

УДК 677. 11. 021

[https://doi.org/ 10.35546/kntu2078-4481.2019.4.2](https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2019.4.2)

С.І. КУЗНЕЦОВ

Херсонський національний технічний університет
ORCID: 0000-0003-1766-931X

Е.А. ВЕНГЕР

Херсонський національний технічний університет
ORCID: 0000-0002-0065-0375

Е.В. МИЩЕНКО

Херсонський національний технічний університет
ORCID: 0000-0003-0089-5425

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НЕКОТОРЫХ ФАКТОРОВ НА СТЕПЕНЬ ЭЛЕКТРИЗАЦИИ ДИЭЛЕКТРИКОВ

Среди известных методов очистки газов от жидких и твердых взвешенных частиц, электрический – является наиболее эффективным, а электрофильтры – наиболее универсальными из всех аппаратов, применяющихся в промышленности. Существуют различные варианты конструкций электрофильтров, одним из которых является трибоэлектростатический фильтр. Принцип очистки газов в нем, основан на электризации осадительных электродов с помощью трения (трибоэффект), при этом на поверхности диэлектриков создается статический заряд. При вращении дисков и трении их о неподвижные щетки на поверхности дисков возникает статическое электричество, а между дисками - электростатическое поле. Принудительно направляемые или свободно поступающие в аппарат частицы пыли попадают в электрическое поле, вследствие эффекта поляризации и наведения зарядов, притягиваются поверхностью противоположно заряженных дисков. Выбор материала диэлектрика для осадительных электродов имеет ключевое значение. От него зависят главные характеристики трибоэлектростатического пылеуловителя: эффективность пылеулавливания, аэродинамическое сопротивление и пылеемкость аппарата. В работе исследовались влияния различных факторов на степень электризации диэлектриков. Изучалось влияние таких параметров, как природа материала электрода, скорость вращения электрода, материал щеток, удельное давление щеток на электрод, равномерность распределения зарядов на поверхности электродов. В процессе работы определены факторы влияющие на создание электростатического поля, а также исследованы свойства различных диэлектриков из которых могут быть изготовлены электроды для трибоэлектростатического фильтра.

Ключевые слова: электростатическое поле, статическое электричество, очистка газов от пыли.

С.І. КУЗНЕЦОВ

Херсонський національний технічний університет
ORCID: 0000-0003-1766-931X

О.О. ВЕНГЕР

Херсонський національний технічний університет
ORCID: 0000-0002-0065-0375

О.В. МИЩЕНКО

Херсонський національний технічний університет
ORCID: 0000-0003-0089-5425

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ДЕЯКИХ ФАКТОРІВ НА РІВЕНЬ ЕЛЕКТРИЗАЦІЇ ДІЕЛЕКТРИКІВ

Серед відомих методів очищення газів від рідких і твердих частинок - електричний є найефективнішим, а електрофільтри - найбільш універсальними апаратами, що застосовуються у промисловості. Існують різні варіанти конструкцій електрофільтрів, одним з яких є трибоелектростатичний фільтр. Принцип очищення газів в ньому, заснований на електризації електродів за допомогою тертя (трибоэффект), при цьому на поверхні діелектриків створюється статичний заряд. При обертанні дисків і терті їх об нерухомі щітки на поверхні дисків виникає статична електрика, а між дисками - електростатичне поле. Частички пилу які примусово направляються або вільно надходять в апарат, потрапляють в електростатичне поле, внаслідок ефекту поляризації і наведення зарядів, притягуються поверхнею протилежно заряджених дисків. Вибір матеріалу діелектрика для осаджувальних електродів грає дуже важливе значення. Від нього залежать основні показники трибоелектростатичного пиловловлювача: ефективність пиловловлення,

аеродинамічний опір і пилосність апарату. В роботі досліджувався вплив різних чинників на ступінь електризації діелектриків. Вивчався вплив таких параметрів, як природа матеріалу електрода, швидкість обертання електрода, матеріал щіток, питомий тиск щіток на електрод, рівномірність розподілу зарядів на поверхні електродів. В процесі роботи визначено фактори, які впливають на створення електростатичного поля, а також досліджені властивості різних діелектриків з яких можуть бути виготовлені електроди для трибоелектростатичного фільтра.

Ключові слова: електростатичне поле, статична електрика, очищення газів від пилу.

S.I. KUZNYETSOV

Kherson National Technical University
ORCID: 0000-0003-1766-931X

E.A. WENGER

Kherson National Technical University
ORCID: 0000-0002-0065-0375

E.V. MISHCHENKO

Kherson National Technical University
ORCID: 0000-0003-0089-5425

STUDY OF THE INFLUENCE OF SOME FACTORS ON THE DEGREE OF ELECTRIZATION OF DIELECTRICIANS

Among the known methods for cleaning gases from liquid and solid suspended particles, electric is the most effective, and electrostatic precipitators are the most universal of all devices used in industry. There are various designs of electrostatic precipitators, one of which is a triboelectrostatic filter. The principle of gas purification in it is based on the electrification of precipitation electrodes using friction (triboelectric effect), while a static charge is created on the surface of the dielectrics. When the disks rotate and rub them against fixed brushes, static electricity appears on the surface of the disks, and an electrostatic field arises between the disks. Dust particles forcedly guided or freely entering the apparatus enter the electric field, due to the effect of polarization and guidance of charges, they are attracted to the surface of oppositely charged disks. The choice of dielectric material for precipitation electrodes is of key importance. The main characteristics of the triboelectrostatic dust collector depend on it: the efficiency of dust collection, aerodynamic drag and dust absorption of the apparatus. In the work, the influence of various factors on the degree of electrification of dielectrics was investigated. We studied the influence of such parameters as the nature of the electrode material, the rotation speed of the electrode, the material of the brushes, the specific pressure of the brushes on the electrode, the uniform distribution of charges on the surface of the electrodes. In the process, the factors influencing the creation of an electrostatic field are determined, and the properties of various dielectrics from which electrodes for a triboelectrostatic filter can be made are investigated.

Keywords: electrostatic field, static electricity, dust cleaning of gases.

Постановка проблеми

Загрязнения воздуха техногенными газообразными и твердыми веществами, на сегодняшний день, стали одной из наиболее тревожных современных проблем. Основная масса загрязнителей образуется при сжигании органического топлива.

Геогенная пыль, тоже является важной экологической проблемой. Сканирующая электронная микроскопия показала, что размеры собранной пыли варьируются от 50 мкм до 0,8 мкм, но преобладающим размером был 10 мкм [1].

Участились заболевания человека сердечно-сосудистыми и раковыми заболеваниями [2]. Если в дальнейшем не принимать необходимых мер, то процессы индустриализации приведут к быстрому истощению и исчезновению биологических ресурсов. В этом главную роль сыграет загрязнение атмосферного воздуха [3]. Характеристика частиц пыли при загрязнении в реальных условиях эксплуатации могут быть полезны для выбора подходящих методов очистки [4].

Главными характеристиками пылеулавливающих устройства являются: эффективность пылеулавливания, аэродинамическое сопротивление и пылеёмкость.

Под эффективностью пылеулавливания понимают отношение количества уловленной пыли к общему количеству пыли, поданной на очистку за данный промежуток времени. Эффективность пылеулавливания зависит от дисперсности задерживаемой пыли и ее удельного веса. Кроме того, большое влияние оказывает начальная концентрация, влажность и заряд пылевых частиц.

Очищаемый газ или воздух содержит в основном полидисперсную пыль и соотношение между отдельными фракциями, как правило, выражает значение общей эффективности пылеулавливания, но не позволяет судить об эффективности данного пылеуловителя по отношению к отдельным фракциям.

Важным показателем пылеулавливающего аппарата является аэродинамическое сопротивление. Чрезмерно высокое сопротивление приводит к нарушению эффективной работы вентиляционной установки в целом. Для всех пылеулавливающих устройств этот параметр зависит от расхода газа. Для многих устройств, например электрофильтров, акустических и инерционных пылеуловителей, при неизменном расходе воздуха сопротивление в процессе работы остается постоянным.

Процесс поглощения пыли аппаратом не может продолжаться бесконечно. Его продолжительность зависит от пылеемкости пылеулавливающего устройства. Под пылеемкостью понимают вес пыли, которую пылеуловитель способен поглотить в процессе непрерывной работы, сохраняя в допустимых пределах величины эффективности пылеулавливания и аэродинамического сопротивления

Анализ последних исследований и публикаций

Очистка промышленных газов от взвешенных твердых частиц производится:

- для уменьшения загрязненности атмосферного воздуха;
- для удаления примесей, отрицательно влияющих на последующую обработку газа и разрушающих аппаратуру;
- для улавливания ценных продуктов, выбрасываемых в атмосферу.

Очистка промышленных газов от взвешенных частиц может осуществляться при помощи гравитационных, инерционных, диффузионных, электрических сил, а также, путем промывки газов жидкостью, фильтрованием его через пористые материалы и т.д.

Среди известных способов очистки газов – электрический является наиболее эффективным, а электрофильтры – наиболее универсальными из всех известных аппаратов, созданных для извлечения жидких и твердых частиц из воздуха и газов.

Следует отметить следующие особенности электрической очистки газов:

1. В зависимости от конкретных условий и требований можно сконструировать электрофильтры с очень высокой степенью очистки газов (до 99,9%) и широким диапазоном производительности, от нескольких м³/ч до нескольких миллионов м³/ч.
2. Электрофильтры обладают самым малым аэродинамическим сопротивлением по сравнению со всеми типами существующего пылеочистного оборудования.
3. Электрофильтры могут эксплуатироваться, как при атмосферном давлении, так и при давлениях гораздо выше или ниже атмосферного.
4. Концентрация взвешенных частиц в очищаемых газах может колебаться в очень широких пределах от долей г/м³ до 50 г/м³.
5. Температура очищаемого газа может как отрицательной, так и положительной достигая 500^oC.
6. Очистка газов может быть как сухой, так и мокрой.
7. Электрофильтры улавливают частицы от 100 до 0,01 мкм.
8. Электрофильтры могут изготавливаться из материалов стойких к кислотам, щелочам и другим агрессивным средам.
9. Процесс очистки газов на электрофильтрах может быть полностью автоматизирован.
10. Удельный расход электроэнергии на очистку газов обычно меньше, чем у газоочистных аппаратов других типов.
11. В зависимости от условий работы, срок службы электрофильтров составляет от 5 до 20 лет.

Однако электрофильтры пригодны не для любых условий, эффективность их работы зависит от режима эксплуатации. В связи с этим, применение электрофильтров имеет существенные ограничения: электрофильтры не способны эффективно улавливать некоторые вещества, обладающие специфическими, физическими свойствами, очень легкие и очень мелкие частицы. Примером этому является активная сажа, легкая по весу обладающая очень малым электрическим сопротивлением и состоящая из чрезвычайно мелких частиц. Невозможно улавливать в электрофильтрах пыли текстильных материалов, которые легко воспламеняются.

Конструкцию электрофильтров конкретного назначения в основном определяют технологические условия его работы: состав и свойства очищаемых газов, состав и свойства содержащихся в них взвешенных частиц, температура, давление, влажность, требуемая степень очистки и др.

Принцип действия электрофильтров основан на выделении из газового потока твердых или капельных частиц путем воздействия электрического поля на заряд, индуцированный на поверхности улавливаемой пыли. Частица приобретает заряд в момент прохождения через зону коронирующего заряда и оседает на электроде противоположного знака.

Последующими операциями являются: механическое снятие осевшей пыли с электродов, транспортирование её (обычно свободным падением) и периодическое регулярное удаление накопившихся твердых частиц пыли из бункеров.

Способ электростатической очистки газов от пыли, включает электризацию осадительных элементов путем трибоэлектрического эффекта. При этом фильтрующие элементы получают заряд статического электричества, который перетекает на них, в результате трения о поверхность диэлектрических материалов. С целью повышения эффективности электростатических фильтров иногда осуществляют электризацию путем циркуляции взвешенного тонкодисперсного электризующего агента в полых осадительных элементах. При этом заряд концентрируется только на внутренних поверхностях осадительных элементов, что исключает его снижение за счет нейтрализации осадком аэрозоля, накапливающимся на внешних поверхностях.

При соприкосновении двух разнородных проводников на их поверхности появляются заряды равные по величине и противоположные по знаку.

Электростатические процессы нашли широкое применение в промышленности при очистке газов от твердых частиц в электростатическом поле, электростатической окраске, электроворсовании и др. Во всех случаях зарядка частиц осуществляется в коронном разряде, а управление потоком заряженных частиц – искусственно созданным электростатическим полем.

Электростатические поля и заряды, образованные непосредственно трибоэлектрическим эффектом, еще не широко используются в промышленности, главным образом потому, что они недостаточно хорошо изучены. Однако исследования показывают, что трибоэлектрическая зарядка материала может быть успешно использована во многих технологических процессах.

Формулирование цели исследования

Проанализировав методы и оборудование для тонкой очистки газов от пыли, можно констатировать, что наиболее полно этим целям отвечают электрические фильтры. Вместе с тем они имеют и недостатки:

- требуют установки источника питания высокого напряжения (до 100 тыс. вольт);
- имеют ограниченное применение при очистке взрывоопасных газов;
- громоздкие и металлоемкие.

В связи с этим целью данной работы является изучение свойств различных диэлектриков которые могут быть использованы в качестве электродов и установлены в трибоэлектростатическом фильтре[3]. Такой фильтр не нуждается в высоковольтном источнике питания, так как электрическое поле на поверхности осадительных электродов возникает вследствие трения двух разнородных тел.

Изложение основного материала исследования

В работе исследовались влияния различных факторов на степень электризуемости диэлектриков. Изучались влияния таких параметров, как природа материала электрода, скорость вращения электрода, материал щеток, удельное давления щеток на электрод, равномерность распределения зарядов на поверхности электродов.

Электроды изготавливались из материалов представленных в табл. 1.

Таблица 1

Материалы для электродов

Название материала	плотность
Органическое стекло (полиметилметакрилат) $(C_5O_2H_8)_n$	1,18 г/см ³
Полистирол $(C_8H_8)_n$	1,069-1,125 г/см ³
Гетинакс, прессованная бумага, пропитанная фенол-формальдегидной смолой	1,3 - 1,4 г/см ³
Текстолит, х/б ткань, пропитанная фенол-формальдегидной смолой	1,3 - 1,45 г/см ³
Поливинилхлорид $[-CH_2-CHCl-]_n$	1,35-1,43 г/см ³
Фторопласт (тефлон или политетрафторэтилен) $(-C_2F_4-)$	2,12-2,2 г/см ³

Методика исследований заключалась в том, что электрод, изготовленный из диэлектрика в виде плоского диска, закреплялся на валу и с двух сторон прижимался щетками. При вращении вала на диске генерировались электростатические заряды, которые измерялись с помощью прибора. Стендовая установка для изучения электризуемости различных материалов может перемещаться по высоте и измерять напряженность электростатического поля вдоль всего радиуса диска.

Величина и полярность электростатического заряда определялась измерителем параметров электростатического поля ИПЭП-1. Этот прибор предназначен для измерения потенциалов электростатически заряженных объектов, напряженности электростатического поля и поверхностной плотности электрических зарядов. Прибор снабжен лазерным дальномером для определения расстояния до измеряемого объекта. Диапазон измерений напряженности электростатического поля лежит в пределах от 2 до 1000 кВ/м. Диапазон измерений потенциала заряженных объектов (0,02–50 кВ).

Принцип работы прибора основан на том, что заряд, приобретенный измерительной пластиной датчика, периодически изменяется при ее экранировании заземленным вращающимся диском. Это создает на выходе датчика переменный сигнал, который фиксируется электронным датчиком.

Знак заряда определяется вольтметром, который одновременно показывает и величину напряженности поля. Работа датчика прибора основана на принципе электростатического генератора. Измерительной пластине датчика внешним электростатическим полем подается заряд. Заземленный четырехлепестковый диск, расположен в непосредственной близости от измерительной пластины. При его вращении, лепестки измерительной пластины оказываются либо открытыми для воздействия на них внешнего поля, либо экранированными от него. В результате заряд, наводимый на измерительную пластину датчика внешним полем, изменяется от максимального до минимального значения и на выходе датчика получается переменное напряжение, которое подается на вход электронного усилителя.

Для определения знака зарядов используется подача опорного положительного напряжения на измерительную пластину датчика от стабилизированного источника питания в приборе. Это напряжение имеет определенную величину для каждого диапазона измерений.

В случае, если измеряемое поле имеет положительный знак, результирующая величина поля, действующая на измерительную пластину датчика будет увеличиваться, если отрицательный знак – уменьшаться.

Рабочая поверхность датчика располагается на расстоянии 10 ± 1 мм., от места, в котором необходимо измерить величину напряженности поля.

Общий вид стеновой установки показан на рис.1.

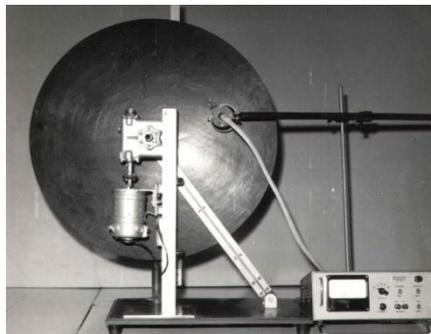


Рис. 1. Общий вид стенда для испытания плоских дисков

Влияние материала дисков на напряженность электростатического поля. Исследованию подвергались диски, изготовленные из органического стекла, полихлорвинила, гетинакса, текстолита, фторопласта и полистирола.

Диски толщиной 4-6мм. и диаметром 600 – 700 мм. закреплялись на валу и при переменном числе оборотов подвергались испытанию. Число оборотов дисков изменялось от 10 до 26 мин^{-1} , что соответствовало окружной скорости от 0,07 до 0,8 м/сек.

Лучшими показателями электризуемости обладают диски из полистирола, полихлорвинила и органического стекла. Хуже электризуется гетинакс и совершенно не электризуется текстолит и фторопласт ($E=C$). При использовании щетки из войлока максимальная напряженность электростатического поля наблюдалась:

На диске из оргстекла	$E=+10000$ в/см,
На диске из текстолита	$E=0$ в/см,
На диске из фторопласта	$E=0$ в/см,
На диске из гетинакса	$E=-3000$ в/см,
На диске из полихлорвинила	$E=-15000$ в/см,
На диске из полистирола	$E=-18750$ в/см.

При электризации дисков войлочными щетками на дисках из полистирола, полихлорвинила и гетинакса генерируются заряды отрицательного знака, а из оргстекла – положительного знака. Следует также отметить сравнительную равномерность распределения зарядов на поверхности дисков. Величина напряженности электростатического поля в центре дисков и на периферии значительно не отличались. В некоторых случаях наблюдалось незначительное падение напряженности на периферии дисков вследствие большого рассеивания зарядов в пространстве. Исходя из полученных данных, можно сделать вывод о том, что наиболее приемлемыми материалами для изготовления осадительных электродов в электростатических фильтрах являются полистирол, органическое стекло и полихлорвинил. Эти материалы выпускаются отечественной промышленностью в виде листов толщиной 3–10 мм. и

могут быть использованы для изготовления отдельных деталей и корпусов электростатических фильтров.

Влияние материала щеток на напряженность электростатического поля. Для электризации дисков, изготовленных из полистирола, полихлорвинила и органического стекла применялись войлочные, фетровые и капроновые нитки. Как показали исследования, природа материала щеток оказывает значительное влияние на напряженность электростатического поля.

При электризации дисков из полистирола при $n=10$ мин⁻¹, максимальная напряженность электростатического поля наблюдается для пары полистирол-войлок ($E =$ от -17500 до -18500 в/см). Несколько ниже для пары полистирол – фетр ($E=$ от -15500 до -16000 в/см). Минимальная напряженность электростатического поля отмечена для пары полистирол-капрон ($E=$ от -15000 до -15500 в/см).

Аналогичная картина наблюдается при электризации диска из полихлорвинила максимальная величина напряженности электростатического поля здесь также наблюдается при использовании войлочных щеток ($E=-15000$ в/см), капроновых ($E=$ от -9500 до -10000 в/см). Характерно, что в этом случае капроновые щетки оказались несколько эффективнее фетровых.

При электризации диска, изготовленного из оргстекла установлено, что максимальная степень электризации также достигается войлочными щетками, при этом величина напряженности электростатического поля равна $E=+10000$ в/см. Несколько хуже электризует органическое стекло фетр ($E= +7000$ в/см), очень слабо электризуется оргстекло капроновыми щетками ($E=+3750$ в/см)

Характерно отметить, что при электризации оргстекла капроновыми щетками на поверхности дисков генерируется отрицательный заряд, в то время как при использовании щеток из войлока и фетра на этом диске генерируется положительный заряд.

Максимальный заряд на поверхности различных диэлектриков генерируется войлочными щетками, которые предпочтительно использовать при конструировании электростатических фильтров. Это объясняется, большей адгезией войлочных щеток к испытанным материалам по сравнению с фетром и капроном.

Влияние числа оборотов диска на напряженность электростатического поля. Скорость вращения дисков при конструировании электростатических фильтров имеет большое значение. От этого зависит конструкция подшипников и расходимая мощность. Кроме того, от скорости вращения диска зависит время повторного соприкосновения одних и тех же участков диска со щеткой. Если время повторного соприкосновения одного и того же участка диска со щеткой больше времени полного рассекания зарядов в пространстве, то напряженность электростатического поля на разных участках диска будет неодинакова. Если же время это будет меньше, то заряды будут равномерно распределяться по всему диску. Проведение исследований дали возможность определить. Как влияет скорость вращения диска на напряженность электростатического поля. Скорость вращения диска измерялась тахометром. Исследования проводились на дисках из полихлорвинила и органического стекла. Электризацию дисков проводили войлочными и фетровыми щетками. Результаты исследований основаны зависимости напряженности электростатического поля от числа оборотов дисков изготовленных из различных материалов.

Анализ показал, что при электризации диска из органического стекла войлочными щетками при изменении числа оборотов диска от 10 до 26 мин⁻¹ изменения напряженности поля не наблюдаются. $E=const$ и составляет $+10000$ в/см.

При исследовании пары оргстекло-фетр при скорости вращения диска ниже 16 мин⁻¹, наблюдается некоторое снижение напряженности электростатического поля, а при $n>16$ мин⁻¹, напряженность электростатического поля остается без изменения.

При испытании пары полихлорвинил-фетр, напряженность электростатического поля постоянна и $E= -6250$ в/см и не зависит от изменения числа оборотов диска.

При испытании пары полихлорвинил-войлок. Напряженность электростатического поля при $n=10 + 16$ об/мин. составляет $E=-12500$ в/см. Если же усредненность величины напряженности электростатического поля по всей поверхности диска, то можно утверждать, что она практически не зависит от скорости вращения диска.

Максимальная напряженность электростатического поля достигается уже после двух – трех оборотов диска и если диск остановить, то напряженность поля поддерживается в течении двух – трех минут, после чего начинает постепенно ослабевать (если диск находится в состоянии покоя). В наших же условиях диск в течении одной минуты подвергается $10-26$ кратной электризации трением, в следствие чего на его поверхности постоянно поддерживается максимальная напряженность электростатического поля. Таким образом, можно сделать вывод о том, что скорость вращения диска в пределах $10-26$ мин⁻¹ не оказывает влияния на напряженность электростатического поля независимо от того, из какого материала изготовлен диск или метки.

Влияние удельного давления щеток на величину напряженности электростатического поля. Представлял интерес изучить, как изменяется напряженность электростатического поля при изменении удельного давления щетки на диск.

Удельное давление щетки на диск изменилось путем регулирования усилия пружины прижимного устройства и измерялось с помощью динамометра. Динамометр шарнирно прикреплялся к центру щетки, которая оттягивалась от диска. Усилие, при котором происходит отрыв щетки от диска, фиксировалось на шкале динамометра. Удельное давление щетки на диск рассчитывалось путем деления прижимного усилия на поверхность щетки:

$$P = \frac{G}{S},$$

где: P – удельное давление, кг/см²;
 G – усилие на шкале динамометра в момент отрыва щетки от диска, кг;
 S – поверхность щетки, см².

Исследования проводились при постоянной скорости вращения диска $n=16$ мин⁻¹. Исследовались диски из поливинилхлорида (ПВХ), текстолита и органического стекла. Электризация дисков проводилась щетками, изготовленными из фетра. Прижимное усилие щеток к дискам изменялось в пределах от 30 г/см² до 66 г/см².

Используя экспериментальные данные можно проследить изменение напряженности электростатического поля дисков зависимости от степени давления щеток на диски.

Анализируя график влияния степени давления щеток на напряженность электростатического поля поливинилхлорид – фетр, мы наблюдаем постоянство величины напряженности поля $E=10000$ в/см. Таким образом, изменение нагрузки с 33 г/см² до 66 г/см² не приводит к изменению напряженности электростатического поля.

С увеличением нагрузки на щетки до 66 г/см² напряженность электростатического поля диска из гетинакса увеличивается, но абсолютные значения напряженности при этом невелики. Небольшое влияние удельного давления щеток наблюдается у пары органическое стекло - фетр. С увеличением прижимного усилия от 33 г/см² до 66 г/см² напряженность электростатического поля этой пары незначительно уменьшается от $E=3750$ в/см до $E=3000$ в/см.

Таким образом, увеличение удельного давления щеток приводит к незначительному увеличению или снижению напряженности электростатического поля. Это объясняется, по-видимому, погрешностями в измерении величины электростатического поля и рядом внешних факторов, оказывающих прямое или косвенное влияние на процесс электризации.

Из этого можно сделать вывод, что для успешной электризации тел достаточно усилия прижатия 30 г/см². Увеличение этого усилия в 2 раза до 66 г/см² не приводит к увеличению напряженности электростатического поля. Снижение удельного давления ниже 30 г/см² приводит к неравномерному прилеганию щетки к диску (по длине щетки), что вызывает неравномерную электризацию диска.

Равномерность распределения зарядов на поверхности дисков. Задачей данной серии опытов было установить, как равномерно распределяются заряды на поверхности диска при трении. С этой целью датчик измерительного прибора закреплялся на салазках масштабной линейки и периодически перемещался вдоль радиуса диска с интервалом 50мм. Следует отметить, что все исследования проводились аналогичным образом с целью последующего усреднения полученных данных. В данной серии опытов эти исследования проводились специально, чтобы четко зафиксировать характер распределения зарядов на поверхности дисков. Для исследований использованы диски из полихлорвинила, а щетки из войлока, капрона и фетра. Кривые на графике показывают, что заряды не совсем равномерно формируются на поверхности диска. Так для пары полихлоридвинил - войлок в центре диска напряженность поля составляет 14000 в/см, затем она возрастает до 15300 в/см на расстоянии 12 мм от центра, а затем резко падает до 11000-12000 в/см на расстоянии 220-300мм. Для пары поливинилхлорид - капрон наблюдается более равномерное распределение зарядов на всей поверхности диска в пределах 9500-10000 в/см. Для пары поливинилхлорид - фетр характер распределения зарядов почти аналогичен тому, что и для пары поливинилхлорид - войлок, с той лишь разницей, что на периферии диска вновь наблюдается некоторый рост напряженности поля.

Объемное распределение зарядов в пространстве. В результате проведенных опытов установлено, что под действием трением диэлектрика органического происхождения о щетку на поверхности диэлектрика генерируются заряды положительного и отрицательного знака. Частица твердого тела, попадая в зону действия электростатического поля, притягивается к поверхности диска. Представляет интерес изучить как далеко от поверхности диска распространяется действие электростатического поля. От этого зависит радиус притягивания частиц к поверхности диска. Исследования проводились путем установки датчика прибора на различном расстоянии от поверхности

диска с интервалом 100 мм. Исследования проводились на дисках, изготовленных из полихлорвинила и органического стекла, которые электризовались войлочными и фетровыми щетками. Показано изменение напряженности электростатического поля при испытании пары полихлорвинил - войлок при различном числе оборотов диска. Приведенные на графике данные показывают, что уже на расстоянии 100-200мм от поверхности диска наблюдается резкое снижение напряженности электростатического поля независимо от оборотов диска. При скорости вращения диска 10 мин^{-1} напряженность электростатического поля на поверхности диска составляет 8750 в/см, на расстоянии 100 мм от поверхности она снижается до 7000 в/см, а на расстоянии 500мм снижается до 1800 в/см. Почти полное исчезновение электростатического поля наблюдается на расстоянии 1400-1500 мм от поверхности диска. Для скорости вращения диска 12 и 16 мин^{-1} . (кривые 2 и 3) наблюдается такая же зависимость. Сначала резкое падение напряженности поля на расстоянии 200-300 мм. а затем более плавное падение на расстоянии до 1300-1500 мм. После чего напряженность поля равна нулю. Характер кривых при испытании пар поливинилхлорид - фетр и оргстекло - фетр при различном числе оборотов дисков аналогичен кривым рис.10. Из данных исследований можно сделать вывод о том, что зона объемного действия электростатического поля достаточно велика, она распространяется на расстоянии 1200-1500 мм от поверхности диска. Причем, на расстоянии до 100 мм напряженность поля снижается на 20-30%, на расстоянии 200мм – на 50-60%, на расстоянии 500 мм – на 70-80%. Полное исчезновение поля наблюдается на удалении от поверхности диска 1300 -1800 мм. Из этого следует, что эффективная зона действия одного диска составляет 200-400 мм. Следовательно, расстояние между дисками при компоновке многодисковых электростатических фильтров не должно превышать указанной величины, а именно 200-400 мм.

Выводы

Из приведенных опытов можно сделать вывод о том, что максимальный заряд на поверхности различных диэлектриков генерируется войлочными щетками, которые предпочтительно использовать при конструировании трибоэлектростатических фильтров. Это объясняется, большей адгезией войлочных щеток к испытанным материалам по сравнению с фетром и капроном.

При правильно подобранных электродах пылеуловитель способен эффективно очищать газы от чрезвычайно легких и мелких частиц, размер которых может быть менее 0,01 мкм, безопасно улавливать легковоспламеняющуюся, взрывоопасную, токопроводящую пыль при низком давлении газа.

Рабочие части трибоэлектростатического пылеуловителя не подвержены воздействию кислот, щелочей и других агрессивных сред, так как изготовлены из материалов, устойчивых к коррозии, в нем не возникают опасные для здоровья человека электромагнитные поля.

Себестоимость и эксплуатация трибоэлектростатического пылеуловителя ниже, чем у электрофильтра, конструкция аппарата проста в изготовлении, долговечна, надежна, безопасна в работе, не требует установки высоковольтного источника питания, применения дефицитных материалов, легко поддается ремонту, обслуживанию и автоматизации.

Список использованной литературы

1. Torghabeh, A.K., Pradhan, B., Jahandari, A. Assessment of geochemical and sedimentological characteristics of atmospheric dust in Shiraz, southwest Iran. *Geoscience Frontiers* 2019
2. Caplin, A., Ghandehari, M., Lim, C., Glimcher, P., Thurston, G. Advancing environmental exposure assessment science to benefit society // *Nature Communications* 10(1).- 2019. №1236
3. Karakoçak, B.B., Patel, S., Ravi, N., Biswas, P. Investigating the Effects of Stove Emissions on Ocular and Cancer Cells// *Scientific Reports* 9(1), 2019. №1870
4. Hachicha, A.A., Al-Sawafta, I., Ben Hamadou, D. Numerical and experimental investigations of dust effect on CSP performance under United Arab Emirates weather conditions *Renewable Energy* 143, с. 263-276 2019
5. Кузнецов С.І. Трибоэлектростатичний пиловловлювач Патент №120641 Україна, МПК А47L 9/10, (2006.01), В04С 3/04 (2006.01). Заявл.22.04.11; Опубл. 11.11.17, Бюл. №21, 2017.

Referenses

1. Torghabeh, A.K., Pradhan, B., Jahandari, A. Assessment of geochemical and sedimentological characteristics of atmospheric dust in Shiraz, southwest Iran. *Geoscience Frontiers* 2019
2. Caplin, A., Ghandehari, M., Lim, C., Glimcher, P., Thurston, G. Advancing environmental exposure assessment science to benefit society // *Nature Communications* 10(1).- 2019. №1236
3. Karakoçak, B.B., Patel, S., Ravi, N., Biswas, P. Investigating the Effects of Stove Emissions on Ocular and Cancer Cells// *Scientific Reports* 9(1), 2019. №1870
4. Hachicha, A.A., Al-Sawafta, I., Ben Hamadou, D. Numerical and experimental investigations of dust effect on CSP performance under United Arab Emirates weather conditions *Renewable Energy* 143, с. 263-276 2019
5. Kuznyetsov C.I. Triboelectrostatic pilovlovyuvach Patent No. 120641 Ukraine, IPC A47L 9/10, (2006.01), В04С 3/04 (2006.01). Declared April 22, 11; Publ. 11.11.17, Bull. No. 21, 2017.