

С. В. КИПРИЧ, НТУ «ХПИ»;

Д. Г. КОЛИУШКО, канд. техн. наук, ст. науч. сотр., НТУ «ХПИ»;

А. А. ПЕТКОВ, канд. техн. наук, ст. науч. сотр., НТУ «ХПИ»

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ЗОНЫ ЗАЩИТЫ НАКЛОННОГО ТРОСОВОГО МОЛНИЕОТВОДА МЕТОДОМ КОНЦЕВЫХ ТОЧЕК

У роботі наведено розрахунок зони захисту нахиленого тросового блискавководу за допомогою методу кінцевих точок.

Inclined lightning conductor protection zone calculation by the instrumentality of the ending points method is represented in this paper.

Постановка проблеми. Повсеместное применение микропроцессорной техники, как в быту, так и на производстве, приводит к увеличению негативных последствий от ударов молнии, так как устройства на ее базе, как правило, достаточно дорогие и более чувствительны как к прямым ударам, так и вторичным проявлениям. Поэтому требования по защите объектов от ударов молнии ужесточаются (что отражено во введенном в 2009 году новом нормативном документе в области молниезащиты), а, следовательно, и ее устройством удорожается, так как для защиты одного и того же объекта по более жестким нормам, потребуется больше затрат (например, применение молниеотводов большей высоты, горизонтальных поясов и т.п.). В то же время на крупных объектах электроэнергетики (например, атомных электрических станциях) и промышленности при наличии большого числа молниеотводов (стержневых и тросовых), предназначенных для молниезащиты составляющих частей объектов, применяются такие типы молниеотводов и их сочетания, описание зон которых отсутствует в нормативных документах, регламентирующих устройство молниезащиты (тросовый молниеотвод с различной высотой подвеса троса на опорах, разновысокий стержневой молниеотвод и т.п.). Кроме того, неровный рельеф местности, на которой расположены объекты, также приводит к появлению различных «нерегламентированных» сочетаний молниеотводов. Для эффективного применения защитных свойств существующих молниеотводов возникает необходимость дополнить нормативную базу в части расчета параметров зон защиты молниеотводов, теми типами (видами) молниеотводов, которые могут встречаться на различных объектах.

Анализ публикаций. В настоящее время основным нормативным документом Украины в области молниезащиты является ДСТУ Б В.2.5-38:2008 (далее – ДСТУ) [1], который вступил в действие с 01-01-2009. В нем отсутствует описание зоны защиты одиночного тросового молниеотвода с различной высотой подвеса троса на опорах (далее – наклонного тросового молниеотвода). Вместе с тем, данный тип молниеотводов широко распространен на элек-

тросэнергообъектах различного класса напряжения. Для анализа молниезащитности подобных объектов в [1] рекомендуется использовать программное обеспечение, позволяющее вычислять зоны защиты при произвольном расположении практически любого числа молниеотводов разных типов. Однако отсутствие математического описания не дает в полной мере учесть некоторые виды существующих молниеотводов и их комбинации. В [2] был представлен расчет зоны защиты двойного разновысокого стержневого молниеотвода (описание зоны защиты которого также не дано в ДСТУ) с применением метода конечных точек [3], сущность которого состоит в определении координат конечных точек фигур и радиусов дуг окружностей, составляющих замкнутую линию границы зоны защиты на заданных высотах анализа.

Целью настоящей работы является расчет параметров зоны защиты наклонного тросового молниеотвода (НТМО) методом конечных точек.

Материалы и результаты исследований. Поверхность зоны защиты наклонного тросового молниеотвода (НТМО) имеет сложный рельеф. Поэтому для создания математической модели зоны защиты целесообразно применить метод конечных точек.

При построении торцевых областей зоны защиты НТМО будем использовать соотношения, приведенные в ДСТУ для одиночного тросового молниеотвода. Внутренняя область зоны защиты (между опорами НТМО) представляет собой двускатную поверхность, которая соединяет между собой торцевые области. Пример построения зоны защиты НТМО приведен на рис. 1.

Размеры торцевых областей зоны защиты у 1 и 2 опоры (h_{01} , R_{01} и h_{02} , R_{02}) определяются по табл. 1 [1].

Таблица 1 – Размеры торцевых областей зоны

Надежность защиты, P_z	Высота молниеотвода h , м	Высота конуса h_0 , м	Радиус конуса R_0 , м
0,9	от 0 до 150	$0,87h$	$1,5h$
	от 0 до 30	$0,8h$	$0,95h$
0,99	от 30 до 100	$0,8h$	$[0,95 - 7,14 \cdot 10^{-4}(h - 30)]h$
	от 100 до 150	$0,8h$	$[0,9 - 1 \cdot 10^{-3}(h - 100)]h$
0,999	от 0 до 30	$0,75h$	$0,7h$
	от 30 до 100	$[0,75 - 4,28 \cdot 10^{-4}(h - 30)]h$	$[0,7 - 1,43 \cdot 10^{-3}(h - 30)]h$
	от 100 до 150	$[0,72 - 1 \cdot 10^{-3}(h - 100)]h$	$[0,6 - 1 \cdot 10^{-3}(h - 100)]h$

Для построения границ зоны защиты на различных высотах анализа необходимо определить координаты конечных точек фигур, составляющих зону защиты и радиусы конусов торцевых областей. При анализе зоны защиты НТМО были выведены формулы для определения координат конечных точек (см. рис. 1) на характерных высотах анализа, которые приведены в табл. 2.

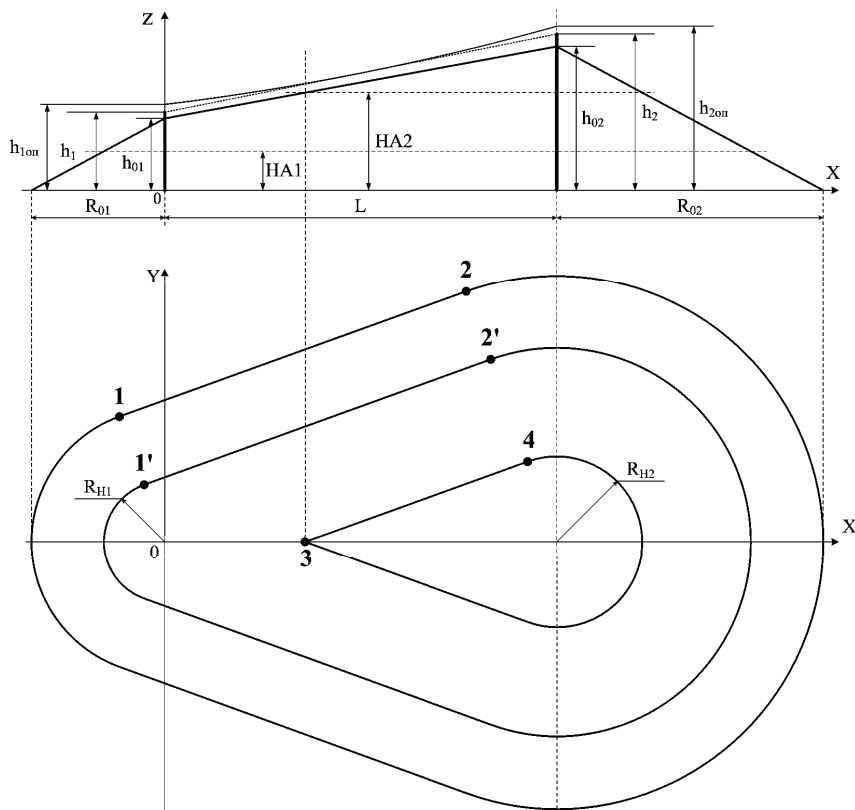


Рисунок 1 – Зона защиты наклонного тросового молниеотвода и ее границы на трех характерных уровнях анализа (HA1, HA2 и уровне грунта):

$h_{1оп}$ – высота подвеса троса на 1 опоре;

$h_{2оп}$ – высота подвеса троса на 2 опоре, причем принято $h_{1оп} < h_{2оп}$;

h_1, h_2 – высоты подвеса троса с учетом провеса на 1 и 2 опоре соответственно;

L – проекция длины троса на горизонтальную ось;

h_{01}, R_{01} и h_{02}, R_{02} – размеры торцевых областей зоны защиты у 1 и 2 опоры соответственно;

R_{H1}, R_{H2} – радиусы конусов торцевых областей на соответствующих уровнях анализа;

1, 2, 3, 4 – характерные концевые точки на различных уровнях анализа

В табл. 2 принято:

$$R_{H1} = \frac{R_{01}}{h_{01}} (h_{01} - HA) ; \quad (1)$$

$$R_{H2} = \frac{R_{02}}{h_{02}} (h_{02} - HA) . \quad (2)$$

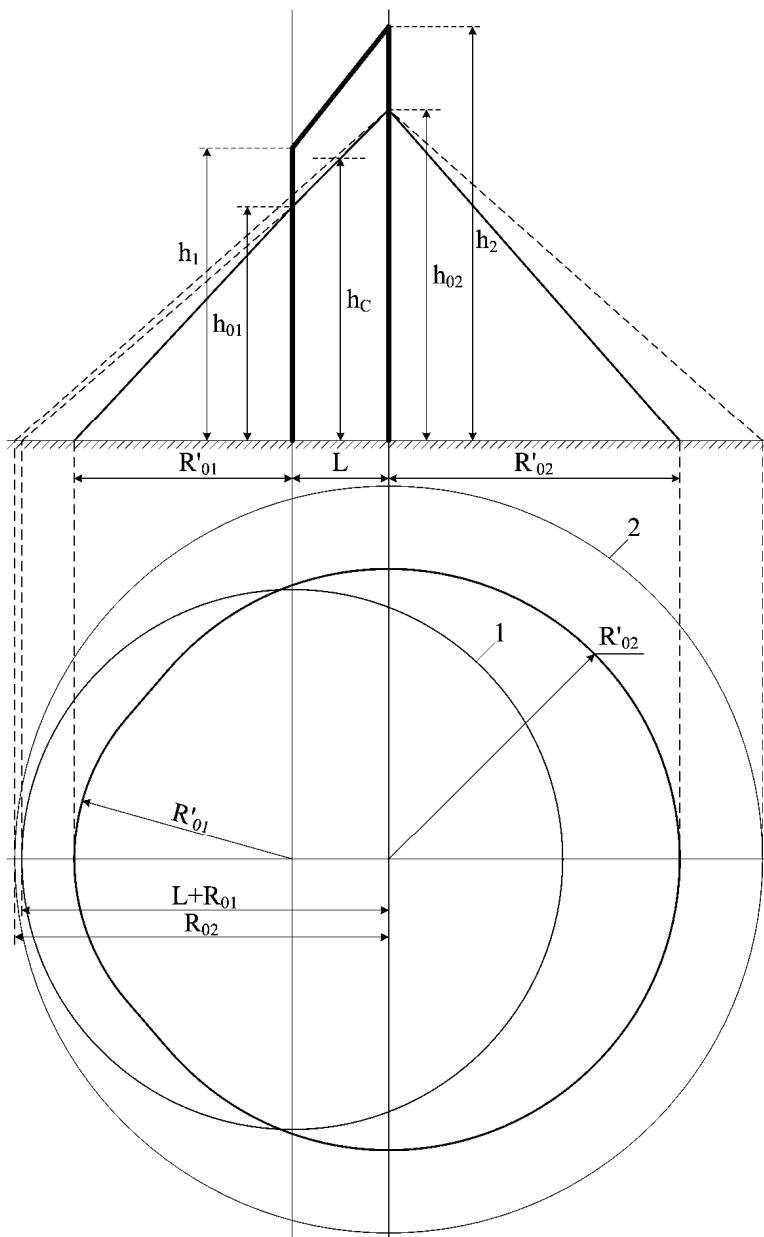


Рисунок 2 – Зона защиты НТМО (при отсутствии провиса троса, $h_1 = h_{1оп}$; $h_2 = h_{2оп}$ при выполнении условия $R_{02} \geq (L + R_{01})$)

При определенном сочетании исходных данных зона защиты НТМО может вырождаться либо в зону защиты двойного разновысокого стержневого молниеотвода (ДРВСМО), либо в зону защиты одиночного стержневого молниеотвода (ОСМО).

На рис. 2 показан случай вырождения НТМО в ДРВСМО. Вырождение происходит вследствие того, что построить внутреннюю область зоны защиты не представляется возможным из-за размещения малой торцевой области (1) внутри большой торцевой области (2).

Проверка условий вырождения приведена на рис. 3.

Таблица 2 – Формулы для определения координат конечных точек

№ точки	Координата X	Координата Y
1, 1'	$-\frac{R_{H1}(R_{H2} - R_{H1})}{L}$	$\frac{R_{H1}\sqrt{L^2 - (R_{H2} - R_{H1})^2}}{L}$
2, 2'	$L - \frac{R_{H2}(R_{H2} - R_{H1})}{L}$	$\frac{R_{H2}\sqrt{L^2 - (R_{H2} - R_{H1})^2}}{L}$
3	$\frac{L(HA - h_{01})}{h_{02} - h_{01}}$	0
4	$L - \frac{R_{H2}^2(h_{02} - h_{01})}{L(h_{02} - HA)}$	$\sqrt{R_{H2}^2 - \frac{R_{H2}^4(h_{02} - h_{01})^2}{L^2(h_{02} - HA)^2}}$

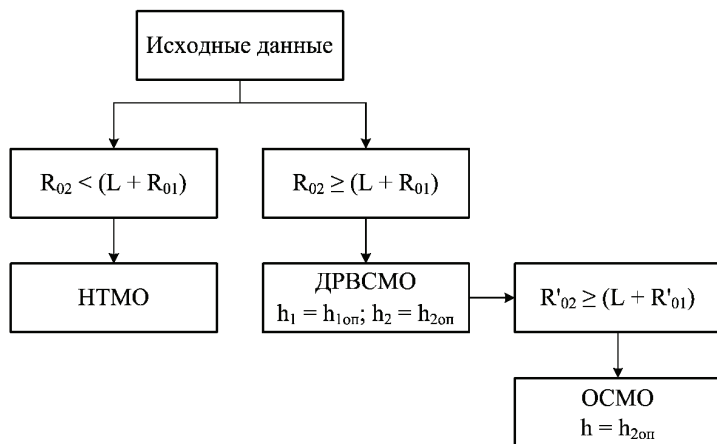


Рисунок 3 – Проверка условий вырождения НТМО в ДРВСМО или ОСМО

Таким образом, при выполнении вышеизложенных условий трос теряет свою функцию и зона защиты образуется только за счет опор, на которых он подвешен.

Для графического отображения результатов расчета с целью проверки правильности выведенных соотношений была создана программа в приложении Microsoft Excel с использованием Visual Basic for Applications.

На рис. 4 показано рабочее окно разработанной программы для определения параметров зоны защиты наклонного тросового молниеотвода (для надежности защиты $p_z = 0,9$, при высотах подвеса тросов на опорах $h_1 = 25$ м и $h_2 = 40$ м с учетом провиса, а также расстоянием между опорами $L = 50$ м), а также графического отображения габаритов зоны защиты и ее границ на заданных уровнях анализа НА (0; 12 и 25 м).

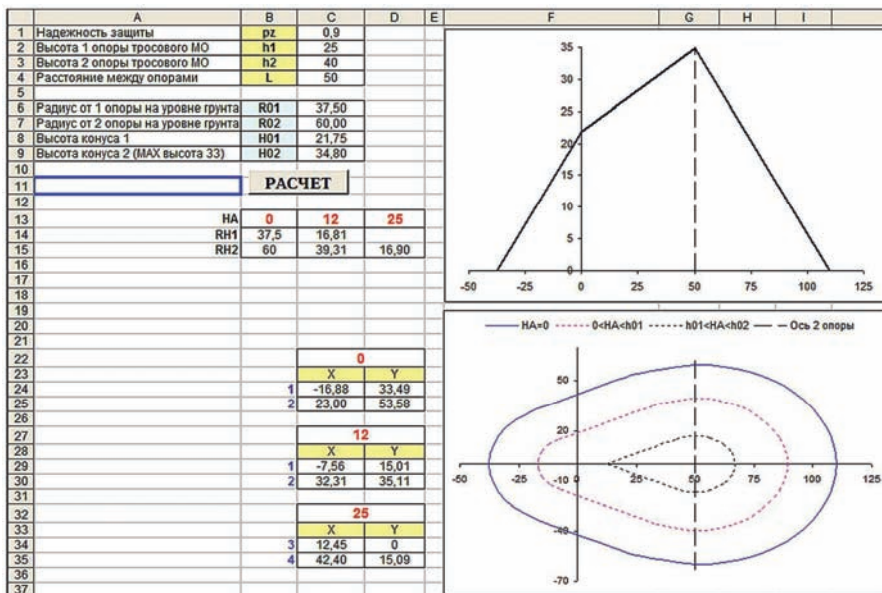


Рисунок 4 – Интерфейс программы расчета параметров зоны защиты наклонного тросового молниеотвода и границы зоны защиты на заданных уровнях анализа

В ячейках C1 – C4 вводятся исходные данные, правильность задания которых контролируется специальным блоком.

В ячейки C6 – C9 программа выдает габаритные размеры зоны защиты.

В ячейки B13– D13 задаются высоты, для которых хотим получить границы зоны защиты (срезы).

В ячейках C24-25 – B24-25, C29-30 – B29-30 и C34-35 – B34-35 выдаются значения координат конечных точек, а радиусы дуг окружностей в ячейках B14-15 – D14-15 для соответствующих анализируемых высот. По этим данным автоматически строится два рисунка: сечение по продольной оси зоны защиты НТМО с заданными параметрами и границы зоны защиты НТМО на заданных высотах – уровнях анализа.

Ячейка A11 предназначена для выдачи информации для пользователя. В

данной ячейке могут появляться сообщения о некорректном задании исходных данных либо вывод о вырождении зоны защиты НТМО заданных параметров в зону защиты другого вида, например, в зону защиты ДРВСМО, как показано на рис. 5.

	A	B	C
1	Надежность защиты	pz	0,999
2	Высота 1 опоры тросового МО	h1	74
3	Высота 2 опоры тросового МО	h2	140
4	Расстояние между опорами	L	21
5			
6	Радиус от 1 опоры на уровне грунта	R01	39,74
7	Радиус от 2 опоры на уровне грунта	R02	58,80
8	Высота конуса 1	H01	49,48
9	Высота конуса 2 (МАХ высота 33)	H02	85,40
10			
11	ДРВСМО	РАСЧЕТ	

Рисунок 5 – Результаты работы программы при вырождении НТМО в ДРВСМО

Выводы.

1. Создано математическое описание зоны защиты наклонного тросового молниеотвода.
2. Определены условия, при которых НТМО вырождается либо в ДРВСМО, либо в одиночный стержневой молниеотвод.
3. Разработана компьютерная программа для расчета параметров и графического представления формы зоны защиты НТМО, содержащая блок контроля исходных данных.

Список литературы: 1. Улаштування блискавкозахисту будівель і споруд (IEC 62305:2006, NEQ) : ДСТУ Б В.2.5-38:2008. – [Чинний від 2009–01–01]. – К. : Мінеріонбуд України, 2008. – 48 с. – (Національний стандарт України). 2. Кирпич С. В. Применение метода конечных точек для построения зоны защиты двойного разновысокого стержневого молниеотвода / С. В. Кирпич, Г. М. Колушко, Д. Г. Колушко, А. А. Петков // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». Збірник наукових праць. Тематичний випуск : Техніка і електрофізика високих напруг. – Харків : НТУ «ХПІ», 2009. – № 39. – С. 69-78. 3. Кирпич С. В. Методика анализа молниезащищенности объектов при сложном рельефе поверхности зоны защиты / С. В. Кирпич, А. А. Петков, Д. Г. Колушко // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». Збірник наукових праць. Тематичний випуск : Техніка і електрофізика високих напруг. – Харків : НТУ «ХПІ», 2008. – № 21. – С. 66-78.

Поступила в редколлегию 14.03.2011.