

КУПРИЕНКО В.М., д-р техн. наук, доцент

«23 ГМПИ – филиал АО «31 ГПИСС», Санкт-Петербург

Совершенствование норм по проектированию молниезащиты зданий, сооружений и энергетических объектов

Возвышающиеся над поверхностью земли здания и сооружения искажают напряженность электрического поля грозового облака относительно поверхности земли, что создает предпосылки для их поражения разрядом молнии. Мировая практика защиты зданий, сооружений и энергетических объектов (в том числе высоковольтных подстанций) от прямого удара молнии базируется на применении традиционных средств защиты, а именно:

- отдельно стоящих стержневых и тросовых молниеотводов (МО);
- стержневых и тросовых МО, устанавливаемых непосредственно на объекте;
- молниезащитной сетки, устанавливаемой на кровле здания.

В России и зарубежом предпринимаются попытки изобретать и внедрять на практике нетрадиционные средства молниезащиты (МЗ), в том числе активные молниеотводы (АМ), молниеотводы с радиационной и лазерной подсветкой и т.д. Несмотря на мощную рекламу инновационные молниеотводы не получили широкого применения ни для защиты сооружений, ни для объектов электроэнергетики.

Исследования, по сравнительной оценке, эффективности защиты активного молниеотвода типа М-200 (АМ) и пассивного молниеотвода (ПМ) на импульсах напряжения положительной и отрицательной полярности в полевых условиях и длинных искровых промежутках показали, что, количество разрядов в активный и пассивный молниеотводы разделялись примерно поровну [1]. Очевидно, что аналогичный результат будет и при испытании АМ других производителей, например, «Forend-EU», «Pulcar» и др.

Несмотря на это ООО «Электра», г. Екатеринбург, являясь официальным дилером одного из производителей АМ, инициировала и активно продвигает принятие межгосударственно стандарта ГОСТ 34696-2020 «Системы молниезащиты с опережающей эмиссией стримера». Что может серьезно нарушить баланс использования более дешёвых традиционных молниеотводов.

Следует отметить, что на рынок также активно продвигается новый вид молниеотвода типа SMCE Sertec, антипода АМ. Принцип действия нового инновационного устройства защиты зданий и сооружений от прямого удара молнии, основан на компенсации электроатмосферных воздействий при приближении грозового фронта препятствующей, по мнению авторов, формированию лидерного канала молнии (принцип «отталкивания») и его завершению в некотором объеме за радиусом защиты r_x . При этом радиус зоны защиты r_x громоотвода SMCE сравним по своим размерам с радиусом зоны защиты r_x , определяемом разработчиками АМ (до 120м при аналогичной высоте его установки). Преимуществом инновационного устройства типа SMCE Sertec считается то, что ток молнии в завершающей стадии не протекает по громоотводу, установленному на здании, не сопровождается вторичными эффектами, создающими наводки и не представляет опасности для людей. Однако убедительного экспериментального подтверждения эффективности инновационного устройства авторы не приводят.

Таким образом на данном этапе в результате исследований не выявлено очевидного преимущества АМ или громоотвода SMCE перед традиционными молниеотводами. Поэтому новый нормативный документ (предпочтительно в статусе ГОСТ РФ) по проектированию молниезащиты зданий, сооружений и энергетических

объектов должен быть ориентирован на применение традиционных средств защиты, которые на порядок дешевле, чем инновационные устройства.

Защита объектов стержневыми и тросовыми молниеотводами основана на преимущественном перехвате канала разряда молнии и отводе тока в землю. Для перехвата разряда молнии с высокой степенью вероятности молниеотвод должен значительно возвышаться над объектом, а его вершина создавать напряженность электрического поля, существенно превышающую напряженность электрического поля на объекте.

Несмотря на строгое соответствие проектных решений действующим нормам по МЗ удары молнии продолжают наносить огромный ущерб объектам промышленности, электроэнергетики, гражданской и военной инфраструктуры. Надо признать, что существующие в РФ методы и компьютерные программы расчета внешней МЗ стержневыми и тросовыми молниеотводами все еще не удовлетворяют требованиям практики.

Возросшие требования к защите объектов различного назначения от прямого удара молнии (ПУМ) и ее вторичных проявлений, привели к необходимости критической оценки действующих отечественных и зарубежных нормативных документов, регламентирующих проектирование МЗ с заданным уровнем надежности [2,3,4]. При всем различии глубины проработки нормативных документов их основу составляет методика расчета и выбора параметров стержневых и тросовых молниеотводов с использованием эмпирических формул, угла защиты или метода катящейся сферы, обеспечивающих требуемую надежность МЗ. Базовым элементом различных методик является зона защиты одиночного стержневого (тросового) молниеотвода высотой h_m , которая представляет собой круговой конус радиус защиты r_x которого на высоте объекта h_x определяет уровень надежности МЗ.

Сравнительный анализ методик расчета параметров молниезащиты применяемых в различных нормативных документах

Существует достаточно широкая номенклатура нормативных документов по проектированию МЗ. В каждом из них приведены методики расчета параметров зон защиты, высоты и расстановки молниеотводов, которые отличаются друг от друга и при расчете МЗ однотипных объектов дают различные результаты.

При проектировании средств МЗ в России руководствуются следующими базовыми НД – РД 34.21.122-87 (далее РД) [2] и СО-153-34.21.122-2003 (далее СО) [3]. Также широко применяется международный стандарт МЭК 62305-2007 (далее МЭК) [4], который не имеет в РФ юридического статуса.

На базе РД разработан ряд ведомственных НД, например, для Газпрома, РЖД и др., которые методически ничем не отличаются от базовых Норм. Из ведомственных НД выделяется ВСП 22-02-07/МО РФ [5], который разработан по результатам крупномасштабных испытаний, проведенных в 26 ЦНИИ МО РФ в период с 2000 по 2007г.г., а заложенная в нем методика отличается от всех предыдущих НД.

По методике, приведенной в РД и СО зоны защиты типовых молниеотводов определяются по эмпирическим формулам, исходя из их полной высоты h_m относительно поверхности земли, в которую вписывается объект молниезащиты без учета влияния его формы и размера на вероятность перехвата разряда молнии. Определение параметров молниеотводов, в зону защиты которых может быть помещено здание, производится путем перебора их высоты и расстановки на плане объекта. При этом ширина зоны защиты r_x двойных стержневых молниеотводов (следовательно, и многократных молниеотводов), определяемая по данным методикам, представляется необоснованно завышенной. Отсутствует сопутствующее программное обеспечение, позволяющее, например, в

программе Автокад производить проектирование МЗ крупных объектов со сложной инфраструктурой, в том числе энергетических.

В МЭК расчёты зон защиты проводятся методом защитного угла α , методом катящейся сферы (МКС) и методом защитной сетки с учетом формы и размеров защищаемого объекта. Зона защиты одиночного и двойного стержневого МО (a , следовательно, и размеры внутренней области многократных стержневых МО) определяется исходя из высоты их активной части h_a , возвышающейся над защищаемым объектом и радиусом сферы обката R , который характеризует уровень надежности молниезащиты.

Однако применение метода катящейся сферы для оценки защищенности объектов многократными стержневыми молниеотводами обоснованно ставится под сомнение [6]. Положение МЭК о том, что с уменьшением высоты активной части МО уровень надежности МЗ сохраняется, также не нашло экспериментального подтверждения [7].

По методике, изложенной в ВСП 22-02-07/МО РФ [5] зона защиты стержневых молниеотводов, как и в МЭК, определяется исходя из высоты их активной h_a , части, возвышающейся над защищаемым объектом и радиуса безопасности r_x от молниеотвода до наиболее удаленной точки защищаемого объекта на его высоте h_x отношение, которых характеризуется углом защиты α° ($h_a/r_x = tg\alpha$). Кроме того, угол защиты α° в значительной степени зависит от размеров защищаемого здания ВСП 22-02-07/МО РФ [5]

В таблице 1 приведены данные, по сравнительной оценке, влияния высоты активной части h_a стержневых МО на уровень надежности, определенный по методике МЭК [4] и по результатам экспериментальных исследований, которые положены в основу методики ВСП 22-02-07/МО РФ [5].

Таблица 1 Сравнительная оценка влияния высоты активной части h_a стержневых МО на уровень надежности определенной по методике МЭК и в эксперименте

№ п/п	Объект защиты	Метод	$h_a, м$	1 стержневой МО		2х стержневой МО	
				α_1°	R_n	α_2°	R_n
	1	2	3	4	5	6	7
1	стержень $h_x = 10 м$	МЭК	8 – 2,5	50 – 70	0,99		
2		эксперимент		30 – 45	0,99-0,45		
3	Здание 10*10*10м	МЭК	15 – 5	34 – 60	0,99		
4		эксперимент		32 – 72	0,99-0,45		
5	Здание 10*10*10м	МЭК	11 – 2,5			$R=20 м$	0,99
6		эксперимент				45 – 77	0,99-0,45
7	Здание 40*40*40м	МЭК	28 – 10			$R=20 м$	0,99
8		эксперимент				40 – 72	0,99-0,45

Из анализа данных, приведенных в таблице 1 видно, что при снижении высоты активной части h_a стержневых МО (поз 3 табл.1) углы защиты α_1° и α_2° увеличиваются (поз 4,6 табл.1), но при этом уровень надежности МЗ по МЭК остается неизменным и равным $R_n = 0,99$, а согласно экспериментальным данным он уменьшается вслед за снижением высоты h_a активной части МО (поз 5,7 табл.1).

Предпосылки для переработки норм по защите от ПУМ

Предпосылками для переработки действующих Норм по молниезащите является накопленный за последние десятилетия опыт проектирования и эксплуатации средств защиты от ПУМ и ее вторичных проявлений, введение в действие международных норм,

прежде всего МЭК 62305 ч.1-5, и результаты экспериментальных исследований, выполненные за последние 20 лет [7,8,9,10,11].

Экспериментально получены новые данные о предельном расстоянии L_{max} между двойными и многократными стержневыми молниеотводами с учетом взаимного влияния активной части стержневых молниеотводов, а также формы и размеров защищаемого объекта, которое позволяет установить границу, когда МО рассматриваются, как одиночные [8]. Предельное расстояние между двумя стержневыми МО L_{max} при различной форме объекта и уровне защиты изменяется в широких пределах, например для I уровня защиты от $L_{max}^I=1,3h_a$ (для объекта в плане в форме квадрата) и до $L_{max}^0=2,86h_a$ (для объекта в плане в форме линии), что необходимо учитывать при проектировании МЗ с использованием стержневых молниеотводов.

Анализ результатов исследований [9], по сравнительной оценке, размеров зон защиты стержневых МО по разным НД показали их значительное (до 2х раз) расхождение (таблица 2), что и обусловило необходимость разработки единого подхода к расчету и выбору параметров молниеотводов. Такой подход может быть основан на определении радиуса защиты r_x стержневых и тросовых МО с учетом их взаимного влияния друг на друга, высоты активной части h_a , возвышающейся над защищаемым объектом, отношение которых характеризуется углом защиты α° ($h_a/r_x = tg\alpha$). Угол защиты α° определяется по результатам экспериментальных исследований с учетом взаимного влияния двойных и многократных стержневых молниеотводов. Таким образом, зона защиты каждого объекта индивидуальна, а понятие типовых зон защиты молниеотводов теряет смысл.

Таблица 2. Предельное расстояние L_{max} между двумя стержневыми молниеотводами при одинаковой высоте h_a активной части МО и уровне защиты P_n , рассчитанное по различным НД.

Уровень защиты	P_n	РД	СО	МЭК	Эксперимент ВСП 22-02-07/МО РФ
		L_{max}	L_{max}	L_{max}	L_{max}
	1	2	3	4	5
I	0,99	$4 h_a$	$4,75 h_a$	$2,0 h_a$	$2,86 h_a$
II	0,95	-	-	$3,0 h_a$	$3,46 h_a$
III	0,9	$6 h_a$	$5,75 h_a$	$4,5 h_a$	$4,5 h_a$

В результате крупномасштабных экспериментов по исследованию надежности защиты P_n объектов от ПУМ, выполненных в «23 ГМП И – филиал АО «31 ГПИСС» были определены соотношения между радиусом защиты r_x стержневых и тросовых МО с учетом их взаимного влияния друг на друга, высотой активной части h_a молниеотводов, возвышающихся над объектом и величиной образованного ей угла защиты α , а также формой и размерами защищаемого объекта. В таблице 3 приведены полученные экспериментально соотношения между радиусом защиты r_x отдельно стоящих стержневых МО, высотой их активной части h_a и углом защиты α° , определяющих предельное расстояние L_{max}^I между многократными стержневыми молниеотводами, и, соответственно, размеры их внутренней зоны защиты на высоте объекта h_x .

Таблица 3. Радиус защиты r_x стержневых МО, угол защиты α° и предельное расстояние L_{max}^I между многократными стержневыми молниеотводами определяющее размер их внутренней зоны защиты на высоте объекта h_x в зависимости от высоты их активной части h_a ,

уровень защиты	P_n	Одиночный стержневой МО		2х стержневой МО (внутренняя область)			3х стержневой МО (внутренняя область)			4х стержневой МО (внутренняя область)		
		r_x^2	α_1°	r_x^2	α_2°	L_{max}^2	$r_x^3 = D_3/2$	α_3°	L_{max}^3	$r_x^4 = D_4/2$	α_4°	L_{max}^4

I	0,99	0,58 h _a	30	0,84 h _a	40	1,3 h _a	1,43 h _a	56	2,62 h _a	1,43 h _a	56	2,1 h _a
II	0,95	0,78 h _a	38	1,04 h _a	46	1,6 h _a	1,73 h _a	60	2,9 h _a	1,73 h _a	60	2,45 h _a
III	0,9	1,04 h _a	46	1,28 h _a	52	2,0 h _a	2,75 h _a	70	3,89 h _a	2,75 h _a	70	3,9 h _a

Примечание: D₃ диаметр окружности, соединяющий вершины 3х стержневых МО, D₄ - 4х стержневых МО при их установке в плане в виде прямоугольника.

Данные, приведенные в таблице 3 получены для минимального тока молнии (3-5кА), при котором наблюдается максимальная поражаемость защищаемого объекта при его защите стержневыми МО. При увеличении амплитуды тока разряда молнии надежность молниезащиты P_n будет возрастать за счет формирования встречного лидера с вершины стержневого МО, что при необходимости, может быть учтено введением соответствующих поправочных коэффициентов.

Однако при проектировании молниезащиты любого объекта с заданной надежностью P_n важен весь спектр возможной амплитуды тока молнии, кроме специально оговоренных случаев в которых допускается снижение расчетной надежности молниезащиты P_n при больших токах молнии.

Анализ результатов исследования, приведенных в таблице 3, позволил сформулировать основные положения по защите объектов стержневыми МО безотносительно высоты ориентировки и радиуса стягивания молнии (концепция защиты):

– радиус защиты одиночного стержневого МО на высоте объекта h_x равен $r^1_x = h_x \operatorname{tg} \alpha_1$ где угол защиты α_1 применим к одиночному стержню для объекта площадью не более 100м² и находится в пределах $\alpha_1 = 25-30^\circ$ для 1 категории МЗ (P_n =0,99). Для объектов большей площади следует использовать как минимум два стержневых МО;

– внутренняя область двойного стержневой МО имеет радиус защиты $r^2_x = h_x \operatorname{tg} \alpha_2$, где угол защиты α_2 применим для сооружений площадью не более 1500м² и находится в пределах $\alpha_2 = 40-55^\circ$ для 1 категории МЗ (P_n =0,99). Угол защиты $\alpha_2 = 40^\circ$ соответствует защите объекта в форме квадрата, а угол защиты $\alpha_2 = 55^\circ$ соответствует линии, соединяющей два стержневых МО с предельным радиусом защиты, равным $r^2_x = L^2_{\max} / 2$ [8]. Внешняя область защиты определяется радиусом защиты r^1_x одиночного стержневого МО на высоте объекта h_x. Для объектов бо́льшей площади следует применять 3х или 4х стержневые МО;

– внутренняя область тройного стержневого МО имеет радиус защиты $r^3_x = D_3/2 = h_x \operatorname{tg} \alpha_3$, где угол защиты α_3 применим сооружений площадью не более 2000м² и равен $\alpha_3 = 55^\circ$ для 1 категории МЗ (P_n =0,99). Внешняя область определяется радиусом защиты r^1_x одиночного и радиусом защиты r^2_x двойного стержневого МО на высоте объекта h_x.

– внутренняя область четырех стержневых МО имеет радиус защиты $r^4_x = D_4/2 = h_x \operatorname{tg} \alpha_4$, где угол защиты α_4 применим сооружений площадью не более 2500м² и равен $\alpha_4 = 55^\circ$ для 1 категории МЗ (P_n =0,99). Внешняя область определяется радиусом защиты r^1_x одиночного и радиусом защиты r^2_x двойных стержневых МО на высоте объекта h_x.

Для объектов площадью более 2500м² следует применять дополнительные стержневые МО, формирующие внутреннюю область новых 3х или 4х стержневых МО.

Аналогичным образом определяются радиусы защиты $r^1_x - r^4_x$ для объектов 2 и 3 категорий МЗ (P_n =0,95 и 0,9) с соответствующей величиной углов защиты $\alpha_1 - \alpha_4$, приведенных в таблице 3

Следует отметить, что диаметры окружности $D_3=2r^3_x$ и $D_4=2r^4_x$ соединяющие 3х и 4х стержневые МО остаются неизменным в пределах заданного уровня защиты при уменьшении вплоть до нуля одной из сторон треугольника или ширины b прямоугольника, если величина угла защиты α_3 и α_4 остается неизменной. При уменьшении этих размеров расстояние L^3_{max} и L^4_{max} увеличивается, сохраняя неизменными диаметры D_3 и D_4 , а при нулевом значении этих сторон 3х и 4х стержневые МО сливаются в линию, соединяющую два стержневых МО с предельным расстоянием L^2_{max} и углом защиты $\alpha_2=55^\circ, 60^\circ, 70^\circ$ для 1, 2 и 3 уровней защиты соответственно. Сохранение постоянства диаметров D_3 и D_4 при изменении размеров внутренней области 3х и 4х стержневых МО и заданном уровне защиты аналогично обкатыванию по МЭК внутренней области 3х и 4х стержневых МО сферой соответствующего радиуса, с той лишь разницей, что обкатывание проводится без учета взаимного влияния друг на друга многократных стержневых МО и угол защиты α увеличивается с уменьшением высоты их активной части h_a .

Результаты исследований, приведенные выше, могут быть использованы для разработки методики расчета молниезащиты при проектировании зданий и сооружений любой конфигурации, высотой до 20м отдельно стоящими стержневыми и тросовыми МО, а также для объектов, высотой до 60м при установке МО на кровле объекта. Это положение согласуется с данными МЭК, где высота МО и защищаемого объекта ограничены 60м.

В РД и СО допускается применение стержневых МО высотой до 150м при уровне защиты $P_n=0,99$, что приводит к сооружению отдельно стоящих стержневых МО высотой с телевизионную башню и увеличению вероятности их поражаемости при приближении грозового фронта. Это не вписывается в концепцию проектирования типовых решений по МЗ зданий и сооружений, на которые преимущественно рассчитаны НД. Защита от ПУМ высоких зданий и сооружений должна выполняться по индивидуальным проектам при надлежащем обосновании и оценке степени риска в зависимости от их назначения.

Расчет защиты от ПУМ сложных инфраструктурных объектов должен выполняться с использованием программного комплекса, который позволяет рассчитать параметры МО и заземлителей, обеспечивающих заданный уровень МЗ входящих в него отдельных зданий, сооружений и инженерных коммуникаций и вероятность поражения объекта в целом. При этом индивидуальная МЗ зданий и сооружений может быть рассчитана по предлагаемой методике, основанной на использовании угла защиты.

Новый нормативный документ по молниезащите должен иметь статус межотраслевого стандарта (ГОСТ) и содержать, как и МЭК 62305 несколько частей в совокупности обеспечивающих решение задачи по защите объектов различного назначения от прямых ударов молнии и ее вторичных проявлений, описание методов и средства, испытания на стойкость к воздействию ПУМ и, при необходимости, программное обеспечение расчета надежности молниезащиты сложных инфраструктурных объектов.

Заключение

1. При расчете размера зон защиты объектов с использованием многократных стержневых молниеотводов по методикам, приведенным в различных нормативных документах, результаты могут отличаться в два и более раза. Проектирование защиты объектов от ПУМ по не согласованным методикам приводит к увеличению вероятности их поражения. Ситуация также осложняется внедрением на объектах радиоэлектронного оборудования и микропроцессорной техники, чувствительных к проявлению вторичных факторов разряда молнии.

2. Необходима безотлагательная переработка российских норм по молниезащите, их корреляция между собой и с международными нормами, использованием положительного опыта ведомственных нормативных документов и обязательным приложением современного лицензированного программного обеспечения,

позволяющего в программе АвтоКад проектировать молниезащиту сложных инфраструктурных объектов, в том числе трансформаторных подстанций, с учетом современных требований по электромагнитной совместимости.

Литература

1. Куприенко В.М., Акомелков Г.А., Романцов В.Н., Орехов Н.М., Хлебников А.И. Методика и результаты испытаний защитного действия активного молниеотвода: Известия Академии Наук. Энергетика, №3-2015. – С.129-139.
2. РД 34.21.122-87/ Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений. /Минэнерго СССР.-М.: Энергоатомиздат.-1989..
3. СО 153-343.21.122-2003, Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций. М., МЭИ, 2004.
4. Стандарт по молниезащите МЭК 62305 ч.1-5, 2004г.
5. ВСП 22-02-07/МО РФ Нормы по проектированию, устройству и эксплуатации молниезащиты объектов военной инфраструктуры: – М. 2007. - 168с.
6. Базелян Э.М. Нормирование молниезащиты в России. Основные проблемы и пути совершенствования. III Росс. конф. по молниезащите. 2012. С.372-382.
7. Куприенко В.М. Об определении вероятности поражения зданий и сооружений разрядом молнии при их защите стержневыми и тросовыми молниеотводами. // Журнал «Электричество» –2012, №11. – С. 8а-26.
8. Куприенко В.М. Предельные размеры зоны защиты активной части стержневых молниеотводов. // Журнал «Электричество» –2015, №4. – С. 20-25.
9. В.М. Куприенко. Анализ методик расчета и выбора параметров зоны защиты стержневых молниеотводов. // Журнал «Электричество» –2012, №9. –С. 39-43.
10. Куприенко В.М. Особенности защиты зданий и сооружений тремя стержневыми молниеотводами. // Журнал «Электричество» –2016, №6. – С. 4-9.
11. Куприенко В.М. Защита зданий и сооружений разновысокими стержневыми молниеотводами. // Журнал «Электричество» –2019, №8. – С. 24-29.