

УДК: 537.2:697.946

## СТАБИЛИЗАЦИЯ РАЗРЯДНЫХ ПРОЦЕССОВ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЯХ ЭЛЕКТРОФИЛЬТРОВ

*Ш.М. Музафаров - д.т.н., профессор, Б.Н. Эркинов - PhD, старший преподаватель,  
А.И. Пардаев - ассистент, В.Е. Балицкий - докторант  
Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства  
Б.К. Тагаев - младший научный сотрудник, Научно-технический центр АО «Узбекэнерго»*

### Аннотация

В статье приводятся сведения о достижениях в области электрогазоочистки загрязненного воздуха. Приводится критический анализ принципа работы разработанных и эксплуатируемых в настоящее время электрофильтров. Проанализирована возможность повышения эффективности электрогазоочистки загрязненного воздуха с использованием униполярных импульсов напряжения. Теоретический анализ процессов в разрядном промежутке проведен с использованием существующей теории электрических разрядов в газах. На основании анализа этих данных установлен механизм разряда в резко неоднородном электрическом поле при импульсном напряжении. Установлено, что при использовании импульсов напряжения с перенапряжением и в условиях работы электрофильтров, имеет место стримерный механизм разряда или стримерная форма коронного разряда. Результаты проведенного математического моделирования подтверждены серией экспериментальных исследований. Разработка нового способа электрогазоочистки обусловлена недостатками коронного разряда постоянного напряжения. С повышением емкости разрядного промежутка увеличивается время компенсации накопленных в нем зарядов. При емкости  $C_2 = 10^{-11}$  Ф время полной компенсации зарядов составляет 0,006 с, а при  $C_2 = 10^{-12}$  Ф - 0,001 с.

**Ключевые слова:** электрогазоочистка, коронный разряд, электрофильтр, электрический разряд, стабилизация, стримерная форма коронного разряда.

## ЭЛЕКТРОФИЛЬТРАР ЭЛЕКТР МАЙДОНЛАРИДА РАЗРЯД ЖАРАЁНЛАРИ СТАБИЛЛАШТИРИШ

*Ш.М. Музафаров - т.ф.д., профессор, Б.Н. Эркинов - PhD, катта ўқитувчи  
А.И. Пардаев - ассистент, В.Е. Балицкий - докторант,  
Тошкент ирригация ва қишлоқ хўжалигини механизациялаш муҳандислари институти  
Б.К. Тагаев - кичик илмий ходим, «Узбекэнерго» АЖ илмий-техника маркази*

### Аннотация

Мақолада электр ёрдамида чангли ҳавони тозалаш соҳасида ютуқлар тўғрисида маълумотлар келтирилган. Ҳозирги кунда ишлаб чиқилган ва фойдаланилаётган электр филтёрларнинг ишлаш принципини таҳлили келтирилган. Бир қутбلى импульсли кучланишдан фойдаланиб электр ёрдамида чангли ҳавони тозалаш самарадорликларини ошириш имкониятлари таҳлил этилган. Разрядлар оралиғидаги жараёнларни назарий таҳлили газларда электр разрядларнинг мавжуд на-зариясидан фойдаланган ҳолда ўтказилган. Маълумотларни таҳлили асосида импульс кучланиш билан таъминланганда бир жинсли бўлмаган электр майдонда разряднинг механизми аниқланган. Электр филтёрларнинг ишлаш шароитида критик импульсли ўта кучланишлардан фойдаланишда разряднинг стример механизмига ёки стример шаклидаги тожли разрядга жой бўлиши аниқланган. Ўтказилган математик моделлаштириш натижалари бир неча экспериментал тадқиқотлар билан тасдиқланган. Электр газ тозалашни янги усулини ишлаб чиқиш доимий кучланишли тожли разряднинг етишмаслигига боғлиқ. Разряд оралиғини сифими оширилганда тўпланган зарядларни қоплаш вақти ошади.  $C_2 = 10^{-11}$  Ф сифим бўлганда зарядларни тўла қоплаш вақти 0,006 с ни,  $C_2 = 10^{-12}$  Ф бўлганда эса 0,001 с ни ташкил этди.

**Таянч сўзлар:** электр газ тозалаш, тожли разряд, электрофильтр, электр разряди, стабиллаштириш, стример шаклидаги тожли разряд.

## STABILIZATION OF DISCHARGE PROCESSES INVOLVED IN ELECTRICAL FIELDS OF ELECTROSTATIC PRECIPITATORS

*Sh.M. Muzafarov - DSc., professor, B.N. Erkinov - PhD, senior teacher, A.I. Pardaev - assistant  
V.E. Baliskiy - PhD student, Tashkent irrigation and agricultural mechanization engineers  
B.K. Tagaev - Junior Researcher Scientific and Technical Center of JSC "Uzbekenergo"*

### Abstract

The article provides information on achievements in the field of electrical gas cleaning. A critical analysis of the principle of operation of the electrostatic precipitators developed and currently in operation is carried out. The possibility of increasing the efficiency of electrical gas cleaning using unipolar voltage pulses is analyzed. A theoretical analysis of the processes in the discharge gap was carried out using the existing theory of electric discharges in gases. Based on the analysis of the data, the discharge mechanism is established in a sharply inhomogeneous electric field at a pulsed voltage. It is established that when using voltage pulses with overvoltage and in the conditions of operation of electrostatic precipitators, there is a streamer discharge mechanism or streamer form of corona discharge. The results of mathematical modeling are confirmed by a series of experimental studies. The development of a new method of gas purification is due to the disadvantages of a corona discharge of constant voltage. As a result, with an increase in the capacity of the discharge gap, the compensation time for the charges accumulated in it increases. If capacitance equals to  $C_2 = 10^{-11}$  F, the time for full compensation of charges is 0.006 s, and when  $C_2 = 10^{-12}$  F, the time consist of 0.001 s.

**Key words:** electrical gas cleaning, corona discharge, electrostatic precipitator, electric discharge, stabilization, streamer form of corona discharge.



**Введение.** Всякое загрязнение вызывает у природы защитную реакцию, направленную на её нейтрализацию. Эта способность природы долгое время эксплуатировалась человеком бездумно и хищнически. Из века в век складывалась практика широкого использования способности атмосферы к самоочищению. Отходы производства выбрасывались в воздух в расчете на то, что все они в конечном итоге будут обезврежены и переработаны самой природой. При этом не возникало и мысли о наносимом ей ущербе. Казалось, что как не велика общая масса отходов, они незначительны по сравнению с защитными ресурсами. Однако при прогрессирующем росте загрязнений становится очевидным, что природные системы самоочищения рано или поздно не смогут выдержать такой натиск. В связи с этим большие объемы вредных выбросов в атмосферу вызывают целый ряд неблагоприятных глобальных и региональных явлений. Если еще в 19 веке и даже в первой половине 20 века уровень развития материального производства не требовал в качестве необходимого условия существования всего человечества учета отдаленных последствий социально- производственного вмешательства человечества в природу, то со второй половины 20 века такой учет становится жизненно важной проблемой [1, 2, 3].

Для очистки отработанных в технологических процессах газов используются различные методы и устройства, из которых наиболее предпочтительным являются электрофильтры, отличительной способностью которых является высокая очистительная способность, большая производительность по очищаемому газу, улавливание аэрозольных частиц размерами менее 0,1 мкм с любыми физико-механическими свойствами, отсутствие аэродинамического сопротивления.

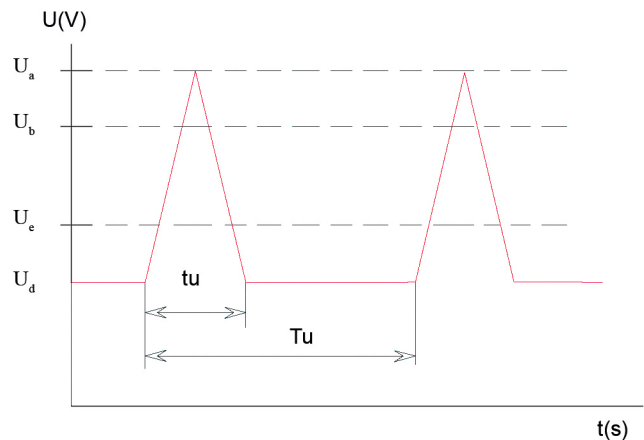
Увеличение эффективности газоочистки можно осуществить использованием импульсных напряжений большой скважности, используя закономерность повышения электрической прочности газов при уменьшении времени воздействия напряжения [4, 5].

Разработка нового способа электрогазоочистки обусловлена недостатками коронного разряда постоянного напряжения. Импульсы тока коронного разряда постоянного тока хаотично распределены во времени и представляют собой функцию дискретного, случайного процесса, реализация которого по амплитуде и частоте случайна [6, 7, 8]. Из изложенного следует, что стабилизация разрядных процессов в электрических полях коронного разряда позволит значительно повысить эффективность работы электрофильтров.

Научно-практический интерес представляет совмещение в одном технологическом промежутке при одном источнике питания самостоятельного и несамостоятельного разрядов. Этого можно добиться, например, используя униполярное импульсное напряжение большой скважности с постоянной составляющей ниже порога зажигания самостоятельного разряда. Импульсное напряжение в этом случае должно характеризоваться следующими параметрами:

- амплитуда импульса напряжения -  $U_a$ ; В; - постоянная составляющая импульса напряжения -  $U_n$ ; В; - действующее значение напряжения -  $U_o$ ; В; - длительность импульса -  $\tau_u$ ; с; - период повторения импульсов -  $T_u$ ; с; - скважность импульса -  $K = T_u / \tau_u$ ; - частота импульсов -  $n$ , с<sup>-1</sup> (рис.1).

При использовании постоянных напряжений для питания разрядных промежутков источники питания выбирают по величине напряжения и току. На процессы в элек-



**Рис.1. Основные параметры импульсного напряжения**

трическом поле при питании импульсным напряжением будут влиять все перечисленные параметры. Исследование закономерностей связи параметров импульсного напряжения, включая внутреннее сопротивление источника питания и динамичность процессов при разряде с переменным напряжением, затруднительно [9, 10, 11, 12].

Ввиду прикладного характера научной работы, целесообразно выбрать необходимый вид импульса напряжения и реальную схему их генерирования. В этом случае параметры и форма, скважность, длительность и фронт импульса будут характеризоваться схемой генерирования, которая должна удовлетворять следующим требованиям:

- обеспечить стабильность частоты, формы и амплитуды импульсов напряжения;
- иметь минимальные габариты, простоту и надежность, при минимальной стоимости;
- устранять возможность перехода неполного пробоя воздуха в искровой и дуговой разряды;
- в схеме генерирования формы импульсов напряжения необходимо формировать на низковольтной стороне повышающего трансформатора;
- удовлетворить требованиям электрической и пожарной безопасности, производственной санитарии;
- не создавать радиопомех.

**Методы решения.** Теоретический анализ процессов в разрядном промежутке проведен с использованием существующей теории электрических разрядов в газах. Процессы в импульсных электрических полях исследованы в работах [9, 13, 14, 15]. В этих работах основные выводы основаны на наблюдениях процесса, экспериментальных исследованиях и их анализе. На основании анализа этих данных можно установить механизм разряда в резко неоднородном электрическом поле при импульсном напряжении. В первую очередь необходимо было установить механизм развития разряда в воздухе при импульсном перенапряжении.

При импульсном пробое газов между моментом приложения напряжения к промежутку и началом пробоя, которое фиксируется по резкому спаду напряжения, проходит некоторое время, называемое временем запаздывания  $t_3$ . Время запаздывания чаще всего измеряется от момента, когда напряжение достигло пробивного, до момента спада его до уровня  $0,9 U_a$ , где  $U_a$  - амплитуда импульса. Начало пробоя газа отождествляют с резким спадом напряжения. Тогда процессы нарастания проводимости в стадии запаздывания называют предпробойными явлениями. Такое разделение в значительной степени условно, поскольку

уровень тока, определяющий спад напряжения, зависит от сопротивления внешней электрической цепи.

Спад может происходить в различных фазах нарастания проводимости промежутка, т.е. в зависимости от сопротивления цепи он может быть вызван различными физическими процессами, обуславливающими рост концентрации заряженных частиц. Однако универсальность ситуации заключается в том, что до начала ионизационных явлений в зазоре необходимо иметь хотя бы один иницирующий электрон. Поэтому принято разбивать время  $t_c$  на две составляющие: статистическое время запаздывания  $t_c$ , в течении которого в промежутке появляется иницирующий электрон, и время формирования  $t_{\phi}$ , в течении которого за счет развития первичной электронной лавины и последующих стадий

Если считать время формирования  $t_{\phi} = const$ , то функция распределения времени запаздывания пробоя имеет вид

$$N/N_0 = \exp[-(t - t_{\phi})/t_c] \quad (1)$$

где:  $N/N_0$  - доля от общего числа пробоев  $N_0$  со временем запаздывания  $t$  и более;  $t_c = e/qi$  - среднее статистическое время запаздывания;  $q$  - вероятность того, что появившийся в промежутке электрон приведет к пробую;  $i/e$  - частота появления электронов в зазоре;  $i$  - ток иницирующих электронов.

Условие, при котором первый же иницирующий электрон вызывает необратимое нарастание проводимости промежутка -  $q=1$ . Были выполнены вычисления для таунсендовского механизма пробоя [5]. Получена вероятность того, что лавина, созданная одним электроном, вылетевшим с катода, приведет к пробую:

$$\begin{aligned} q &= 1 - (1/\mu), & \mu > 1, \\ q &= 0, & \mu < 1, \end{aligned} \quad (2)$$

где:  $\mu = \gamma[\exp(\alpha d) - 1]$ ; - параметр, показывающий во сколько раз увеличивается число начальных электронов в последующей лавине по сравнению с предыдущей;  $\gamma$  - коэффициент, характеризующий вторичные процессы на катоде;  $\alpha$  - коэффициент ударной ионизации;  $d$  - межэлектродный промежуток, см.

Параметр  $\mu$  сильно зависит от перенапряжения, поэтому уже при  $Kn \geq 10\%$  вероятность  $q$  приближается к единице. Условия измерений тем более облегчаются при более высоких  $Kn$ , когда имеет место стримерный механизм пробоя и пробой носит однолавиновый характер.

Отсюда время формирования импульсного пробоя определяется интенсивностью процесса ионизации газа на стадии развития одиночных электронных лавин и на последующих стадиях. Поэтому одной из проблем является правильное описание процесса нарастания концентрации заряженных частиц в промежутке. Чаще всего для этого используют коэффициент ударной ионизации  $\alpha$ - число пар ионов, которое создает один электрон на единицу длины пути в направлении своего дрейфа вдоль электрического поля. Нарастание со временем числа носителей зарядов в лавине, созданного одним электроном подчиняется закону

$$N = \exp(\alpha v \cdot t),$$

где  $v$  - дрейфовая скорость электрона.

Коэффициент перенапряжения играет решающую роль при переходе от таунсендовского механизма к стримерному. На рис. 2 представлена кривая, разделяющая множество значений произведения давления газа на длину зазора и коэффициента  $K_n$  на две области. Если условия разряда соответствуют области, лежащей выше кривой, то имеет место стримерный механизм пробоя, а если ниже - таунсендовский. В пограничной области может наблюдаться как тот, так и другой вид пробоя [5, 6].

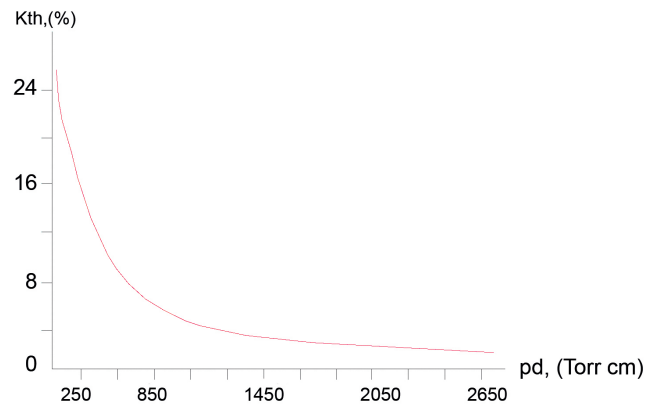
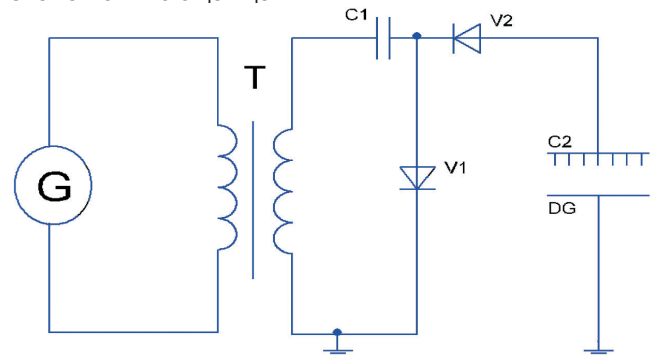


Рис. 2. Кривая разделяющая области развития разряда по таунсендовскому и стримерному механизмам

В технике применения коронного разряда используют зазоры от 0,05 до 0,15 м [1,2,3] при давлении близких к нормальным, что соответствует  $pd = 3800 \dots 8000 \text{ Torr}\cdot\text{cm}$ . Поэтому, уже при  $Kn > 4\%$  проявляется стримерный механизм пробоя. Как показали исследования характеристик импульсных напряжений коэффициент перенапряжения в зависимости от величины нагрузки составил 1,4...1,6. Амплитуда нарастания напряжения, в пределе частот импульсов, используемых в исследованиях ( $50 \dots 500 \text{ имп}^{-1}$ ), равна 20...200 кВ/мкс, расстояние между электродами 0,05 и 0,1 м. На основании анализа следует заключение, что в исследуемых условиях разряды имеют стримерный механизм, или стримерную форму коронного разряда [4].

**Анализ результатов и примеры.** Генерирование униполярных импульсов высокого напряжения формой приведенной на рис.3 можно осуществить по схеме приведенной на рис.4, где генерируемые генератором G периодические импульсы напряжения повышаются трансформатором Т и выпрямляются выпрямителем, собранном по схеме умножения напряжения, без накопительного конденсатора на выходе схемы (C1, V1, V2).

К выходу схемы подключается технологический разрядный промежуток (РП) электрофильтра имеющий собственную емкость C2. Одно из преимуществ предлагаемого способа очистки газов с использованием стримерной формы коронного разряда над существующим способом очистки в электрических полях коронного разряда постоянного напряжения заключается в возможности рассматривания технологического разрядного промежутка как элемента питающей цепи.



G - генератор периодических импульсов напряжения; Т - повышающий трансформатор; C1 - конденсатор; C2 - емкость разрядного промежутка РП; V1 и V2 - диоды.

Рис.3. Принципиальная схема генерирования униполярными импульсами высокого напряжения

Проанализирован переходный процесс в электрической цепи источника высоковольтных импульсов напряжения в паузе между импульсами. По схеме замещения имеем замкнутый контур последовательно включенных формирующей емкости  $C_1$ , емкости разрядного промежутка  $C_2$ , активного  $R_1$  и индуктивного  $L$  сопротивлений вторичной обмотки повышающего трансформатора, прямого сопротивления диода  $R_2$  (рис.3).

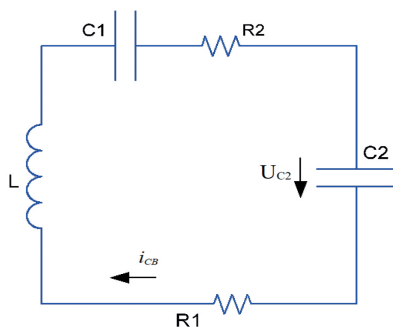
Ввиду  $C_1 > C_2$ , примем допущение, что напряжение на конденсаторе  $C_1$   $U_{C1}$  равно амплитуде напряжения на выходе трансформатора  $U_a$  и остается постоянным в паузе между импульсами. Для определения закона изменения напряжения и тока разрядного промежутка в паузе между импульсами составим характеристическое уравнение цепи в комплексной форме:

$$Z = R_1 + R_2 + j\omega L + 1/(j\omega C_1) + 1/(j\omega C_2) \quad (3)$$

Заменим сомножитель  $j\omega$  на оператор  $p$  и полученное выражение  $Z(p)$  приравняем нулю:

$$Z(p) = R_1 + R_2 + pL + 1/(pC_1) + 1/(pC_2) = 0,$$

$$\text{или} \quad p^2(C_1 C_2 L) + pC_1 C_2(R_1 + R_2) + C_1 + C_2 = 0 \quad (4)$$



$L$  - индуктивность вторичной обмотки повышающего трансформатора;  $C_1$  - конденсатор;  $R_1$  - активное сопротивление вторичной обмотки трансформатора;  $R_2$  - прямое сопротивление диода;  $C_2$  - емкость разрядного промежутка;  $U_{C2}$  - напряжение разрядного промежутка;  $i_{св}$  - ток в цепи в паузе между импульсами.

**Рис.4. Схема замещения источника импульсов высокого напряжения в паузе между импульсами**

Анализ кривых рис.4 указывает на одинаковый закон изменения  $U_{C2,св}$  и  $i_{св}$ . Характер переходного процесса зависит от параметров цепи  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $L$ ,  $C_1$  и  $C_2$ , т.е. от вида корней характеристического уравнения. При этом опреде-

ляющим является величина емкости разрядного промежутка  $C_2$ .

Наиболее предпочтительными для очистки отработанных в технологических процессах газов от твердых и жидких аэрозольных частиц являются электрофильтры. Однако значительные массогабаритные показатели и потребляемая мощность являются основной причиной ограничивающих их широкое использование. Для дальнейшего расширения областей использования электрофильтров необходимо существенное повышение эффективности процессов электрогазоочистки. Используемые в электрофильтрах электрические поля коронного разряда постоянного напряжения доведены до предела своих возможностей и обладают рядом существенных недостатков: колебание в широких пределах амплитуды и частоты разрядного тока; запыление разряда; обратная корона; переход в искровую или дуговую формы [22].

**Выводы.** С увеличением емкости разрядного промежутка увеличивается время компенсации накопленных в нем зарядов. Так, при емкости  $C_2 = 10^{-11}$  Ф время полной компенсации зарядов составляет 0,006 с, а при  $C_2 = 10^{-12}$  Ф - 0,001 с. Отсюда максимальная частота следования импульсов составляет соответственно 166  $\text{имп}^{-1}$  и 1000  $\text{имп}^{-1}$ . Результаты проведенного математического моделирования подтверждены серией экспериментальных исследований. В этих исследованиях частота импульсного напряжения изменялась в пределах 100-250  $\text{с}^{-1}$ . Стабильность разрядного тока по амплитуде наблюдалась до частоты 200  $\text{с}^{-1}$ . После этого напряжение и ток разрядного процесса приобретают случайный характер. Стабилизировать разрядные процессы в технологических разрядных промежутках можно при совмещении действия самостоятельного и несамостоятельного разрядов. Самостоятельный разряд в виде стримерной формы коронного разряда образуется в разрядном промежутке при воздействии импульса напряжения с перенапряжением, а несамостоятельный под действием постоянной составляющей импульсного напряжения, величина которого ниже порога зажигания самостоятельного разряда. Частота импульсного напряжения, при которой обеспечивается стабильность разрядного тока, определяется временем полной компенсации объемных зарядов, образовавшихся под действием импульса напряжения, параметрами элементов схемы питания и емкостью разрядного промежутка.

№	Литература	References
1	Дымовые электрофильтры. В.И.Левитов, И.К.Решидов, В.М.Ткаченко. Под общ. ред. В.И.Левитова. - Москва. 1980. - 448 с	Dimovie elektrofiltiri. V.I.Levitov, I.K.Reshidov, V.M.Tkachenko. Pod obsh. red. V.I.Levitova. [Smoke electrostatic precipitators]. Edited by V.I.Levitov. Moscow, 1980. 448 p. (in Russian)
2	Алиев Г. М.-А. Агрегаты питания электрофильтров. - Москва: Энергоиздат, 1981. - 136 с.	Aliev G. M.-A. Agregati pitaniya elektrofiltrov [Power units for electrostatic precipitators]. Moscow, Energoizdat. 1981. 136 p. (in Russian)
3	Техника пылеулавливания и очистка промышленных газов.: Справ. изд. Алиев Г.М.-А.: - Москва: Металлургия, 1986. - 544 с.	Tekhnika pileulavlivaniya i ochistka promishlennikh gazov. [Dust collection technology and industrial gas cleaning]. Moscow. 1986. 544 p. (in Russian)
4	Техника высоких напряжений. Под общ. ред. М.В.Костенко. - Москва, 1973. - 528 с.	Tekhnika visokikh napryazheniy [High voltage technics]. Edited by M.V. Kostenko. Moscow. 1973. 528 p. (in Russian)
5	Королев Ю.Д., Мезяц Г.А. Физика импульсного пробоя газов. - Москва: Наука, 1991. - 224 с.	Korolev Yu.D., Mesyats G.A. Fizika impulsnogo proboya gazov. Moscow. 1991. 224 p. (in Russian)
6	Elhalm P., Lund C., and Cristensen K\ Pulse Enerrisation SolvinrSinter Strand ESR Problems, ISESR V1 Sity 1998. Pp. 396-402.	Elhalm P., Lund C., and Cristensen K\ Pulse Enerrisation SolvinrSinter Strand ESR Problems, ISESR V1, 1998. Pp. 396-402. Sity
7	Yamamura N., and Tanaka O., Operatirn Exsperiense of a Pulse ESR at a Modern 500 MW Coal Fired Pover Plant in Japan, ICESP V1, 1998. Pp. 197-202.	Yamamura N., and Tanaka O., Operatirn Exsperiense of a Pulse ESR at a Modern 500 MW Coal Fired Pover Plant in Japan, ICESP V1, 1998. Pp. 197-202.

8	Сокольский В.Н. Искрозащита технологических разрядных промежутков. – Москва: Энергия, 1980. – 180 с.	Sokolskiy V.N. <i>Iskrozashita tekhnologicheskikh razryadnikh promezhutkov</i> [Spark protection of technological discharge gaps]. Moscow. 1980. 180 p. (in Russian)
9	Эркинов Б.Н. Расчет параметров машинного генератора для системы электрофильтров хлопкоочистительных заводов // Журнал энерго и ресурсосбережение. – Ташкент, 2009. – №3-4. – С. 93-95.	Erkinov B.N. <i>Raschet parametrov mashinnogo generator dlya sistemi elektrofiltrov khlopkoochistitelnikh zavodov</i> [Calculation of the parameters of a machine generator for the electrostatic precipitator system of ginneries]. No 3,4., Journal of Energy and Resource Saving. Tashkent 2009. Pp. 93-95. (in Russian)
10	W. He, Y.-B. Zhao, F. Jiang, Y. Guo, H. Gao, J. Liu, J. Wang, Filtration performance and charge degradation during particle loading and reusability of charged PTFE needle felt filters, Separation and Purification Technology. 2020. Pp. 233-238.	W. He, Y.-B. Zhao, F. Jiang, Y. Guo, H. Gao, J. Liu, J. Wang, Filtration performance and charge degradation during particle loading and reusability of charged PTFE needle felt filters, Separation and Purification Technology. 2020. Pp. 233-238.
11	A.S. Tatevosyan, A.A. Tatevosyan, N.V. Zaharova, A.A. Lukacheva, Synthesis of the Replacement Scheme of the Electric Impulse Device Cleaning the Coal Dust from the Surface of the Electrostatic Filters, in: 2018 14th International Scientific-Technical Conference on Actual Problems of Electronic Instrument Engineering, APEIE 2018 - Proceedings, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2018. Pp. 453–456.	A.S. Tatevosyan, A.A. Tatevosyan, N.V. Zaharova, A.A. Lukacheva, Synthesis of the Replacement Scheme of the Electric Impulse Device Cleaning the Coal Dust from the Surface of the Electrostatic Filters, in: 2018 14th International Scientific-Technical Conference on Actual Problems of Electronic Instrument Engineering, APEIE 2018 - Proceedings, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2018. Pp. 453–456.
12	Патент РУз № IAP 04426. Способ и устройство для очистки газов от твердых и жидких аэрозольных частиц // Музафаров Ш.М., Эркинов Б.Н., Балицкий В.Е. от 10.06.11.	Patent UZ № IAP 04426. <i>Sposob i ustroystvo dlya ochildki gazov ot tverdkh i zhidkikh aerezolnikh chastits</i> [Method and device for gas purification from solid and liquid aerosol particles]. Muzafarov Sh.M., Erkinov B.N., Baliskiy V.E. from 10.06.11 (in Russian)
13	D.N. Meivita, M. Rivai, A.N. Irfansyah, Development of an electrostatic air filtration system using fuzzy logic control, International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology. 8 (2018) Pp. 1284–1289.	D.N. Meivita, M. Rivai, A.N. Irfansyah, Development of an electrostatic air filtration system using fuzzy logic control, International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology. 8 (2018) Pp. 1284–1289.
14	Ashmarin G.V., Lelevkin V.M, Niyazaliev I.A., Tokarev A.V. The estimation of steel rope quality by a corona discharge. // 5-International Conference Plasma Physics and Plasma Technologies, Minsk, Belarus, 16-22 September, 2006, Vol.2, Pp. 808-811.	Ashmarin G.V., Lelevkin V.M, Niyazaliev I.A., Tokarev A.V. The estimation of steel rope quality by a corona discharge. // 5-International Conference Plasma Physics and Plasma Technologies, Minsk, Belarus, 16-22 September, 2006, Vol.2, Pp. 808-811.
15	J.R. Malcher, Filtration resistance of electrically charged dust., FILTR. & SEP. 26 p. (2017).	J.R. Malcher, Filtration resistance of electrically charged dust., FILTR. & SEP. 26 p. (2017).
16	F. Lemont, M. Marchand, A. Russello, T. Reess, A.S. De Ferron, S. Souakri, 15 years of research and development on electrofiltration for gas cleaning, in: IT3/HWC 2018 - 36th International Conference on Thermal Treatment Technologies and Hazardous Waste Combustors, Air and Waste Management Association, 2018	F. Lemont, M. Marchand, A. Russello, T. Reess, A.S. De Ferron, S. Souakri, 15 years of research and development on electrofiltration for gas cleaning, in: IT3/HWC 2018 - 36th International Conference on Thermal Treatment Technologies and Hazardous Waste Combustors, Air and Waste Management Association, 2018
17	O. Hyun, M. Baek, J. Moon, Y. Ahn, Performance evaluation of two-stage electrostatic air filter with low-ozone emission corona charger, Particulate Science and Technology. 35 (2017) Pp. 71–76.	O. Hyun, M. Baek, J. Moon, Y. Ahn, Performance evaluation of two-stage electrostatic air filter with low-ozone emission corona charger, Particulate Science and Technology. 35 (2017) Pp. 71–76.
18	K. Shimizu, Y. Kurokawa, M. Blajan, Basic Study of Indoor Air Quality Improvement by Atmospheric Plasma, IEEE Transactions on Industry Applications. 52 (2016) Pp. 1823–1830.	K. Shimizu, Y. Kurokawa, M. Blajan, Basic Study of Indoor Air Quality Improvement by Atmospheric Plasma, IEEE Transactions on Industry Applications. 52 (2016) Pp. 1823–1830.
19	B.S. Fedorov, V.A. Guzaev, A.A. Troitskii, E.A. Karulin, Study of dust detachment from electric filter electrodes, Chemical and Petroleum Engineering. 48 (2013) Pp. 684–687.	B.S. Fedorov, V.A. Guzaev, A.A. Troitskii, E.A. Karulin, Study of dust detachment from electric filter electrodes, Chemical and Petroleum Engineering. 48 (2013) Pp. 684–687.
20	Z. Feng, Z. Long, J. Mo, Experimental and theoretical study of a novel electrostatic enhanced air filter (EEAF) for fine particles, Journal of Aerosol Science. 102 (2016) Pp. 41–54.	Z. Feng, Z. Long, J. Mo, Experimental and theoretical study of a novel electrostatic enhanced air filter (EEAF) for fine particles, Journal of Aerosol Science. 102 (2016) Pp. 41–54.
21	Мухаммадиев А., Пардаев А.И. Ғўзага биринчи ҳосилни теришдан олдин электротехнологик ишлов беришнинг тадқиқот натижалари таҳлили // "Irrigatsiya va Melioratsiya" журнали. – Тошкент, 2020. – №1(19). – Б. 59-63.	Muxammadiev A., Pardaev A.I., <i>Guzaga birinchi khosilni terishdan oldin elektrotekhnologik ishlov berishning tadqiqot natizhalari takhlili</i> [Analysis of research results of electrotechnical treatment before harvesting the first crop of cotton]. // Journal of "Irrigatsiya va Melioratsiya" Tashkent. 2020. No1(19). Pp. 59-63. (in Uzbek)
22	Isakov A.J., Ochilov D.M. Increase of operation efficiency and electrical equipment // "Irrigatsiya va Melioratsiya" журнали. – Тошкент, 2019. – №3(17). – Б. 51-54.	Isakov A.J., Ochilov D.M. Increase of operation efficiency and electrical equipment // Journal of "Irrigatsiya va Melioratsiya". Tashkent, 2019. №3(17). Pp. 51-54.