

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ РАСЧЕТА НЕЙТРАЛИЗАТОРА СТАТИЧЕСКОГО ЭЛЕКТРИЧЕСТВА ДЛЯ ЦИКЛОННЫХ АППАРАТОВ

А.И. Сечин, О.С. Кырмакова

Предложена методика расчета нейтрализатора статического электричества для циклонных аппаратов с целью предотвращения возникновения электростатических разрядов в циклоне с энергией способной зажечь, находящуюся в циклоне, пылевоздушную смесь. Представлен алгоритм определения расстояния между острием иглы и внешней поверхностью циклона, высоты коронирующих игл, выбора их диаметра, расчет их количества и геометрическое расположение в зоне защиты. Представленный метод расчета зоны защиты базируется на положениях и требованиях электростатической искробезопасности.

Ключевые слова: нейтрализатор статического электричества, минимальная энергия зажигания, циклон, коронирующие иглы, зона защиты.

Электризация сопровождается большинством процессов с участием твердых диэлектрических сред, но обычно не рассматривается. Это связано не только с тем, что механизм электризации малопонятен и в большинстве случаев проявляется слабо, но и тем, что не разработаны достаточно надежные методы исследования. Статическая электризация в промышленности чаще всего происходит в воздушной среде. Опасность воспламенения также наиболее часто создается разрядами в пылеобразующих материалах при транспортировании их по трубам и при перемещении в циклонах с высокой скоростью. Заряды статического электричества, накапливающиеся на различных материалах, частая причина несчастных случаев на производстве. Поэтому при устройстве и эксплуатации средств пневмотранспорта и сепарации пыли в циклонах следует принимать эффективные меры, предупреждающие накопление больших зарядов статического электричества и образование пылевоздушных смесей взрывоопасных концентраций [1, 2].

Цель данной работы – разработка методики расчета нейтрализатора статического электричества для циклонных аппаратов.

Для предотвращения возникновения разрядов, которые могут быть источником аварийной ситуации, предложено установить в циклоне индукционный нейтрализатор статического электричества игольчатого типа, тем самым создать управляемый разряд ко-

ронного типа. Схема представлена на рисунке 1.

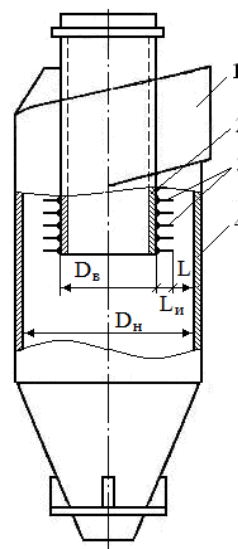


Рисунок 1 – Схема нейтрализатора статического электричества, установленного в циклоне: 1 – входная труба; 2 – выхлопная труба; 3 – коронирующие иглы; 4 – корпус циклона.

Нейтрализатор статического электричества имеет иглы из того же металла, что и корпус, которые располагаются на внешней поверхности выхлопной трубы циклона, которая надежно заземлена через корпус циклона. На заостренных концах металлических

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ РАСЧЕТА НЕЙТРАЛИЗАТОРА СТАТИЧЕСКОГО ЭЛЕКТРИЧЕСТВА ДЛЯ ЦИКЛОННЫХ АППАРАТОВ

игл возникает коронный разряд, что приводит к появлению в воздухе ионов с противоположным по знаку заряду движущимся в циклоне аэрозвеси. Вследствие взаимодействия таких частиц и ионов воздуха, величина потенциала статического электричества уменьшается до безопасного значения. Но количество разрядов существенно возрастет, что обеспечит увеличение количества ионов.

Построение методики расчета индукционного нейтрализатора разработано на основе метода расчета молниезащиты, которая является средством защиты от атмосферного статического электричества, с использованием инструкции по устройству молниезащиты зданий и сооружений РД 34.21.122-87.

На первом этапе необходимо определить параметры соответствия требованиям электростатической искробезопасности циклонного аппарата как технологического оборудования [3].

Исходными данные для анализа следующие: 1. модель циклона (рисунок 1); 2. диаметр внутренней трубы циклона, $D_в$ (мм.); 3. диаметр корпуса циклона, $D_н$ (мм.); 4. высота внутренней трубы циклона, H (мм.); 5. минимальная энергия зажигания, W (мДж).

Считается, что аппарат соответствует требованиям электростатической искробезопасности (ЭСИБ) [1], если радиус l (м) сферы, вписанной в его полость, соответствует минимальной энергии зажигания находящейся в нём горючей смеси. При значениях минимальной энергии зажигания W (Дж); смесей, в которых окислителем является воздух, от 10^{-3} до 10^{-1} Дж соответствующий линейный размер может быть определён по таблице 1 «Некоторые критериальные значения параметров разрядов статического электричества в условиях ЭСИБ слабой электризации».

В таблице 1 показаны также соответствующие значению минимальной энергии зажигания ($W_{мин}$) критериальные значения $R_с$, $l_с$, $L_с$ и $\varphi_с$, а также значения оптимального ра-

диуса кривизны электрода $R_э$, при применении которого обеспечивается наибольшая вероятность возникновения разрядов с зарядом в импульсе, равным $q_с$, и значения начальной напряжённости $E_о$ электростатического поля у поверхности электрода с критериальным радиусом кривизны поверхности $R_с$ в условиях возникновения на него разряда статического электричества с зарядом в импульсе, равным $q_с$.

Так, согласно табличному значению, в соответствии со значением минимальной энергии зажигания W (мДж) системы, находящейся в циклоне, определяется величина радиуса l (м) вписанной окружности.

Расстояние L между острием иглы и внешней поверхностью циклона определяется по следующему выражению:

$$L = 0,5(D_н - D_в) \quad (1)$$

Так как общий диаметр вписанной в полость циклона окружности равен:

$$d = 2l \quad (2)$$

то с учетом коэффициента запаса 30% эта величина будет составлять:

$$d = 2l \times 0,7 \quad (3)$$

Таким образом, высота коронирующих игл L_u для рассматриваемого циклона будет определяться из следующего выражения:

$$L_u = L - d \quad (4)$$

после подстановки:

$$L_u = [0,5(D_н - D_в)] - d \quad (5)$$

Таблица 1 – Некоторые критериальные значения параметров разрядов статического электричества в условиях ЭСИБ слабой электризации [1]

Минимальная энергия зажигания	Критериальные значения параметров разрядов статического электричества в условиях ЭСИБ слабой электризации							
	$W_{мин}$, мДж	$W_с$, мДж	$q_с$, мкКл	$R_с$, мм	$R_э$, мм	$l_с$, м	$L_с$, м	$E_о$, 10^6 В/м
0,18	0,07	0,036	2,5	0,9	0,02	0,02	5,7	14,3
0,30	0,12	0,052	3,3	11	0,06	0,03	5,3	17,5
1,00	0,40	0,16	6,5	18	0,28	0,10	4,54	29,5

Продолжение таблицы 1

W _{мин} , мДж	W _с , мДж	qс, мкКл	R _с , мм	R _э , мм	l _с , м	L _с , м	E _о , 106В/м	φс, кВ
2,00	0,80	0,31	8,5	22	0,36	0,13	4,31	36,6
3,00	1,20	0,44	10,0	25	0,41	0,15	4,20	42,0
5,00	2,00	0,66	13,0	28	0,51	0,19	4,01	52,1
10,00	4,00	1,20	16,0	32	0,62	0,23	3,88	62,1
15,00	6,00	1,80	19,0	34	0,72	0,26	3,78	71,8
20,00	8,00	2,40	22,0	35	0,81	0,29	3,71	81,6

Диаметр коронирующих игл, согласно требованиям ЭСИБ [1], составляет 2,3÷2,5 мм.

Определив высоту и диаметр коронирующих игл, необходимо определить их количество и их геометрическое расположение.

Представим, что металлическая игла на внешней поверхности выхлопной трубы циклона отображается как одиночный стержневой токоприемник. Тогда, зона защиты этого одиночного стержневого токоприемника с высотой h будет представлять собой конус в основании которого круг (рисунок 2), а вершина располагается на высоте $h_0 < h$. В основании конуса зона защиты, образует круг радиусом r_0 .

Зоны защиты одиночных стержневых токоприемников описываются следующими выражениями:

Для аппаратов высотой $h \leq 4,2$ м имеют место следующие габаритные размеры:

Высота зоны защиты иглы:

$$h_0 = 0,85 \times h \quad (6)$$

Радиус зоны защиты иглы:

$$r_0 = (1,1 - 0,002h)h \quad (7)$$

Считается что степень надежности зоны защиты 99,5% и выше.

Так как выхлопная труба циклона представляет собой цилиндр, то площадь боковой поверхности прямого цилиндра можно вычислить по его развертке. Развертка цилиндра – это прямоугольник со сторонами H (высота цилиндра) и P , равной периметру основания. В частности, для прямого кругового цилиндра:

$$S = 2\pi rH \quad (8)$$

Учитывая, что $r = 0,5D$, получаем:

$$S = \pi DH \quad (9)$$

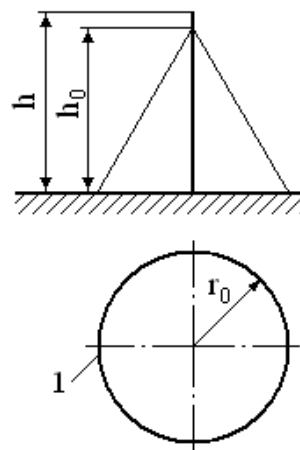


Рисунок 2 – Одиночный стержневой токоприемник и его зона защиты: 1 – граница зоны защиты на поверхности.

Зона защиты иглы представляет собой окружность радиусом r_0 . Следовательно, во избежание образования зазоров, где защита не будет действовать, необходимо учитывать расположение зон перекрытия. Для этого рассмотрим зону защиты поверхности внутренней трубы циклона как совокупность квадратов, у которых в точке пересечения их диагоналей будут располагаться основания игл, а описанные вокруг этих квадратов окружности будут иметь радиусы r_0 . (рисунок3).

По теореме Пифагора находим длину стороны одного квадрата:

$$(2 \cdot r_0)^2 = a^2 + a^2 \quad (10)$$

$$a = \sqrt{2} \cdot r_0 \quad (11)$$

Площадь зоны защиты, которая приходится на одну иглу, вычисляется по формуле:

$$S_i = a^2 = 2r_0^2 \quad (12)$$

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ РАСЧЕТА НЕЙТРАЛИЗАТОРА СТАТИЧЕСКОГО ЭЛЕКТРИЧЕСТВА ДЛЯ ЦИКЛОННЫХ АППАРАТОВ

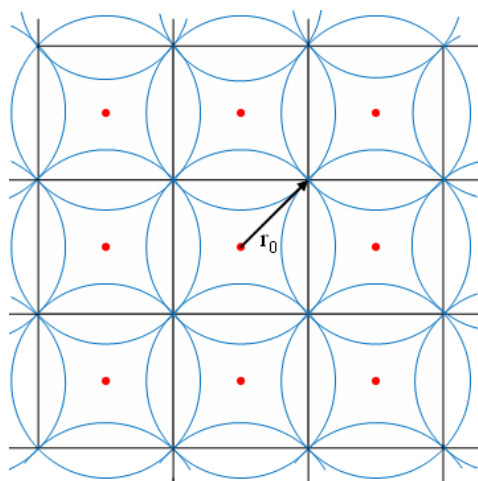


Рисунок 3 – Схема зоны защиты поверхности внутренней трубы циклона

Число игл N , необходимое для покрытия зонами защиты всей боковой поверхности цилиндра определяется соотношением площади зоны защиты S циклона к площади зоны защиты одной иглой S_1 :

$$N = \frac{S}{S_1} = \frac{\pi \cdot D \cdot H}{a^2} \quad (13)$$

Проверка правильности расчета состоит в определении площади зоны защиты, которая приходится на одну иглу:

$$S_1 = \frac{S}{N} \quad (14)$$

Таким образом, разработанная методика расчета нейтрализатора статического электричества для циклонных аппаратов позволяет определить расстояние между острием иглы и внешней поверхностью циклона, высоту коронирующих игл, выбор их диаметра,

расчет их количества и геометрическое расположение в зоне защиты.

Установка в циклоне индукционного нейтрализатора статического электричества игольчатого типа, создает управляемый разряд коронного типа в технологическом оборудовании с безопасными параметрами. В результате взаимодействия частиц и ионов воздуха уровень статической электризации в циклоне снизится до безопасного значения.

Представленный метод расчета зоны защиты базируется на положениях и требованиях электростатической искробезопасности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Верёвкин В.Н., Смелков Г.И., Черкасов В.Н. Электростатическая искробезопасность и молниезащита. – М.: МИЭЭ, 2006. – 170 с.
2. Попов Б.Г., Веревкин В.Н. Статическое электричество в химической промышленности. – Л., Химия, Ленинградское отделение, 1977. – 238 с.
3. Черкасов В.Н. Защита взрывоопасных сооружений от молнии и статического электричества. 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1984.– 1., 81 с.;
4. ГОСТ 12.4.124-83. ССБТ. Средства защиты от статического электричества. Общие технические требования.

Сечин Александр Иванович - д.т.н., профессор кафедры Экологии и безопасности жизнедеятельности, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, E-mail: olia_917@mail.ru, тел: 8-923-402-43-20

Кырмакова Ольга Сергеевна - аспирант кафедры Экологии и безопасности жизнедеятельности, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, E-mail: olia_917@mail.ru, тел: 8-923-402-43-20