

Лабораторная работа № 7

Исследование работы нейтрализаторов статического электричества

1. Цель работы

Экспериментальное определение эффективности работы пассивных (индукционных) и активных (высоковольтных) нейтрализаторов статического электричества.

2. Предварительные сведения

Электризация диэлектрических материалов в производственных условиях породила ряд проблем, среди которых главными являются защита технологических процессов от разрядов статического электричества. Особенно опасны разряды, обладающие энергией 0,01 мДж и выше, в атмосфере, содержащей горючие вещества. Они могут стать причиной пожаров и взрывов. Заряды статического электричества вызывают также значительные технологические отклонения и помехи (рыхлость намотки нитей и тканей, биение рулона с диэлектрическими пленками, отталкивание красителей, прилипание пленок и бумаги к поверхностям машин и оборудования и т.д.). Заряды статического электричества оказывают физиологическое воздействие на организм человека за счет длительного протекания малого тока через тело человека, кратковременного, весьма ощутимого электрического разряда, электрического поля, действующего на организм человека.

Контакт двух твердых тел сопровождается возникновением на границе их соприкосновения двойного электрического слоя, что связано с обменом электрическими зарядами между телами. Переход зарядов с одного тела на другое возможен вследствие разницы в энергетическом состоянии взаимодействующих поверхностей, например, работ выхода электронов, температур, концентраций носителей электрического заряда и др. Электризуются, как правило, разнородные материалы. Однако образование двойных электрических слоев возможно при контакте тел и из одинаковых диэлектрических материалов за счет наличия на их поверхностях загрязнений, различной температуры тел и т.д. Обмен зарядами в ходе формирования двойного электрического слоя происходит в местах контактных точек соприкасающихся поверхностей. Трение способствует электризации тел за счет увеличения числа контактных точек и перехода работы трения в тепло, изменяющее энергетическое состояние взаимодействующих поверхностей. Находящиеся в контакте тела с образовавшимся на границе раздела двойным электрическим слоем остаются электрически нейтральными. После механического разделения каждое тело приобретает равные по величине электрические за-

ряды противоположного знака. Плотность зарядов после разделения двойного электрического слоя становится меньше. Происходит это вследствие того, что в момент разделения двух поверхностей между ними образуются микроразряды, которые нейтрализуют заряды двойного электрического слоя. Максимальная поверхностная плотность зарядов может быть $26,5 \text{ мкКл/м}^2$, что соответствует предразрядной напряженности поля в зазоре между разделяющимися плоскими поверхностями при нормальных условиях $3 \cdot 10^5 \text{ кВ/м}$. Практически за счет локальной неоднородности поля, обуславливающей микроразряды, наибольшая плотность заряда обычно составляет около 10 мкКл/м^2 . Таким образом, при разделении поверхностей разнородных материалов заряды статического электричества удерживаются на диэлектрических материалах и изолированных от земли проводниковых материалах.

Способы защиты от статического электричества могут быть условно разделены на две группы. К первой из них относятся способы, использование которых предотвращает накопление зарядов на взаимодействующих телах. Сюда входят: заземление металлических и электропроводных неметаллических элементов оборудования; увеличение поверхностной и объемной проводимости диэлектриков за счет введения антистатических присадок, а также другие способы, в том числе подбор контактных пар.

Вторая группа способов, не исключая возможности накопления заряда, предотвращает нежелательное или опасное их проявление. В этом случае задача решается установкой на технологическом оборудовании нейтрализаторов зарядов статического электричества.

Работа нейтрализаторов основывается на ионизации воздуха сильным электрическим полем или радиоактивным излучением. В процессе работы нейтрализаторы создают вблизи наэлектризованного диэлектрика положительно или отрицательно заряженные ионы. Ионы, имеющие полярность, противоположную полярности зарядов наэлектризованного материала, под действием электрического поля оседают на поверхности диэлектрика, нейтрализуя его.

По принципу действия нейтрализаторы подразделяются на нейтрализаторы коронного разряда (индукционные с питанием от источника высокого напряжения); радиоактивные с α и β - излучением, комбинированные, аэродинамические.

Эффективность нейтрализаторов η может быть записана в следующем виде:

$$\eta = \left(1 - \left| \frac{\sigma_{\text{ост}}}{\sigma_{\text{нач}}} \right| \right) \cdot 100\% \quad (7.1)$$

где $\sigma_{\text{нач}}$ и $\sigma_{\text{ост}}$ – начальная и остаточная плотность заряда.

Нейтрализатор, полностью устраняющий электризацию ($\sigma_{\text{ост}} = 0$), обладает эффективностью $\eta = 100\%$. Если происходит частичная нейтрализация заряда ($\sigma_{\text{ост}}/\sigma_{\text{нач}} > 0$) или перезарядка ($\sigma_{\text{ост}}/\sigma_{\text{нач}} < 0$), то $\eta < 100\%$.

Эффективность нейтрализатора может быть определена, если известна плотность заряда статического электричества на поверхности наэлектризованного материала $\sigma_{\text{нач}}$, вольт-амперная характеристика нейтрализатора и скорость перемещения заряда V .

Плотность тока на единицу длины, созданная зарядами статического электричества при их перемещении равна

$$j_{\text{нач}} = \sigma_{\text{нач}} \cdot V \quad (7.2)$$

Тогда эффективность работы нейтрализатора определяется по выражению

$$\eta = j_{\text{нейтр}} / j_{\text{нач}} \quad (7.3)$$

где $j_{\text{нейтр}}$ – плотность тока нейтрализатора на единицу длины, определенная из вольт-амперной характеристики.

3. Описание установки

Основным элементом лабораторного стенда (рис. 7.1) по исследованию эффективности работы нейтрализаторов является диэлектрический диск из оргстекла 1, приводимый в движение двигателем постоянного тока 2. Над поверхностью диска расположен коронирующий электрод 3 для зарядки диэлектрического диска, разрядный электрод 4 высоковольтного нейтрализатора (или заземленные иглы индукционного нейтрализатора) и два датчика для измерения электрического поля 5. Под коронирующим электродом расположена заземленная плоскость 6.

Коронирующий электрод 3 подключен к источнику постоянного высокого напряжения 7 с регулируемым напряжением от 0 до 30 кВ, предназначен для зарядки диска. При напряжении на коронирующем электроде выше начального возникает униполярный коронный разряд. Ионы под действием электрического поля, созданного между коронирующим электродом и заземленной плоскостью 6, двигаются по направлению к диэлектрическому диску и осаждаются на нем. Таким образом, при вращении диска происходит осаждение зарядов на всей его поверхности. Знак осаждаемых зарядов может быть положительным или отрицательным.

Для регистрации заряда на диэлектрическом диске используются датчики для измерения электрического поля 5, принцип работы которых основан на явлении электростатической индукции. Конструктивно датчик выполнен следующим образом: над неподвижными измерительными электродами вращается заземленный экран в виде диска с секторными вырезами; при вращении экрана внешнее электрическое поле формирует на омическом сопротивлении измерительной цепи сигнал, пропорциональный напряженности электрического поля. Сигнал с датчика передается на осциллограф. Перед проведением экспериментов измери-

тельная система и датчик градуируются в электрическом поле плоского конденсатора. По величине напряженности электрического поля E определяется поверхностная плотность заряда:

$$\sigma = \varepsilon\varepsilon_0 E \quad (7.4)$$

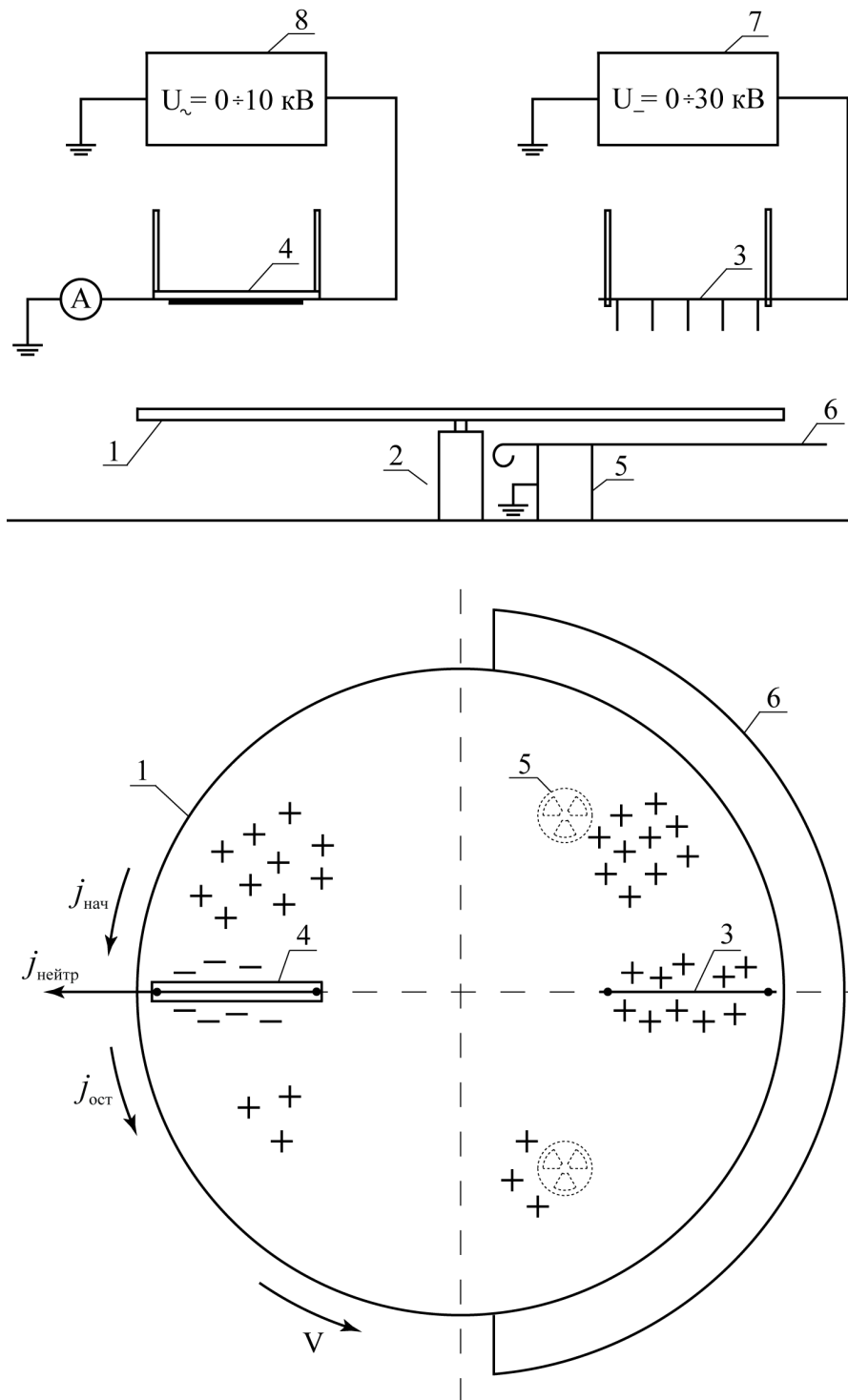


Рис. 7.1. Принципиальная схема установки

Для нейтрализации зарядов статического электричества используются индукционные (пассивные) и высоковольтные (активные) нейтрализаторы.

Индукционные нейтрализаторы наиболее просты. Они обычно выполнены в виде ряда заземленных игл или заземленного протяженного электрода в виде тонкой проволочки. Принцип действия индукционного нейтрализатора следующий. При приближении электрода нейтрализатора к наэлектризованному предмету на поверхности иглы или проволочки резко возрастает электрическое поле и при достижении напряженностью начального значения возникает коронный разряд, являющийся источником ионов обоих знаков. Под действием электрического поля, созданного зарядами статического электричества, ионы противоположного знака вытягиваются из чехла короны и, двигаясь к поверхности, нейтрализуют ее.

Высоковольтный нейтрализатор включает в себя источник высокого напряжения 8 (с регулировкой напряжения от 0 до 10 кВ) с переменной частотой от 50 до 1000 Гц и металлокерамический электрод, устойчивый к разрушительному действию поверхностных разрядов. Разрядный электрод состоит из диэлектрического барьера (керамики) по обе стороны которого расположены металлические индуктирующий и разрядный электроды. Высокое напряжение подается на индуктирующий электрод, а разрядный электрод заземлен. Высоковольтный индуктирующий электрод защищен от случайного прикосновения обслуживающего персонала, что делает нейтрализатор безопасным в эксплуатации. При подаче высокого потенциала на индуктирующий электрод на заземленном разрядном электроде возникает биполярный коронный разряд, имеющий как положительные, так и отрицательные ионы. При приближении разрядного электрода к заряженной поверхности под действием поля внешних зарядов из образовавшегося чехла короны вытягиваются ионы, которые под действием поля, созданного зарядами статического электричества, движутся к заряженной плоскости и нейтрализуют их. Знак вытягиваемых ионов будет всегда противоположен знаку зарядов, находящихся на заряженной плоскости.

Лабораторный стенд работает следующим образом. При подаче необходимого потенциала на коронирующий электрод 3 возникает коронный разряд. Под действием электрического поля ионы, двигаясь к заземленной плоскости 6, осаждаются на диэлектрическом диске 1, заряжая его до определенной плотности заряда, которая может меняться за счет изменения напряжения питания коронирующего электрода. Диск, приводимый в движение двигателем 2, переносит заряд к разрядному электроду нейтрализатора 4, где происходит его нейтрализация. Для измерения электрического поля, созданного зарядами перед нейтрализатором и за ним, установлены датчики 5. По информации от этих датчиков определяют поверхностную плотность заряда до и после нейтрализатора.

4. Задание на предварительную подготовку

1. Ознакомиться с описанием работы и рекомендуемой литературой.

2. Рассчитать по заданной вольт-амперной характеристике (рис. 7.2) эффективность работы нейтрализатора статического электричества, если напряженность поля на поверхности наэлектризованного материала равна 16 кВ/см, а потенциал $U_{пл}$ при этом равен 16,0 кВ, скорость перемещения наэлектризованного материала 2 м/с.

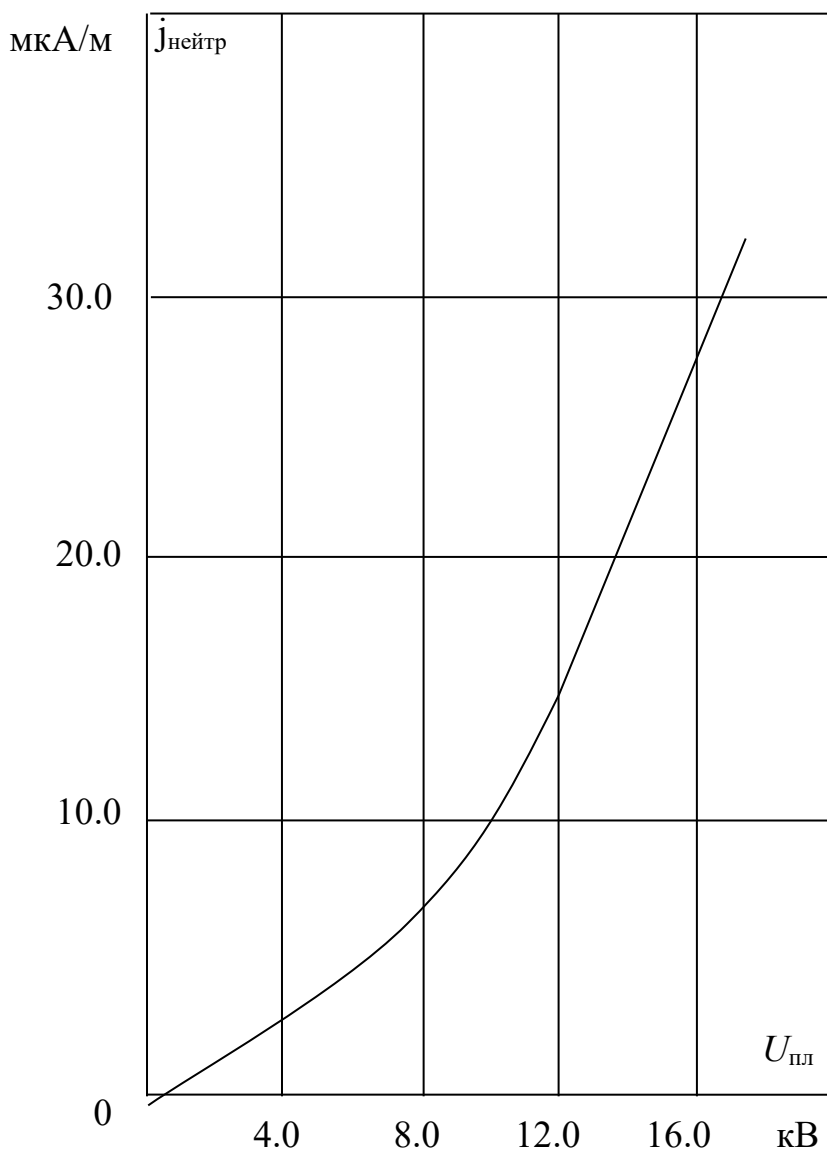


Рис. 7.2 Вольт-амперная характеристика нейтрализатора

5. Задание на проведение работы

1. Ознакомиться с установкой по исследованию работы нейтрализаторов статического электричества.
2. Экспериментально определить в поле плоского конденсатора градуировочную кривую датчиков для измерения напряженности электрического поля.
3. Экспериментально определить и построить вольт-амперные характеристики индукционных нейтрализаторов с разрядными элементами в виде ряда заземленных игл и протяженного электрода в виде тонкой заземленной проволочки. Определить эффективность работы нейтрализаторов при различной высоте установки разрядного элемента и заданной скорости перемещения наэлектризованного диска. Построить рассчитанные зависимости.
4. Экспериментально определить и построить вольт-амперные характеристики активного нейтрализатора с металло-керамическими электродами при различной высоте установки над наэлектризованной поверхностью. Рассчитать и построить зависимости эффективности работы нейтрализатора от высоты установки разрядного электрода. Все зависимости определить при частоте напряжения питания нейтрализатора 50 и 1000 Гц.
5. Дать оценку полученным результатам.

Контрольные вопросы

1. В чем состоит опасность статического электричества?
2. Чем ограничена плотность зарядов статического электричества?
3. Принципы работы нейтрализаторов.
4. В чем преимущества и недостатки активных и пассивных нейтрализаторов статического электричества?

Литература

1. Максимов Б.К., Обух А.А. Физические основы статической электризации. Учебное пособие по курсу “Электрофизические основы ТВН”, М.: МЭИ, 1980 г.
2. Максимов Б.К., Обух А.А. Защита от статического электричества в промышленности: Учебное пособие по курсу “Электрофизические основы ТВН”. М.: МЭИ, 1982 г.