

СРАВНИТЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ НЕЙТРАЛИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИХ ЗАРЯДОВ ПОСРЕДСТВОМ ГЕНЕРАТОРОВ АЭРОИОНОВ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИ ЗАРЯЖЕННОГО АЭРОЗОЛЯ

Л. Ю. Виснапуу, Я. Ю. Рейнет, Э. А. Тетсов

Если на тело осаждаются заряженные частицы (аэроионы или заряженные аэрозольные частицы), то потенциал этого тела изменяется согласно уравнению

$$U = (Q - \int_{t_0}^t I dt) C^{-1}, \quad (1)$$

где U и C — потенциал и электрическая емкость тела; Q — заряд тела в начальный момент времени $t=t_0$; I — сила тока осаждающихся на тело заряженных частиц, заряд которых противоположен по знаку заряду тела.

Если заряд распределен на поверхности тела, то

$$Q = \int_F \sigma dF, \quad (2)$$

где σ — поверхностная плотность заряда; F — поверхность тела.

Силу тока можно представить как

$$I = \int_F j dF \quad (3)$$

где j — плотность тока заряженных частиц через поверхность, непосредственно прилегающую к поверхности тела.

Эффективность снятия электростатических зарядов на поверхности тела характеризуется скоростью уменьшения потенциала U . Согласно (1) и (3)

$$\frac{dU}{dt} = -C^{-1} \int_F j dF \quad (4)$$

при этом предполагаем, что C остается постоянным.

Таким образом, эффективность нейтрализации статического электричества при данном теле определена плотностью тока, которую для определенной группы электрической подвижности заряженных частиц можно выразить как

$$j_k = \rho_k (kE_n + u_k), \quad (5)$$

где ρ_k и u_k — соответственно объемная плотность заряда и средняя скорость погока осаждающихся заряженных частиц с подвижностью k , E_n — напряженность электрического поля вблизи поверхности тела.

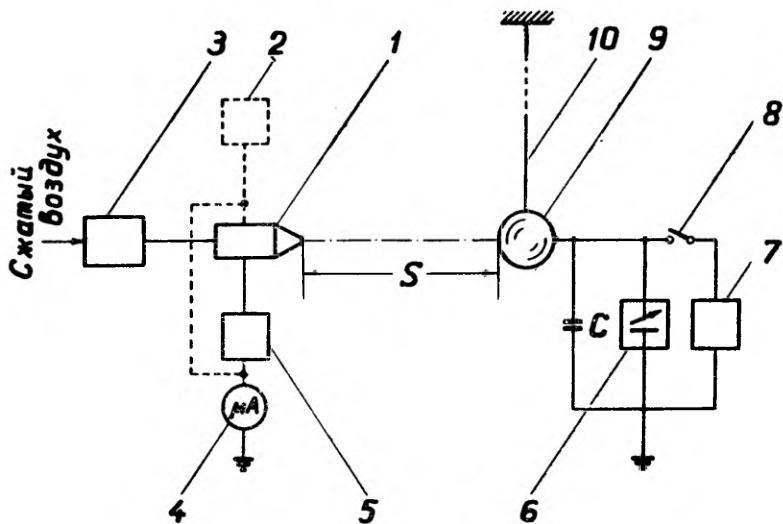
Первое слагаемое правой части (5) соответствует омическому току, а второе — диффузионному и инерционному осаждению заряженных частиц на тело.

Вычисление $j = \sum_k j_k$ (суммирование ведется по всем имеющимся k) в общем случае затруднительно, так как величины j_k , ρ_k и E_n находятся во взаимной зависимости.

В данной работе экспериментально определялась зависимость $j = f(U)$ при различных источниках заряженных частиц и разных режимах их работы. Поскольку при нейтрализации электростатических зарядов особые трудности возникают зачастую в тех случаях, когда источник заряженных частиц по тем или иным причинам нельзя устанавливать вблизи нейтрализуемых зарядов, то главное внимание обращено на сравнение эффективности разных нейтрализаторов при больших расстояниях между источником заряженных частиц и разряжаемым телом. Принципиальная схема измерительной установки изображена на рис. 1.

Источником заряженных частиц 1 служили аэрозольный генератор, описанный в работе [1], и распылитель с коронирующим острием [2]. Последний работал как аэроионизатор, без подачи жидкости, причем заземленное кольцо перед распылителем не применялось. Оба распылителя питались сжатым воздухом. Аэрозольным генератором распыливалась водопроводная вода с расходом 0,08 г/сек. Расход воздуха при измерениях был постоянным, равным 0,5 г/сек. Тем самым создавали примерно одинаковые потоки воздуха как при аэрозольном генераторе, так и аэроионизаторе. Однако при аэроионизаторе применялся также режим, при котором сжатый воздух не подавался, чтобы выявить, насколько сказывается наличие воздушного потока на нейтрализации зарядов аэроионами.

На индуцирующий электрод аэрозольного генератора подавали напряжение +500, ~ 500 и 0 в. При распыливании получали соответственно потоки преимущественно отрицательно, bipolarно заряженных и искусственно не заряженных капелек. На коронирующий электрод аэроионизатора подавали напряжение — 10 и ~ 10 кв. При этом создавались соответственно отрица-



Р и с. 1. Принципиальная схема измерительной установки.

1 — источник заряженных частиц (электроаэрозольный генератор или аэроионизатор); 2 — резервуар жидкости (для получения аэрозоля); 3 — расходомер воздуха; 4 — микроамперметр; 5 — источник напряжения; 6 — статический вольтметр; 7 — источник высокого напряжения; 8 — контакт; 9 — шар, имитирующий заряженное тело; 10 — изоляционная подвеска шара.

тельные и биполярные аэроионы. Частота переменного напряжения 50 гц.

Источник заряженных частиц 1 и подключенные проводниками к нему предметы (резервуар жидкости 2, источник напряжения 5) устанавливались изолированно от земли и заземлялись через микроамперметр 4. Последний при такой схеме включения позволял измерить силу тока заряженных частиц, покидающих источник 1. При получении униполярно заряженных частиц как аэрозольным генератором, так и аэроионизатором соответствующая сила тока составляла приблизительно 0,4 мка. Заметное увеличение этого тока происходило и допускалось при близком расстоянии (0,5 м) аэроионизатора от нейтрализуемого тела. При больших расстояниях значение тока практически оставалось постоянным.

Телом, на котором изучалось снятие статического электричества, служил металлический шар 9 диаметром 0,21 м, который на трех капроновых нитях 10 был подвешен к потолку помещения. В радиусе 1,0 м от шара были удалены посторонние предметы, чтобы электрическое поле шара не было сильно искажено. Посредством отвода шар 9 был подключен к измерительному устройству, состоящему из статического вольтметра 6 (С 96), до-

бавочного, параллельно подключенного с вольтметром конденсатора С (два последовательно соединенных конденсатора ПОВ-15-390), источника высокого напряжения 7 («TESLA» — ВС 222) и контакта 8.

При измерениях тока осаждающихся на шар заряженных частиц источник 1 устанавливался на определенном расстоянии S от шара 9. Поток заряженных частиц направлялся в сторону шара. На последний от источника высокого напряжения 7 через контакт 8 подавался постоянный потенциал противоположной полярности около 25 кв. Разомкнув контакт 8 и следя за показанием статического вольтметра 6, с помощью секундомера определялось время падения потенциала от 20 до 15, 10, 5 кв и т. д. до стационарного потенциала, при котором изменение показания вольтметра практически прекращалось. Скорость падения потенциала шара измерялась также при недействующем источнике заряженных частиц. Она была на несколько порядков меньше той, которая регистрировалась при работе источника. Этим проверялось качество изоляции заряженного тела.

Измерения были проведены при расстояниях $S=0,5; 1,0$ и $1,5$ м. Источник заряженных частиц работал в семи вышеуказанных режимах. Относительная влажность воздуха вблизи шара, имитирующего тело, определялась аспирационным психрометром и составляла при работе аэроионизатора 36% и аэрозольного генератора 40%. Температура воздуха равнялась соответственно 20 и 21°С. Скорость потока воздуха из источника заряженных частиц на расстоянии $S=0,5$ м, измеренная ручным анемометром МС-13, составляла 1,5 м/сек.

При каждом режиме работы источника заряженных частиц и каждом указанном расстоянии измерения скорости падения потенциала шара были проведены 3 раза. При этом отклонения фиксированных значений времени от среднеарифметических не превышали 5%. По полученным данным были построены вспомогательные графики $U=f(t)$, которые сглаживались на глаз.

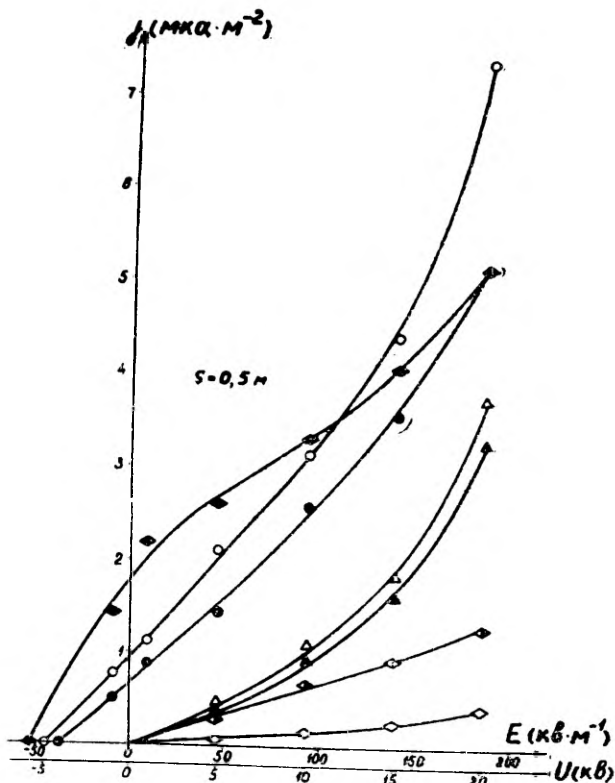
На основе таких графиков для каждого режима работы и положения источника заряженных частиц были вычислены значения зависимости $j=f(U)$ и построены соответствующие графики, приведенные на рис. 2.

Вычисления проводились по формуле

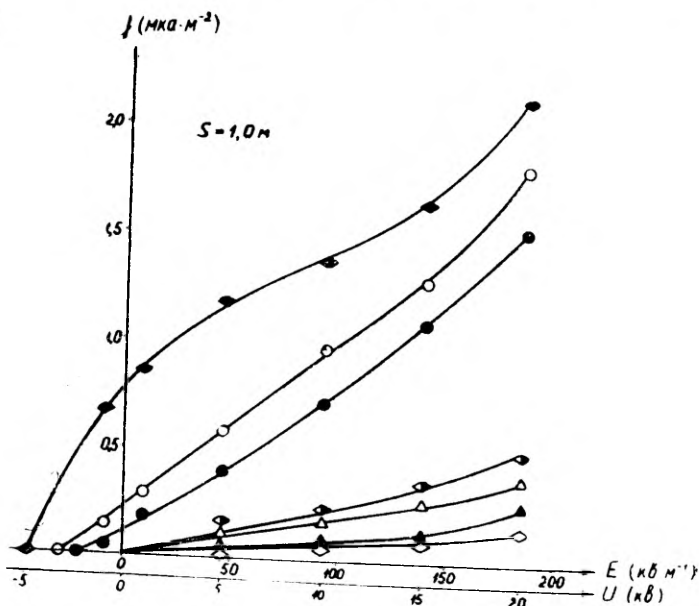
$$j = - \frac{C}{F} \frac{dU}{dt}, \quad (6)$$

где С — электрическая емкость шара, подключенного к измерительному устройству (при разомкнутом контакте); F — площадь поверхности шара; значения dU/dt определялись по графикам $U=f(t)$ как $\operatorname{tg} \alpha$ (α — угол наклона касательной к кривой в рассматриваемой точке U). Значение С измерялось с помощью моста емкостей «TESLA» — ВМ 400 и равнялось 218 пф.

a



б



В

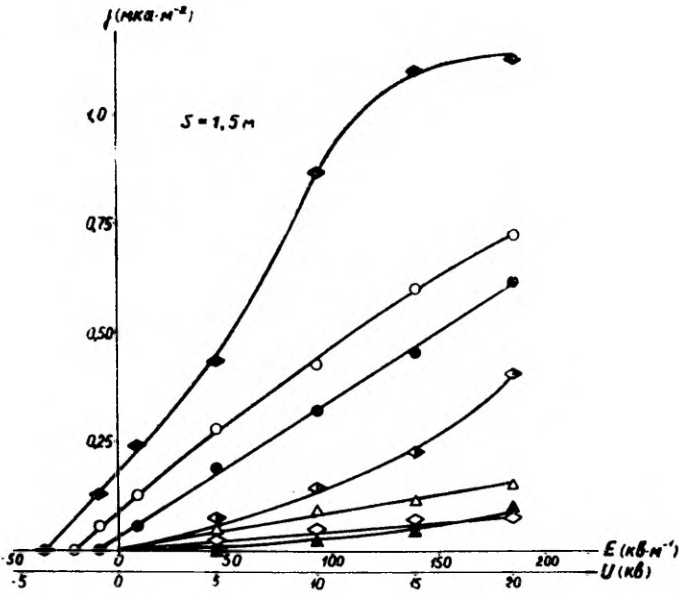


Рис. 2 а, б, в. Зависимость поверхностной плотности тока на шар от его потенциала при различных расстояниях S и режимах работы источника заряженных частиц:

- ◇ — искусственно не заряженный аэрозоль;
- ◊ — биполярно заряженный аэрозоль;
- ◆ — отрицательно заряженный аэрозоль;
- ▲ — биполярные аэроионы без потока воздуха;
- △ — биполярные аэроионы при наличии потока воздуха;
- — отрицательные аэроионы без потока воздуха;
- — отрицательные аэроионы при наличии потока воздуха.

На рис. 2 наряду со значениями аргумента U представлены также значения некоторой усредненной напряженности электрического поля вблизи поверхности шара, вычисленной как $E = \frac{U}{a}$ (a — радиус шара). Кривые $j(E)$ имеют вогнутость, если с падением E соответствующее значение q уменьшается, и выпуклость, если q увеличивается. Уменьшение или увеличение q зависит при этом от соотношения расхода и прихода объемного заряда в область, прилежащую к поверхности разряжаемого тела.

Графики $j=f(E)$ целесообразны тем, что по ним можно определить удельную дифференциальную электропроводность среды, обусловленную действием различных источников заряженных частиц, и получить тем самым общую характеристику для оценки эффективности применения их при нейтрализации электростатических зарядов в разных условиях. Удельная дифференциальная

$$\lambda = \frac{dj}{dE} = \operatorname{tg} \beta, \quad (7)$$

где β — угол наклона касательной к кривой $j=f(E)$ при заданном значении E .

Подразумевая под эффективностью нейтрализации статических зарядов плотность тока нейтрализующих заряженных частиц, по рис. 2 видно, что в случае больших расстояний (около 1 м и более) между разряжаемым телом и источником заряженных частиц испытанные нейтрализующие агенты располагаются по своей эффективности в следующей последовательности (в порядке убывания эффективности):

- преимущественно униполярно заряженный аэрозоль;
- униполярные аэроионы с добавочным потоком воздуха;
- униполярные аэроионы без добавочного потока воздуха;
- биполярно заряженный аэрозоль;
- биполярные аэроионы с добавочным потоком воздуха;
- биполярные аэроионы без добавочного потока воздуха;
- искусственно не заряженный аэрозоль.

Анализируя графики рис. 2, можно сделать следующие выводы.

1. При нейтрализации статических зарядов тела потоком разноименно заряженных частиц эффективность нейтрализации убывает с уменьшением напряженности электрического поля и с увеличением расстояния между телом и источником заряженных частиц.

2. Источник униполярно заряженных частиц обладает наибольшей эффективностью нейтрализации, однако разряжаемое тело может при этом после разряда перезарядиться, особенно при электроаэрозоле. Во избежание перезарядки режим источника должен соответствовать полярности и величине нейтрализуемых зарядов.

3. Создание при нейтрализующих заряженных частицах добавочного потока воздуха, направленного к разряжаемому телу, способствует увеличению эффективности нейтрализации, особенно при больших расстояниях.

4. С увеличением расстояния между разряжаемым телом и источником заряженных частиц эффективность нейтрализации электроаэрозолем убывает медленнее, чем эффективность нейтрализации аэроионами, т. е. аэрозольный генератор обладает большей дальностью эффективного действия, чем аэроионизатор (при равной производительности их по заряду)

Таким образом, при нейтрализации электростатических зарядов в случае больших расстояний между разряжаемым телом и источником заряженных частиц применение преимущественно униполярно или биполярно заряженного аэрозоля более эффек-

тивно, чем соответственно униполярно или биполярно ионизированного воздуха. Это объясняется в основном тем, что при проведенных измерениях заряженные аэрозольные частицы обладали меньшей средней электрической подвижностью, чем аэроионы. Благодаря этому заряженные аэрозольные частицы рекомбинировали и рассеивались под действием собственного электрического поля в меньшей мере, чем аэроионы. В результате выражение $\sum_k Q_k$ к (см. формулу (5)) для аэрозольных частиц имеет, по-видимому, большее значение, чем для аэроионов. Некоторая разница может быть обусловлена и составляющей $\sum_k Q_k u_k$.

Кроме того, следует принять во внимание, что при электроаэрозольном генераторе нейтрализующие заряженные частицы могут быть получены, используя сравнительно низкие напряжения. А это делает соответствующие устройства более искробезопасными. Однако применение электроаэрозольного генератора в качестве нейтрализатора возможно в тех случаях, когда допускается осаждение частиц аэрозоля на заряженные поверхности соответствующих тел.

ЛИТЕРАТУРА

1. Виснапуу, Л. Ю., Рейнет, Я. Ю., О создании электрически заряженных аэрозолей в камерах. — В настоящем выпуске.

2. Виснапуу, Л. Ю., Рейнет, Я. Ю., Изучение возможности использования пневматических распылителей для электрической зарядки распыливаемых жидкостей. — Сб.: Окраска изделий в электрическом поле. Изд-во «Химия», М., 1966.

Поступила 19/VI 1968 г.

ELEKTROSTAATILISTE LAENGUTE NEUTRALISEERIMISE EFEKTIIVSUSE VÖRDLEV UURIMINE AEROIOONIDE JA ELEKTRILISELT LAETUD AEROSOOI GENERAATORITE ABIL

L. Visnapuu, J. Reinet, E. Tetsov

Resümee

Töös on uuritud elektrostaatiliste laengute neutraliseerimise efektiivsust koroona-aeroionisaatori ja elektroaerosooligeneraatori abil nende mitmesuguste töörežiimide puhul. Kaugust neutralisaatori ja laengust vabastatava keha vahel muudeti 0,5 kuni 1,5 m. On koostatud neutraliseeriva voolu tiheduse olenevuse graafik sõltuvalt laengust vabastatava keha potentsiaalidest. On näidatud, et elektrostaatiliste laengute neutraliseerimise puhul, suurte kauguste

korral laengust vabastatava keha ja neutralisaatori vahel, on unipolaarselt või bipolaarselt laetud aerosooli kasutamine vastavalt unipolaarselt või bipolaarselt ioniseeritud õhu kasutamisest efektiivsem. Seejuures lisaõhuvoolu tekitamine, mis on suunatud laengust vabastatava keha poole, soodustab neutraliseerimisefektiivsuse suurenemist.

COMPARATIVE STUDY OF THE EFFICIENCY OF THE NEUTRALIZATION OF ELECTROSTATIC CHARGES BY MEANS OF GENERATORS OF AIR IONS AND ELECTRICALLY CHARGED AEROSOLS

L. Visnapuu, J. Reinet, E. Tetsov

S u m m a r y

The paper deals with the problem of the efficacy of the neutralization of electrostatic charges by means of a corona air ionizer and an electroaerosol generator under various operating conditions. In the course of the study the distance between the neutralizer and the body to be discharged was changed from 0.5 to 1.5 metres. A graph describing the dependence of the density of the neutralizing current on the potential of the dischargeable body has been drawn up. It has been shown that in the neutralization of electrostatic charges in case the distances between the body to be discharged and the neutralizer are great, the application of unipolarly and bipolarly charged aerosols is more efficient than the use of unipolarly and bipolarly charged air. At the same time the production of an additional air current directed towards the dischargeable body increases the efficiency of neutralization.