона защиты молниеотвода высотой до 150 м представляет собой круговой конус высотой $h_0 < h$. Эта методика рекомендуется в новой “Инструкции по устройству молниезащиты зданий и сооружений РД 34.21.122. - 87” [5].

Далее, в 1999 году вышло “Руководство по защите электрических сетей 6-1150 кВ от грозных и внутренних перенапряжений”, где рекомендуется распространить “Инструкцию...” [5] на расчет молниезащиты станций и подстанций. Причем станции и подстанции до 750 кВ следует защищать молниеотводами с зоной типа А, а напряжением 750 кВ и выше - зоной типа Б.

Рисунок 4. Упрощенная методика построения зоны защиты одиночного молниеотвода

В дальнейшем эта методика была отредактирована и в 2003 году приказом Минэнерго России утверждена новая «Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций» [1], в которой зон А и Б уже нет и которая содержит формулы расчета для одного и двух молниеотводов различных зданий и сооружений для разных надежностей, но с какой надежностью следует защищать подстанции - не дано (лишь сказано, что надежность защиты «должна быть согласована с органами государственного контроля»). В инструкции также сказано, что «при разработке молниезащиты в случаях, когда требования отраслевых нормативных документов являются более жесткими, чем в настоящей Инструкции, то рекомендуется выполнять отраслевые требования». Более того, в ней отсутствуют формулы для 3 и 4 молниеотводов. Поэтому пока этой инструкцией воспользоваться сложно.

Поэтому на кафедре «Электроснабжение промышленных предприятий» ОмГТУ решено на основании расчета и эксперимента дополнить новую методику формулами для 3 и 4 молниеотводов, аналогичными формулам Акопяна (1) только в новых формулах должен стоять другой коэффициент: K , а не 8.

Расчеты и их анализ показали, что коэффициент K в этой методике не является постоянным и зависит от многих факторов. Особенно он сильно влияет на величину вероятности защиты, что очень важно. Существенное влияние на величину K также оказывают размеры защищаемой площади.

Поэтому было решено найти значение K для конкретной задачи, в качестве которой была выбрана молниезащита типовых подстанций 110/ 6-10 кВ и 35/6-10 кВ, при этом расчеты показали, что значение K для расчета типовых подстанций 110/6-10 кВ и 35/6-10 кВ можно принять равным 7.

$$h_{1,2,3} = h_c + D/7 \quad \text{и} \quad h_{1,2,3,4} = h_c + D/7 \quad (2)$$

Как показали расчеты, молниеотводы будут получаться примерно на 5% выше, чем по методике Акопяна. Это вызвано тем, что у новой методики h_c (рис. 4,б) для двух молниеотводов немного меньше, чем по методике Акопяна.

Расчетные данные были проверены экспериментально, при этом расчетные и экспериментальные данные хорошо совпадали. Результаты проверки изложены в [2].

Выводы.

Скорректированная методика расчета молниеотводов высоковольтных подстанций, выполненная на кафедре «Электроснабжение промышленных предприятий» ОмГТУ, удобна как для ручного расчета, так и для составления программы на ЭВМ.

Ее эффективность состоит в том, что она является наиболее универсальной как для выполнении лабораторных работ, домашних заданий и дипломных проектов в ВУЗе, так и для рекомендации ее включения в нормативные документы по защите высоковольтных подстанций различного назначения, так как тщательно выполненные расчеты показывают, что зоны защиты молниеотводов по старой и новой методикам существенно различаются.

1. Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций.- М.: Изд-во НИЦ ЭНАС, 2004. – 48 с.
2. Шкаруба М. В., Соловьев А. А., Тихонов А. И., Эрнст А. Д. Развитие методики расчета подстанций высоковольтных линий от прямых ударов молнии // Вестник Сибирского отделения Академии военных наук № 47 - Омск: СО АВН, 2018.-153 с - С. 147-152.
3. Электрификация Транссиба. [Электронный ресурс] - URL: <http://www.transsib.ru/cat-electric.htm>.
4. Руководящие указания по расчету зон защиты стержневых и тросовых молниеотводов. – М.: СЦНТИ., 1974. - 19 с.
5. Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений. РД 34.21.12г. - 87 / Минэнерго СССР. - М.: Энергоатомиздат, 1989. - 56 с.