

С. 67-71. **16.** Золотарев В.М. Оценка электрической напряженности токопроводящей жилы в ионизированном газе // Труды 12-й международной научно-технической конференции «Физические и компьютерные технологии». Харьков: ХНПК «ФЭД», 2006. – С. 241-245. **17.** Золотарев В.М., Карпушенко В.П., Бузько С.В. Моделирование переходов при волочении фасонных профилей // Вестник НТУ «ХПИ». – 2006. – Вып. 7. – С. 6-11. **18.** Науменко А.А., Золотарев В.М. Метод определения диагональных элементов матриц, соответствующих ядрам интегральных уравнений. Фредгольма для расчета плоскопараллельных безвихревых полей различной физической природы // Вестник НТУ «ХПИ». – № 37. – 2006. – С. 149-155. **19.** Золотарев В.М., Карпушенко В.П., Науменко А.А., Бузько С.В. Определение силовых параметров волочения в условиях кабельного предприятия // Труды 11-й международной конференции ИСЭЕЕ, ч. 1. – М.: Технический университет «МЭИ». – С. 52-54. **20.** Золотарев В.М. и др. Диэлектрические потери в движущейся кабельной изоляции // Труды 11-й междуна. конф. ИСЭЕЕ. – М.: МЭП. – 2006, 4.1. – С. 54-55. **21.** Золотарев В.М., Карпушенко В.П., Науменко А.А., Бузько С.В. Математическая модель электрической напряженности изолированных жил силовых кабелей // Труды 12-й междуна. научно-техн. конф. «Физические и компьютерные технологии». – Харьков: ХНПК «ФЭД», 2006. – С. 239-240. **22.** Золотарев В.М., Карпушенко В.П., Науменко А.А., Золотарев В.В. Физические процессы, приводящие к транспорту электрических зарядов слем диэлектрика на проводящей подложке // Вестник НТУ «ХПИ». – 2005. – Вып. 42. – С. 3-15. **23.** Золотарев В.В., Карпушенко В.П., Науменко О.А., Золотарев В.М. Основні закономірності роботи похилої екструзійної лінії для виготовлення силових кабелів на напругу до 330 кВ та їх заводських випробувань // Вісник НТУ «ХПИ». – 2008. – № 44. – С. 44-52. **24.** Золотарев В.М., Карпушенко В.П., Науменко А.А. Предельные значения коэффициента заполнения для скрученных круглых неплетенных жил кабелей, проводов и шнуров // Труды междуна. симпозиума ЭЛМАШ-2006 «Перспективы и тенденции развития электротехнического оборудования». Т. 2. – М.: Интерэлектромаш. – 2006. – С. 190-192. **25.** Золотарев В.М., Антонец Ю.А., Золотарев В.В. Самонесущие изолированные провода: особенности конструкции и перспективы развития производства в Украине // Вестник НТУ «ХПИ». – 2006. – Вып. 34. – С. 12-17. **26.** Золотарев В.М., Обозный А.Л. Новые отечественные разработки в области силовых кабелей // Вестник НТУ «ХПИ». – 2006. – Вып. 34. – С. 129-132. **27.** Карпушенко В.П., Золотарев В.М., Науменко А.А., Золотарев В.В. Отечественные разработки кабелей среднего, высокого и сверхвысокого напряжений // Вестник НТУ «ХПИ». – 2007. – № 20. – С. 87-95. **28.** Патент на винахід № 60284, Україна, МПК 7 Н01 В9/02. Кабель силовий пожегобезпечний (Золотарев В.М. та ін.; заявник та патентовласник ЗАТ завод «Південкабель», заявл. 30.07.03, опубл. 26.05.08, Бюл. № 10. **29.** Патент на винахід № 60285, Україна, МПК 7 Н01 В9/02. Кабель силовий пожегобезпечний (Золотарев В.М. та ін.; заявник та патентовласник ЗАТ завод «Південкабель», заявл. 30.07.03, опубл. 10.12.08, Бюл. № 23. **30.** Патент на винахід № 60266, Україна, МПК 7 Н01 В9/02. Кабель силовий екранований і водозахищений (Золотарев В.М. та ін.; заявник та патентовласник ЗАТ завод «Південкабель», заявл. 30.07.03, опубл. 10.01.08, Бюл. № 1. **31.** Золотарев В.В., Карпушенко В.П., Золотарев В.М., Науменко А.А. Распределение стационарного электрического поля в цилиндрическом неидеальном диэлектрике // Электротехника и электромеханика. – 2008. – № 4. – С. 65-69. **32.** Набока Б.Г., Лактионов С.В., Золотарев В.М., Антонец Ю.А., Карпушенко В.П. Поле концевой муфты для подключения кабеля к установке измерения ЧР // Вестник НТУ «ХПИ». – 2006. – Вып. 34. – С. 60-66. **33.** Набора Б.Г., Гурин А.Г., Золотарев В.М., Нечаус А.А. Обоснование допустимых режимов эксплуатации резонансных установок для диагностики кабелей // Вестник НТУ «ХПИ». – 2005. – № 42. – С. 86-93. **34.** Золотарев В.М., Карпушенко В.П., Кривенко А.Ф., Золотарев В.В., Науменко А.А. Энергосберегающие схемы испытаний кабелей с полиэтиленовой изоляцией // Вестник НТУ «ХПИ». – 2008. – № 21. – С. 55-66. **35.** Золотарев В.М., Обозный Л.А. Перспективы развития силовых кабелей в электроэнергетике Украины // Энергетика та електрифікація. – 2007. – № 9. – С. 33-36. **36.** Костенко М.П., Пиотровский Л.М. Электрические машины. Ч. 1. – М.: Л.: Госэнергоиздат, 1958. – 464 с.

Поступила в редколлегию 11.08.2009

УДК 621.373

Н.Н.ИГНАТЕНКО, канд.техн.наук, зав.сектором, НТУ «ХПИ»

ВЫБОР ДЛИНЫ ВОЗДУШНЫХ ПРОМЕЖУТКОВ РАЗРЯДНИКОВ ЗАМКЯТЕЛЕЙ НАГРУЗКИ В КРОУБАР-ГЕНЕРАТОРАХ ИМПУЛЬСНОГО ТОКА МОЛНИИ

Запропоновано метод розрахунку в високоефективних генераторах великих імпульсних струмів блискавки (ГВІСБ) довжини робочих проміжків некерованих повітряних стержневих розрядників замикачів RL-навантаження. Показано, що спрацювання вказаних некерованих розрядників кроубар-замикачів відбувається в момент часу, близький до моменту досягнення струмом в RL-навантаженні свого максимального значення. При цьому у навантаженні формується імпульс струму блискавки, амплітудно-часові параметри (АЧП) якого відповідають вимогам ГОСТ 30585-98.

Method of calculation of length of working gaps of uncontrolled air rod dischargers of RL-load closers in high-efficiency generators of high pulsed currents of lightning (GHPCL) has been proposed. It was shown that operation of above-mentioned uncontrolled dischargers of crowbar-closers occurs in the moment of time which is close to the moment when the current in RL-load reaches its maximal value. During this, lightning current pulse is formed in the load that (pulse) has amplitude-time parameters (ATP) that conform to the requirements of All-Union state standard GOST 30585-98.

Введение. Для получения больших импульсных аperiodических токов в ТВН достаточно часто применяются генераторы с использованием кроубар-замыкателей нагрузки [1]. В разрядной цепи таких классических генераторов применяют управляемые вакуумные разрядники замыкателей RL-нагрузки, которые, благодаря использованию мощных генераторов поджигающих импульсов (ГВПИ), срабатывают в момент достижения током в нагрузке своего максимального значения [2]. Разработанные в последнее время генераторы больших импульсных токов молнии (ГБИТМ) содержат рационально выбранные корректирующие емкости $C_{к1} = C_{к2}$, два замыкателя нагрузки с неуправляемыми воздушными (атмосферного давления) стержневыми разрядниками замыкателями RL-нагрузки. Указанные генераторы тока молнии позволяют отказаться от применения мощных ГВПИ и достаточно стабильно работают при рабочих напряжениях емкостных накопителей энергии (ЕНЭ) до напряжений 1,9 МВ [3-5]. К основным трудностям, возникающим при проектировании и эксплуатации высоковольтных генераторов ГБИТМ, следует отнести рациональный выбор длины воздушных промежутков неуправляемых воздушных разрядников кроубар-замыкателей нагрузки. Необходимо отметить, что для достижения высокого коэффициента полезного действия (КПД) генератора указанные разрядники кроубар-замыкателей должны срабатывать в момент времени, близкий к моменту достижения током в нагрузке ГБИТМ своего максимального значения.

Таким образом, **цель работы** состоит в рациональном выборе длины воздушных зазоров неуправляемых стержневых разрядников кроубар-

замыкателей нагрузки для всего диапазона рабочих напряжений ГБИТМ.

Материалы и результаты исследований. Схема замещения разработанного генератора ГБИТМ с применением неуправляемых воздушных стержневых разрядников замыкателей нагрузки приведена на рис. 1. При срабатывании разрядника P_1 ЕНЭ разряжается на нагрузку и цепи замыкателей нагрузки. При этом форму напряжения $u_p(t)$, действующего на разрядники P_2 и P_3 до момента их электрического пробоя, можно представить в виде:

$$u_p(t) = B_1 U_0 \cos(a_1 t) - B_2 U_0 \cos(b_1 t), \quad (1)$$

где

$$B_1 = \frac{L_n L_{k1} (c_1^2 - a_1^2) \cdot (2L_n + L_{31} + L_{k1})^{-1}}{\left[L_r + \frac{L_n \cdot (L_{31} + L_{k1})}{2L_n + L_{31} + L_{k1}} \right] (b_1^2 - a_1^2)}; \quad B_2 = \frac{L_n L_{k1} \cdot (c_1^2 - b_1^2) \cdot (2L_n + L_{31} + L_{k1})^{-1}}{\left[L_2 + \frac{L_n \cdot (L_{31} + L_{k1})}{2L_n + L_{31} + L_{k1}} \right] (b_1^2 - a_1^2)};$$

a_1, b_1 – собственные круговые частоты колебаний в ГБИТМ [6]; U_0 – рабочее напряжение ЕНЭ в исследуемом генераторе тока молнии.

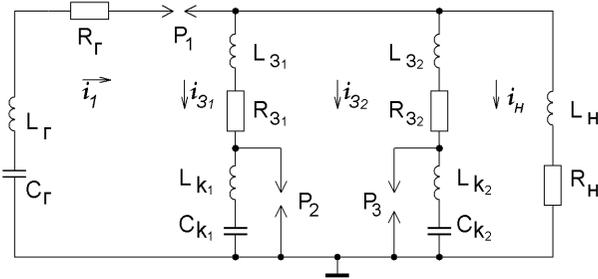


Рисунок 1 – Схема замещения генератора ГБИТМ с двумя замыкателями нагрузки и двумя корректирующими емкостями

Для определения длины воздушных промежутков неуправляемых разрядников P_2 и P_3 замыкателей нагрузки в ГБИТМ (рис. 1) воспользуемся методом «равных площадей» [7,8]. Указанный метод позволяет определить площади $A_{2n} = A_{3n}$ вольт-секундных характеристик (ВСХ) напряжения $u_p(t)$ при электрическом пробое рабочих зазоров воздушных неуправляемых разрядников P_2 и P_3 замыкателей RL-нагрузки в ГБИТМ. Выражение для определения площадей ВСХ представим в следующем виде [7, 8]:

$$A_{2n} = A_{3n} = \int_{t_1}^{t_c} [u_p(t) - U_1] dt, \quad (2)$$

где U_1 – амплитуда импульсного напряжения $u_p(t)$, при которой в воздушных зазорах неуправляемых стержневых разрядников P_2 и P_3 замыкателей RL-нагрузки ГБИТМ появляются эффективные электроны, вызывающие начало развития стримера; t_1 – время, соответствующее амплитудному значению

напряжения U_1 ; t_c – время, при котором происходит резкий спад (срез) импульсного напряжения $u_p(t)$.

В [7] было показано, что величину U_1 можно определить как амплитудное значение напряжения пробоя стержневых разрядных промежутков длиной $S_{2n} = S_{3n}$ при воздействии на них постоянного напряжения или напряжения промышленной частоты. Амплитуду напряжения пробоя U_1 стержневых разрядников P_2 и P_3 в ГБИТМ при воздействии напряжения промышленной частоты находим из приближенного соотношения [9]:

$$U_1 \approx 5 + \kappa_E^{-1} S_{2n}, \quad (3)$$

где U_1 – амплитуда напряжения пробоя, кВ; $S_{2n} = S_{3n}$ – длина воздушных стержневых промежутков, см; $\kappa_E = 0,19$ см/кВ.

Используя выражения (1) и (3), запишем приближенное соотношение для определения времени t_1 , при котором в воздушных зазорах разрядников P_2 и P_3 замыкателей нагрузки ГБИТМ появляются эффективные электроны:

$$t_1 \approx \sqrt{\frac{2(U_1 \cdot U_0^{-1} - B_1 + B_2)}{B_2 b_1^2 - B_1 a_1^2}}. \quad (4)$$

Графический анализ расчетных и экспериментальных кривых напряжения $u_p(t)$, полученных при срабатывании неуправляемых воздушных стержневых разрядников P_2 и P_3 замыкателей RL-нагрузки в ГБИТМ (рис. 1), показывает, что с увеличением рабочего напряжения ЕНЭ U_0 растет амплитуда напряжения U_1 . При этом отношение амплитудных значений U_1/U_0 практически не изменяется, а время t_1 , согласно (3), изменяется настолько незначительно, что его изменением можно пренебречь. Приведенное выше утверждение и анализ выражения (4) позволяет заключить, что время t_1 появления эффективных электронов в воздушных разрядных промежутках разрядников P_2 и P_3 ГБИТМ может быть принято постоянным. Численные значения времени t_1 можно определить с помощью графического анализа экспериментальных кривых для импульсного напряжения $u_p(t)$, полученных при срабатывании разрядников P_2 и P_3 в ГБИТМ (рис. 1), или применив выражение (4).

Если длины разрядных промежутков неуправляемых воздушных разрядников P_2 и P_3 замыкателей RL-нагрузки в ГБИТМ выбраны таким образом, что при изменении рабочего напряжения U_0 в ЕНЭ время среза t_c не изменяется, а момент времени t_1 остается постоянным, то для электродной системы «стержень-стержень» можно записать следующее соотношение [8]:

$$\frac{A_{21}}{S_{21}} = \frac{A_{22}}{S_{22}} = \mathbf{K} = \frac{A_{2n}}{S_{2n}} = \text{const}, \quad (5)$$

где $A_{21} = A_{31}, A_{22} = A_{32}, \dots, A_{2n} = A_{3n}$ – площади ВСХ, соответствующие амплитуде напряжения $u_p(t)$ и длинам $S_{21} = S_{31}, S_{22} = S_{32}, \dots, S_{2n} = S_{3n}$ воздушных промежутков неуправляемых стержневых разрядников P_2 и P_3 замыкателей нагрузки.

Используя (2), представим приближенное соотношение для определения

площадей ВСХ напряжения $u_p(t)$ в виде:

$$A_{2n} = A_{3n} \approx U_0 \left[\frac{B_1}{a_1} (\sin a_1 t_c - \sin a_1 t_1) - \frac{B_2}{b_1} (\sin b_1 t_c - \sin b_1 t_1) \right] - \Delta t (5 + \kappa_E^{-1} S_{2n}), \quad (6)$$

где $\Delta t = t_c - t_1$.

На основании (5) и (6) запишем выражение для определения длины $S_{2n} = S_{3n}$ разрядных промежутков неуправляемых воздушных разрядников P_2 и P_3 замыкателей RL-нагрузки в ГБИТМ (рис.1) в следующем виде:

$$S_{2n} = S_{3n} \approx \frac{U_0 S_{21} \left[\frac{B_1}{a_1} (\sin a_1 t_c - \sin a_1 t_1) - \frac{B_2}{b_1} (\sin b_1 t_c - \sin b_1 t_1) \right] - 5 \Delta t S_{21}}{A_{21} + \kappa_E^{-1} \Delta t S_{21}}. \quad (7)$$

Проведем расчет длины разрядных промежутков неуправляемых воздушных стержневых разрядников P_2 и P_3 в ГБИТМ (рис. 1), в состав которого входит генератор импульсных напряжений ГИН-3. Зная электрические параметры схемы замещения исследуемого генератора токов молнии, определим значения круговых частот и коэффициентов B_1 и B_2 [6]. При указанных электрических параметрах рассматриваемого ГБИТМ круговые частоты имеют значения $a_1 = 0,4927 \cdot 10^6 \text{ с}^{-1}$ и $b_1 = 1,2962 \cdot 10^6 \text{ с}^{-1}$, а коэффициенты в выражении (1) будут соответственно равны: $B_1 = 0,31$ и $B_2 = 0,26$. Задав значения $U_0 = 700 \text{ кВ}$ и $t_1 = 0,85 \text{ мкс}$ из соотношения (4), находим амплитуду напряжения U_1 , которая в данном случае будет приблизительно равна $U_1 \approx 125 \text{ кВ}$. Используя (3), находим, что длина разрядных промежутков $S_{21} = S_{31}$ будет приблизительно равна $S_{21} = S_{31} = 22,86 \text{ см}$. Положив время среза t_c равным $t_c \approx 3,7 \text{ мкс}$, из выражения (7) определим длину разрядных промежутков $S_{22} = S_{32}$ в ГБИТМ при рабочем напряжении ГИН-3 равном $U_0 = 750 \text{ кВ}$. Согласно полученным расчетным данным длины разрядных промежутков в этом случае будет равна $S_{22} = S_{32} \approx 24,45 \text{ см}$. При этом численное значение площади ВСХ будет приблизительно равно $A_{22} = A_{31} \approx 167,27 \text{ кВ} \cdot \text{мкс}$. Отношение площади ВСХ к длине $S_{22} = S_{32} = 24,45 \text{ см}$ воздушных разрядных промежутков разрядников кроубар-замыкателей составит величину, приблизительно равную $A_{21}/S_{21} = A_{31}/S_{31} \approx 6,84 \text{ кВ} \cdot \text{мкс}/\text{см}$, что хорошо согласуется с данными, приведенными в [8].

Для проверки полученных расчетных данных на экспериментальной базе НИПКИ «Молния» НТУ «ХПИ» были проведены соответствующие высоковольтные исследования. В состав экспериментального генератора ГБИТМ входили: ГИН-3 ($C_2 \approx 0,08 \text{ мкФ}$, $L_n \approx 35 \text{ мкГн}$, $R_2 \approx 2 \text{ Ом}$), два замыкателя нагрузки с двумя корректирующими емкостями ($R_{31} \approx R_{32} \approx 0,1 \text{ Ом}$; $L_{31} \approx L_{32} \approx 5 \text{ мкГн}$; $L_{\kappa 1} \approx L_{\kappa 2} \approx 5 \text{ мкГн}$; $C_{\kappa 1} \approx C_{\kappa 2} \approx 20,83 \text{ нФ}$) и RL-нагрузка ($R_n \approx 0,1 \text{ Ом}$, $L_n \approx 14 \text{ мкГн}$). На рис. 2 приведена экспериментальная кривая напряжения $u_p(t)$, измеренного на разрядниках замыкателей нагрузки P_2 и P_3 в ГБИТМ. Согласно рис. 2 при рабочем напряжении $U_0 = 750 \text{ кВ}$ импульсное напряжение $u_p(t)$ достигает своего амплитудного значения $U_{pm} = 270 \text{ кВ}$ при $t_{pm} \approx 2 \text{ мкс}$. При этом

неуправляемые воздушные стержневые разрядники замыкателей нагрузки P_2 и P_3 генератора тока молнии работали стабильно и имели длину рабочих зазоров $S_{22} = S_{32} = 24,5 \text{ см}$.

Задавая значение рабочего напряжения U_0 генератора ГИН-3, с помощью (7) проведем расчет длины разрядных промежутков неуправляемых воздушных стержневых разрядников P_2 и P_3 замыкателей нагрузки в исследуемом генераторе. Полученные результаты расчетов и экспериментальные значения длины промежутков $S_{2n} = S_{3n}$, представим в таблице. Сравнение показывает, что результаты расчета и эксперимента хорошо совпадают. Это позволяет применять приведенные расчетные соотношения при проектировании и эксплуатации мощных генераторов ГБИТМ мегавольтного диапазона.

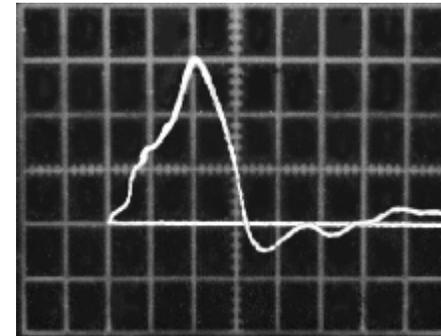


Рисунок 2 – Экспериментальная кривая напряжения $u_p(t)$ при срабатывании в ГБИТМ неуправляемых воздушных стержневых разрядников P_2 и P_3 замыкателей нагрузки ГБИТМ (масштаб по амплитуде – 90кВ/дел; масштаб по времени – 1мкс/дел; $\kappa_{дел} = 18000$)

Таблица 1 – Расчетная и экспериментальная длина разрядных промежутков разрядников P_2 и P_3 замыкателей RL-нагрузки в генераторе ГБИТМ

Рабочее напряжение ГИН-3 U_0 , кВ	Расчетная длина промежутков $S_{2n} = S_{3n}$, см	Экспериментальная длина промежутков $S_{2n} = S_{3n}$, см	Ток в RL-нагрузке I_{nm} , кА
750	24,45	24,5	37
1000	32,94	33	50
1300	42,93	43,5	65
1600	52,97	54	80
1900	63,1	64	94

Выводы. Теоретически и экспериментально установлено, что в разработанных генераторах ГБИТМ могут быть применены неуправляемые воздушные стержневые разрядники замыкателей RL-нагрузки. При этом длины разрядных промежутков разрядников кроубар-замыкателей в ГБИТМ имеют линейную

зависимость от амплитудного значения импульсного напряжения $u_p(t)$ и рабочего напряжения U_0 генератора. Показано, что приведенные расчетные соотношения можно применять при практических разработках мощных высоковольтных генераторов тока молнии и эксплуатации существующих ГБИТМ.

Список литературы: 1. Кнопфель Г. Сверхсильные импульсные магнитные поля. – М.: Мир, 1972. – 391 с. 2. Техника больших импульсных токов и магнитных полей / Под ред. В.С.Комелькова. – М.: Атомиздат, 1970. – 472 с. 3. Патент України №6279, МКІ НОЗКЗ/53. Генератор імпульсних струмів // Баранов М.І., Ігнатенко М.М., Колобовський А.К. – Опубл. Бюл. № 5, 16.05.2005. – 4 с. 4. Патент України №15714, МКІ НОЗКЗ/53. Генератор великих імпульсних струмів блискавки // Баранов М.І., Ігнатенко М.М. – Опубл. Бюл. № 7, 17.07.2006. – 4 с. 5. Баранов М.І., Ігнатенко Н.Н. Повышение энергетической эффективности разрядных цепей генераторов больших импульсных токов с мощными емкостными накопителями энергии // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Техніка та електрофізика високих напруг. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2009. – № 49. – С. 3-14. 6. Ігнатенко Н.Н. Расчет переходных процессов в генераторах тока молнии с замыкателями нагрузки // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Техніка та електрофізика високих напруг. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2009. – № 11. – С. 38-45. 7. Кремнев В.В., Месяц Г.А. Методы умножения и трансформации импульсов в сильноточной электронике. – Новосибирск: Наука, 1987. – 226 с. 8. Техника высоких напряжений: теоретические и практические основы применения: Пер. с нем. / М.Бейер, В.Бек, К.Меллер, В.Цаенгль; Под ред. В.П.Ларионова. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 555 с. 9. Техника высоких напряжений / Под ред. Л.И.Сиротинского. Часть первая – М.-Л.: Госэнергоиздат, 1951. – 292с.

Поступила в редколлегию 08.09.2009

УДК 621.316.9

С.В.КИПРИЧ, млад.науч.сотр., НТУ «ХПИ»;
Г.М.КОЛИУШКО, канд.техн.наук, ст.науч.сотр., НТУ «ХПИ»;
Д.Г.КОЛИУШКО, канд.техн.наук, ст.науч.сотр., НТУ «ХПИ»;
А.А.ПЕТКОВ, канд.техн.наук, ст.науч.сотр., НТУ «ХПИ»

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА КОНЦЕВЫХ ТОЧЕК ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ЗОНЫ ЗАЩИТЫ ДВОЙНОГО РАЗНОВЫСОКОГО СТЕРЖНЕВОГО МОЛНИЕОТВОДА

У роботі наведено математичну модель розрахунку зони захисту подвійного різновисокого стрижневого блискавководу. Показана ефективність методики кінцевих точок на прикладі зони захисту подвійного різновисокого стрижневого блискавководу за допомогою Visual Basic for Applications.

The mathematical model of the two different height lightning-rods protection zone calculation is represented in this paper. Efficiency of the ending points method is shown by example of the two different height lightning-rods protection zone with used of the Visual Basic for Applications.

Постановка проблемы. В настоящее время в связи с возросшей грозовой

активностью актуальной является задача обеспечения молниезащищенности различных объектов как промышленного, так и бытового назначения. Рост стоимости оборудования, а также его низкая помехозащищенность, связанная с применением микропроцессорной техники, еще более обостряют проблему надежной защиты объектов от поражения молнией. Для решения задачи молниезащищенности применяются различные виды молниеотводов и их сочетания. Одним из часто используемых типов молниеотводов является двойной разнорысокий стержневой молниеотвод (ДРМ), который широко применяется при защите объектов электроэнергетики и промышленности: электрических подстанциях различного класса напряжения, атомных электростанциях, нефтеперекачивающих станциях и т.д. Изменение в Украине нормативной базы и тенденция к компьютеризации процесса проектирования молниезащиты вызывает необходимость дальнейших разработок по расчету зон защиты ДРМ.

Анализ публикаций. В Украине до 2009 года основным нормативным документом, который регламентировал методику построения зон защиты большинства встречающихся на практике типов молниеотводов, являлся [1] (далее – РД). Согласно ему два стержневых молниеотвода разной высоты, но не превышающей 150 м, образуют зону защиты, представленную на рис. 1, которая состоит из торцевых областей, ограниченных коническими поверхностями и внутренней области со сложным рельефом поверхности. Причем габаритные размеры торцевых областей зоны защиты определяются по соотношениям для одиночных стержневых молниеотводов, а габаритные размеры ее внутренней области определяются по формулам:

$$R_C = (R_{01} + R_{02})/2; \quad (1)$$

$$h_C = (h_{C1} + h_{C2})/2; \quad (2)$$

$$R_{CH} = R_C \frac{h_C - h_A}{h_C}. \quad (3)$$